

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA**

EDNA DE SOUZA DA SILVA

**DO QUE SÃO FEITAS TODAS AS COISAS: UMA ABORDAGEM DE
DEMÓCRITO AO MODELO PADRÃO**

VITÓRIA
2021

EDNA DE SOUZA DA SILVA

**DO QUE SÃO FEITAS TODAS AS COISAS: UMA ABORDAGEM DE
DEMÓCRITO AO MODELO PADRÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física (PPGEnFis), do Centro de Ciências Exatas, da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Flávio Gimenes Alvarenga

VITÓRIA

2021

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

S586q Silva, Edna de Souza da, 1971-
Do que são feitas todas as coisas: Uma abordagem de Demócrito ao Modelo Padrão / Edna de Souza da Silva. - 2021. 334 f. : il.

Orientador: Flávio Gimenes Alvarenga.
Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) - Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Exatas.

1. Modelo Padrão (Física nuclear). 2. Átomos - Modelos. I. Alvarenga, Flávio Gimenes. II. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Exatas. III. Título.

CDU: 53



" DO QUE SÃO FEITAS TODAS AS COISAS: UMA ABORDAGEM DE DEMÓCRITO AO MODELO PADRÃO DE PARTÍCULAS"

Edna de Souza da Silva

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física - Mestrado Profissional em Ensino de Física, ofertado pela Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada em 12 de fevereiro de 2021.

Banca Examinadora

Prof. Dr. Flávio Gimenes Alvarenga
(Orientador PPGEnFis/UFES)

Jardel C. Brozeguini

Prof. Dr. Jardel da Costa Brozeguini
(Membro Externo/IFES)

Geide Rosa Coelho

Prof. Prof. Dr. Geide Rosa Coelho
(Membro Interno PPGEnFis/UFES)



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

PROTOCOLO DE ASSINATURA



O documento acima foi assinado digitalmente com senha eletrônica através do Protocolo Web, conforme Portaria UFES nº 1.269 de 30/08/2018, por
FLAVIO GIMENES ALVARENGA - SIAPE 8298256
Departamento de Física - DF/CCE
Em 12/02/2021 às 18:03

Para verificar as assinaturas e visualizar o documento original acesse o link:
<https://api.lepisma.ufes.br/arquivos-assinados/138600?tipoArquivo=O>



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

PROTOCOLO DE ASSINATURA



O documento acima foi assinado digitalmente com senha eletrônica através do Protocolo Web, conforme Portaria UFES nº 1.269 de 30/08/2018, por
GEIDE ROSA COELHO - SIAPE 1443512
Departamento de Teorias de Ensino e Práticas Educacionais - DTEPE/CE
Em 17/02/2021 às 16:41

Para verificar as assinaturas e visualizar o documento original acesse o link:
<https://api.lepisma.ufes.br/arquivos-assinados/139468?tipoArquivo=O>

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus, o criador de todas as coisas.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, a Deus que por graça e misericórdia me concedeu o dom da vida.

Ao meu esposo, Rodrigo Dias Pereira, por estar sempre ao meu lado dando-me total apoio. Você é minha fonte de inspiração.

Aos meus pais, Laudemiro Viana da Silva e Dalila de Souza da Silva, pelo amor incondicional, por serem meu norte e por serem meus exemplos de vida. Em especial a memória de minha mãe, que através de um simples olhar me incentivava e mostrava seu amor por mim.

À minha enorme família, que sempre esteve ao meu lado.

Ao meu sogro Manoel Simões Pereira e minha sogra Vera Lúcia Dias Pereira pelo apoio e carinho.

Aos professores do PPGEnFis, pelo aprendizado, por me mostrarem novas formas de ensinar e aprender, e que de uma forma ou de outra fizeram parte da realização deste projeto.

A secretária Raquel Bittencourt do PPGEnFis, pela paciência, dedicação e profissionalismo.

Aos colegas do mestrado, pelo companheirismo e apoio, que muito contribuíram no desenvolvimento deste trabalho.

À Escola Estadual de Ensino Fundamental e Médio “Ceciliano Abel de Almeida” e aos meus alunos pela colaboração neste trabalho.

Em especial ao meu orientador, Flávio Gimenes Alvarenga, pelo apoio, dedicação e paciência.

À CAPES, pelo apoio financeiro, por meio da bolsa concedida.

A maravilhosa disposição e harmonia do universo só pode ter tido origem segundo o plano de um Ser que tudo sabe e tudo pode. Isso fica sendo a minha última e mais elevada descoberta.

Isaac Newton

RESUMO

Analisa-se numa pesquisa de abordagem quali-quantitativa os resultados da aplicação de uma proposta de ensino sobre a estrutura da matéria para o Ensino Médio, como foco na evolução dos modelos atômicos ao longo do tempo. O referencial teórico usado é a Teoria de Aprendizagem Significativa atribuída a David Ausubel. A pesquisa foi desenvolvida na Escola Estadual de Ensino Fundamental e Médio “Ceciliano Abel de Almeida”, com duas turmas da terceira série do Ensino Médio, através da aplicação de uma sequência didática baseada numa Unidade de Ensino Potencialmente Significativa, segundo Marco Antônio Moreira. Para o desenvolvimento metodológico, utilizou-se diversos recursos e estratégias didáticas para motivar os estudantes, tais como textos, jogos e filmes. Após a aplicação da sequência didática, os resultados dos testes, a análise dos mapas conceituais, bem como a interação e participação dos alunos, forneceram indícios de aprendizagem significativa e de que o material utilizado é potencialmente significativo.

Palavras-chave: Aprendizagem Significativa. UEPS. Modelos Atômicos. O Modelo Padrão de Física de Partículas.

ABSTRACT

In a quali-quantitative approach in educational research, the results of the application of a teaching proposal on the structure of matter for High School are analyzed, focusing on the models proposed for the atom and how they changed over time. The theoretical reference used is the Meaningful Learning attributed to David Ausubel. The research was developed by an educational intervention carried out in Celicilano Abel de Almeida Public High School, located in São Mateus-ES. The research involved students of the third year through the application of a didactic sequence based on a Potentially Meaningful Teaching Unit, according to Marco Antônio Moreira. For methodological development, several didactic resources and strategies to motivate students were used, such as texts, games and films. After the application of the didactic sequence, the results of the tests, the analysis of the concept maps, as well as the interaction and participation of the students, provided evidence of meaningful learning and that the material used is potentially meaningful.

Keywords: Meaningful Learning. UEPS. Atomic Models. The Standard Model of Particle Physics.

LISTA DE SIGLAS

ALICE	A Large Ion Collision Experiment
ATLAS	A Toroidal LHC ApparatuS
BNCC	Base Nacional Comum Curricular
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CERN	Conselho Europeu para Pesquisa Nuclear
CMS	Compact Muon solenóide
EEEFM	Escola Estadual de Ensino Fundamental e Médio
EM	Ensino Médio
FMC	Física Moderna e Contemporânea
LDB	Leis de Diretrizes e Bases da Educação Nacional
LHC	Grande Colisor de Hádrõs
LHCb	Large Hadron beauty experimente
LNLS	Laboratório Nacional de Luz Síncrotron
PPGEnFis	Programa de Pós Graduação em Ensino de Física
SEDU	Secretaria Estadual da Educação
SLAC	Centro de Aceleração de Stanford
TBL	Aprendizagem Baseada em Equipes
TPe	Teste de Preparação em equipe
TPi	Teste de Preparação individual
UEPS	Unidade de Ensino Potencialmente Significativa

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema da organização da pesquisa	18
Figura 2 - Número de publicações de artigos científicos versus ano de publicação .	20
Figura 3 - Número de publicações de artigos sobre FMC no EM versus ano de publicação	21
Figura 4 - Número de publicações em cada tema de estudo proposto	33
Figura 5 - Mapa conceitual sobre partículas elementares	50
Figura 6 - Principais fases de implementação do TBL	52
Figura 7 - Átomo de acordo com a teoria atômica de Dalton	57
Figura 8 - Experimento de Thomson com tubo de raios catódicos.....	58
Figura 9 - O modelo de átomo de Thomson.....	59
Figura 10 - Esquema da experiência de Rutherford.....	59
Figura 11 - Esquema das partículas α atravessando e sendo defletidas pelo núcleo	60
Figura 12 - Modelo atômico de Rutherford	62
Figura 13 - Espectro de diferentes fontes.....	66
Figura 14 - Espectros de emissão do hidrogênio	66
Figura 15 - Catástrofe do ultravioleta	67
Figura 16 - Efeito fotoelétrico	68
Figura 17 - Modelo atômico de Bohr	69
Figura 18 - Esquema do aparelho utilizado na experiência de Stern- Gerlach.....	72
Figura 19 - Resultado da experiência de Stern-Gerlach sem campo magnético.....	73
Figura 20 - Resultado da experiência de Stern-Gerlach com campo magnético.....	73
Figura 21 - Modelo atômico de Schrödinger.....	75
Figura 22 - Modelo Padrão.....	77
Figura 23 - Equação violando o princípio de conservação do momento de spin.....	85
Figura 24 - Equação conservando o momento de spin	86
Figura 25 - Constituição da matéria comum.....	89
Figura 26 - Escala de massas dos quarks.....	91
Figura 27 - Tubo de raios catódicos	97
Figura 28 - SLAC.....	99

Figura 29 - Tevatron.....	100
Figura 30 - Vista geral da fonte de luz sincrotron do LNSL em operação desde 1997	100
Figura 31 - Vista aérea do CERN.....	103
Figura 32 - Túnel do LHC.....	104
Figura 33 - O complexo acelerador CERN.....	105
Figura 34 - Detectores LHC.....	108
Figura 35 - ATLAS.....	109
Figura 36 - ATLAS.....	109
Figura 37 - Vista em corte do detector CMS.....	110
Figura 38 - François Englert e Peter Higgs.....	111
Figura 39 - Detector ALICE.....	112
Figura 40 - O detector LHCb.....	113
Figura 41– Caixa Misteriosa.....	120
Figura 42 Foto dos alunos fazendo a atividade da caixa misteriosa.....	120
Figura 43 – O que é um átomo?.....	122
Figura 44 – Maquetes dos modelos atômicos.....	125
Figura 45 - Brincando com cargas elétricas.....	126
Figura 46 - Mapa conceitual sobre o átomo.....	127
Figura 47 - "Raio x da caixa misteriosa".....	128
Figura 48 - Visitando o CERN.....	129
Figura 49 - Mapa conceitual sobre partículas elementares.....	131
Figura 50 - Alunos jogando.....	132
Figura 51 - Campeonato final.....	133
Figura 52 - cartazes usando o nome das partículas.....	133
Figura 53 - Questão 1: Qual o menor constituinte da matéria?.....	137
Figura 54 - Questão 2: O que são os elétrons, prótons e nêutrons?.....	138
Figura 55 - Questão 3: Represente, através de um desenho, um átomo.....	139
Figura 56 - Questão 4: O que é uma partícula elementar?.....	140
Figura 57 - Questão 5: Quais desses modelos atômicos você conhece?.....	140
Figura 58 - Questão 6: É possível separar os elétrons do átomo?.....	141
Figura 59 - Questão 7: Quais dessas partículas você conhece?.....	142
Figura 60 - Questão 8: Você já viu esse desenho em outro lugar?.....	143

Figura 61 - Questão 9: Você já ouviu falar em Modelo Padrão de Partículas?	144
Figura 62 - Questão 10: Você já ouviu falar em acelerador de partículas?	144
Figura 63 - Mapa sobre o átomo	146
Figura 64 - Mapa sobre o átomo	146
Figura 65 - Mapa sobre o átomo	147
Figura 66 - Mapa sobre o átomo	147
Figura 67 - Mapa conceitual Partículas Elementares	149
Figura 68 - Mapa conceitual Partículas Elementares	149
Figura 69 - Mapa conceitual Partículas Elementares	150
Figura 70 - Mapa conceitual Partículas Elementares	150
Figura 71 - Cartões de respostas instantâneas (raspadinha).....	152
Figura 72 - Relatos dos alunos sobre o jogo	153
Figura 73 - Porcentagem de acertos no teste final.....	154
Figura 74 - Questão 6 do teste final	155
Figura 75 - Pergunta 1: A sequência didática utilizada facilitou sua aprendizagem?	156
Figura 76 - Pergunta 2: O produto utilizado contribuiu para sua aprendizagem?....	157
Figura 77 - Pergunta 3: A linguagem utilizada e o grau de profundidade da abordagem foram adequados para a compreensão da Física de Partículas?	157
Figura 78 - Pergunta 4: O processo de avaliação utilizado permitiu superar suas dificuldades?	158
Figura 79 - Pergunta 6: Você sugeriria a outro professor de Física o método que foi empregado para que ele utilizasse em suas aulas?.....	159

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Distribuição de artigos x periódicos	20
Quadro 2 - Competências gerais.....	36
Quadro 3 - Competências específicas 1.....	38
Quadro 4 - Competências específicas 2.....	39
Quadro 5 - Competências específicas 3.....	40
Quadro 6 - Modelos de átomos da Física Clássica	64
Quadro 7 - Resumo das características dos léptons	87
Quadro 8 - Resumo das características dos quarks.....	91
Quadro 9 - Resumo das características dos bósons mediadores	96
Quadro 10 - Dados do LHC.....	104
Quadro 11 - Resumo da implementação da UEPS	134

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 MOTIVAÇÃO	16
1.2 OBJETIVOS	17
1.2.1 OBJETIVO GERAL.....	17
1.2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
1.3 ORGANIZAÇÃO DA PESQUISA.....	17
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
3. A FÍSICA NO ENSINO MÉDIO	34
4. REFERENCIAL TEÓRICO	43
4.1 A TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA.....	43
4.2 UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA.....	47
4.3 – MAPAS CONCEITUAIS.....	48
4.4 – METODOLOGIAS ATIVAS	51
5. A ESTRUTURA DA MATÉRIA	55
5.1 O ÁTOMO DE DEMÓCRITO.....	55
5.2 A EVOLUÇÃO DOS MODELOS ATÔMICOS	56
5.2.1 MODELO ATÔMICO DE DALTON.....	56
5.2.2 MODELO ATÔMICO DE THOMSON.....	57
5.2.3 MODELO ATÔMICO DE RUTHERFORD.....	59
5.2.4 MODELO ATÔMICO DE BOHR	64
5.2.5 Modelo da Mecânica Quântica	71
5.3 O MODELO PADRÃO DE PARTÍCULAS	76
5.4 AS PARTÍCULAS ELEMENTARES	78
5.4.1 LÉPTONS.....	80
5.4.2 QUARKS	88
5.4.3 BÓSONS	92
5.5 ACELERADORES E DETECTORES	96
5.6 O LHC (THE LARGE HADRON COLLIDER)	101
6. METODOLOGIA.....	115
6.1 OS SUJEITOS DA PESQUISA.....	115
6.2 TIPO DE PESQUISA.....	115

6.3 ETAPAS E DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO	116
7. ANÁLISE E RESULTADOS	136
7.1 TESTE INICIAL	136
7.2 MAPAS CONCEITUAIS.....	145
7.3 TESTE TBL	151
7.4 O JOGO	152
7.5 TESTE FINAL.....	154
7.6 PESQUISA DE OPINIÃO	156
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS	161
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	163
APÊNDICE A – TESTE DIAGNÓSTICO.....	170
APÊNDICE B – RESULTADO DO TESTE DIAGNÓSTICO.....	172
APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO CONHECENDO VOCÊ	173
APÊNDICE D – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO	175
APÊNDICE E – TESTE INICIAL.....	176
APÊNDICE F – SLIDES DAS AULAS	178
APÊNDICE G – TEXTO: A EVOLUÇÃO DOS MODELOS ATÔMICOS.....	186
APÊNDICE H – TESTE DE PREPARAÇÃO (INDIVIDUAL E EM EQUIPE).....	189
APÊNDICE I – UMA PARTIDA DE ATOMOBOL.....	195
APÊNDICE J – BRINCANDO COM CARGAS ELÉTRICAS.....	196
APÊNDICE K – TEXTO: VENDO ATRAVÉS DA PELE – A DESCOBERTA DO RAIOS X	197
APÊNDICE M – MODO DE JOGAR.....	203
APÊNDICE N – CARTAS DO BARALHO	204
APÊNDICE O – TESTE FINAL.....	210
APÊNDICE P – PESQUISA DE OPINIÃO	213
APÊNDICE Q - PRODUTO EDUCACIONAL.....	215

1 INTRODUÇÃO

Podemos considerar o século XX um dos períodos mais revolucionários da História da humanidade, pois o século foi marcado por várias descobertas científicas que permitiram desvendar mistérios da natureza e propiciar grandes avanços tecnológicos. Porém muitos desafios ainda precisam ser superados, entre eles está um dilema a muito conhecido e questionado pela humanidade: Do que são feitas todas as coisas? Este questionamento só poderá ser respondido, através de estudos sobre a estrutura elementar da matéria. Sabemos que as últimas respostas dadas pela ciência para a pergunta em questão foram sistematizadas no Modelo Padrão das Partículas Elementares, porém, a maioria das escolas de ensino médio, ainda ensina apenas o modelo atômico, onde, erradamente, exibem que os constituintes elementares da matéria são: prótons, nêutrons e elétrons.

Considerando estes fatos, o presente trabalho tem por finalidade verificar indícios de aprendizagem significativa dos alunos da terceira série do ensino médio da EEEFM “Ceciliano Abel de Almeida”, localizada no município de São Mateus – ES, sobre a constituição da matéria, ou seja, quais são os constituintes elementares formadores de todas as coisas e ao mesmo tempo despertar o interesse e a curiosidade dos mesmos, pois várias tecnologias que eles usam no seu cotidiano estão ligadas ao desenvolvimento dessa “nova” Física.

Para isso, propomos como parte desse estudo, a montagem de uma sequência didática, através de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS), que aborda a constituição da matéria desde a época de Demócrito até o Modelo Padrão das Partículas Elementares, articulando esse conhecimento no decorrer da História e dando ênfase ao Grande Colisor de Hádrons (LHC) para validação do Modelo Padrão. Tal sequência será elaborada com base nos preceitos da Teoria de Aprendizagem Significativa de David Ausubel, na visão de Moreira (2012 e 2017), e na proposta didática sugerida por Moreira (2011).

O estudo foi realizado através de uma pesquisa quali-quantitativa, com aplicação do produto no último trimestre do ano letivo de 2019.

1.1 MOTIVAÇÃO

Sou professora de Física do ensino médio desde 1997, e ao longo desses anos de magistério, pude perceber que o ensino de tópicos relacionados a Física Moderna e Contemporânea sempre são deixados em segundo plano, ou seja, se der tempo esse conteúdo é dado. Mas devido ao número escasso de aulas de Física nas escolas públicas (2 aulas por semana no estado do Espírito Santo) esse conteúdo *a priori* não é dado.

Em 2014 tive a oportunidade de participar da Escola de Física em Língua Portuguesa no CERN, em Genebra, Suíça. Esse curso foi financiado pela CAPES, sendo que a participação brasileira só é possível graças a um acordo entre Brasil e Portugal, uma vez que só este é país membro do CERN.

No curso, além de conhecer as instalações do maior centro de pesquisa de Física de Partículas do mundo, foi um período de muito aprendizado, através de palestras sobre Física de Partículas, experiência e visitas aos detectores do LHC.

Ao voltar para o Brasil, estava muito motivada em apresentar o papel do CERN e da Física Moderna para meus alunos. E ao olhar o entusiasmo e curiosidade deles sobre o tema, e em acreditar que o conhecimento desses temas é importantes para a formação dos nossos alunos do Ensino Médio, pois teorias associadas à Física Moderna e Contemporânea estão no nosso cotidiano através de novas tecnologias que surgem a cada dia e que são indispensáveis ao século XXI, me fez enxergar a necessidade de inclusão desses tópicos em minhas aulas.

Em 2018, entrei no mestrado, onde fui apresentada às teorias de aprendizagem, em especial a Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel, que me fez perceber o quanto eu podia melhorar minhas abordagens em sala de aula.

Considero os fatos relatados como aspectos motivadores para o desenvolvimento deste trabalho.

O fato de desenvolver um trabalho que será efetivamente utilizado em sala de aula e que poderá ser utilizado por outros professores também é extremamente motivador.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GERAL

Este estudo tem como objetivo geral buscar indícios de aprendizagem significativa, através da implementação de uma UEPS, sobre a estrutura da matéria.

1.2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Esquematizar uma UEPS segundo os princípios propostos por Moreira (2011);
2. Analisar as concepções iniciais dos estudantes sobre os aspectos da Física de Partículas e suas mudanças ao longo da intervenção educacional;
3. Avaliar o material instrucional utilizado durante a intervenção;
4. Analisar a opinião dos estudantes sobre a sequência (UEPS) aplicada.

1.3 ORGANIZAÇÃO DA PESQUISA

O trabalho estrutura-se em oito capítulos, apresentando no segundo capítulo uma revisão bibliográfica adotando como recorte para nossa pesquisa, artigos publicados nos últimos 5 anos (2014-2018), que abordam a questão de ensino de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio, em especial os que tratam sobre o tema Física de Partículas e Modelo Padrão das Partículas Elementares.

No terceiro capítulo tratamos da Física no ensino médio e relatamos as dificuldades no ensino, bem como o que a LDB e a BNCC falam sobre o ensino de Física no Brasil.

No quarto capítulo abordamos o referencial teórico adotado na pesquisa, dando enfoque a Teoria da Aprendizagem Significa de Ausubel, na visão de Moreira (2012 e 2017).

No quinto capítulo expomos um histórico sobre Física de Partículas, começando pelo átomo de Demócrito até o LHC.

Já no sexto capítulo tratamos da metodologia adotada, o tipo de pesquisa, os dados coletados, as etapas da implantação da UEPS.

No sétimo capítulo analisamos os dados coletados e relatamos os resultados alcançados. Por fim, no último capítulo são relatadas as conclusões da aplicação da UEPS.

Na Figura 1, apresentamos um esquema da organização da pesquisa.



Fonte: Produzida pela autora

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Em 2000, Ostermann e Moreira publicaram uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa Física Moderna e Contemporânea (FMC) no ensino médio (EM), em seu trabalho foi verificado que na época havia uma grande concentração de publicações que apresentam temas de FMC em forma de divulgação, ou como bibliografia de consulta para professores do EM. Por outro lado, existia uma escassez de trabalhos sobre concepções alternativas de estudantes acerca de tópicos de FMC, bem como pesquisas que relatam propostas testadas em sala de aula com apresentação de resultados de aprendizagem. (OSTERMANN e MOREIRA, 2000).

Neste capítulo faremos uma revisão bibliográfica adotando como recorte para nossa pesquisa, artigos publicados no período de (2014-2018), que abordam a questão de ensino de FMC no EM, em especial os que tratam sobre o tema Física de Partículas e Modelo Padrão de Partículas. Os periódicos consultados foram: Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Revista Brasileira em Ensino de Física, Revista Experiências em Ensino de Ciências, Investigação em Ensino de Ciências e Física na Escola. Tais periódicos foram escolhidos, pois são importantes no campo da educação em ciências.

Como mecanismo de busca dos artigos, identificamos os artigos em que havia a ocorrência de pelo menos uma das palavras-chave: Física Moderna, Física Contemporânea, Física Quântica, ensino de Física, Física de Partículas, Modelo Padrão e EM nos seus resumos. No caso de dúvida sobre o enfoque do trabalho, foi realizada a leitura do resumo para verificar se o artigo tratava a respeito da abordagem do ensino de FMC no EM. No Quadro 1 resumizamos a distribuição desses artigos por periódicos.

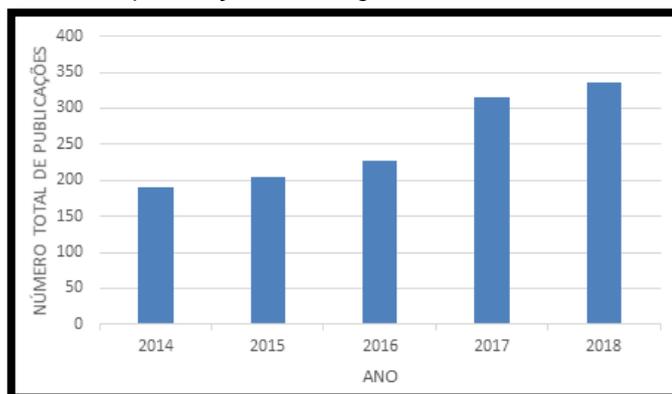
Quadro 1 - Distribuição de artigos por periódicos

PERIÓDICOS	Nº DE ARTIGOS PESQUISADOS	ARTIGOS QUE TRATAM DE FMC NO EM	ARTIGOS
CADERNO BRASILEIRO DE ENSINO DE FÍSICA	221	14	Erthal et al. (2014), Pinheiro (2015), Silva et al. (2015), Araujo e Moraes (2015), Soares e Moraes (2015), Reis e Reis (2016), Souza e Neves (2016), Oliveira e Gomes (2016), Boff et al. (2017), Batista e Siqueira (2017), Júnior (2017), Fernandes et al. (2017), Santana e Santos (2017), Catelli et al. (2017)
REVISTA BRASILEIRA EM ENSINO DE FÍSICA	486	4	Rodrigues et al. (2014), Parente et al. (2014), Silveira e Girardi (2017), Gusmão et al. (2017)
REVISTA EXPERIÊNCIAS EM ENSINO DE CIÊNCIAS	325	4	Filgueira e Soares (2015), Biazus e Rosa (2016), Teixeira et al. (2017), Brugliato e Almeida (2017),
INVESTIGAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS	178	1	Calheiro e Garcia (2014),
FÍSICA NA ESCOLA	64	2	Reis et al. (2018), Lobo et al. (2018)
TOTAL	1274	25	-

Fonte: Produzido pela autora

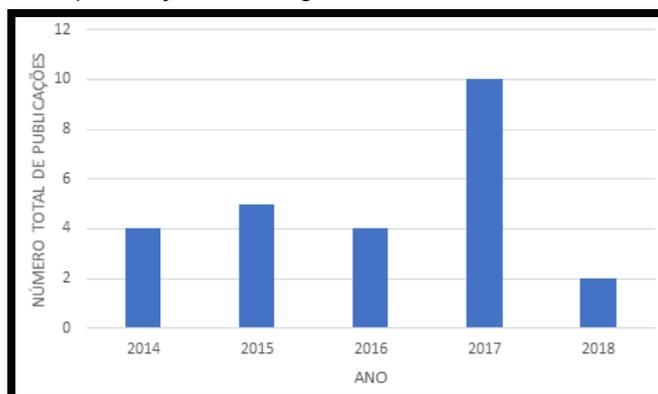
Na Figura 2 temos o gráfico com o número de publicações de artigos científicos em relação ao ano de publicação e na Figura 3 dispomos o gráfico com o número de publicações de artigos sobre FMC no EM com relação ao ano de publicação.

Figura 2 - Número de publicações de artigos científicos versus ano de publicação



Fonte: Produzida pela autora

Figura 3 - Número de publicações de artigos sobre FMC no EM versus ano de publicação



Fonte: Produzida pela autora

Dos 1274 artigos pesquisados apenas 25 tratam sobre FMC, sendo que só 2 tratam do tema Física de Partículas para o Ensino Médio, sendo que foram excluídos desse número, artigos que traziam divulgação científica, análise de livros didáticos e formação de professores. Podemos então notar uma grande carência de propostas testadas em sala de aula sobre o tema em questão, o que reflete diretamente no ensino.

Apresentamos uma descrição dos artigos selecionados de acordo com a categorização realizada.

a) *Propostas ou relatos do ensino mediados por experimentação*

Nessa categoria incluímos os artigos que traziam algum tipo de experimento como principal recurso mediacional para ensinar FMC para alunos do EM.

Erthal et al. (2014) no artigo **“GLOBO DE PLASMA: UMA MONTAGEM SIMPLES COM AMPLO POTENCIAL PARA DISCUSSÕES EM SALA DE AULA”**, descrevem a importância da inserção de FMC no currículo de Física do EM e a necessidade de direcionar o ensino de ciências para além da sala de aula, ou seja, que o aluno faça ligação entre ciência e tecnologia. E para isso apresenta a confecção e montagem de um globo de plasma alternativo, produzido com material de fácil aquisição. O globo de plasma citado além de poder ser usado para evidenciar temas relacionados ao estudo

de FMC e gerar discussões sobre tecnologias atuais presente no cotidiano dos alunos, ele desperta bastante interesse e curiosidade dos alunos.

Pinheiro (2015) no artigo - **CÂMARA DE NUUVENS: UMA ABORDAGEM INTEGRADA ENTRE FÍSICA CLÁSSICA E A FÍSICA MODERNA**, apresenta a construção de uma câmara de nuvens, respaldada na que foi desenvolvida pelo físico Charles Wilson, em 1911, e propõe possíveis temas de discussão para as aulas de Física, utilizando o aparato construído. A presença de uma câmara de nuvens atrai a atenção dos estudantes e é possível trabalhar temas tanto de Física Clássica, como: mudanças de estados físicos da matéria, relações entre variações de temperaturas, energia e processos de transmissão de calor; quanto temas de FMC, tais como: radiações ionizantes, raios cósmicos, radiação natural, partículas elementares e seus métodos de detecção. Cabe salientar que a câmara de nuvens foi importante na investigação e detecção de partículas elementares, sendo que foi com esse tipo de instrumento que em 1932 o pósitron foi detectado. Ressaltamos que a proposta da utilização do aparato construído foi incorporada a uma unidade de aprendizagem sobre partículas elementares e interações fundamentais.

Boff et al. (2017) relata no trabalho: **PRÁTICAS EXPERIMENTAIS NO ENSINO DE FÍSICA NUCLEAR UTILIZANDO MATERIAL DE BAIXO CUSTO**, a pouca divulgação da experimentação em especial para o ensino de Física Nuclear e que as atividades sugeridas na literatura são *geralmente* simulações que simbolizam o fenômeno físico. Para mudar esse quadro propõe duas práticas experimentais empregando uma câmara de ionização de baixo custo: a medida de filhos do Radônio-222 coletados do ar de ambientes fechados, e a medida do alcance de partículas alfa emitidas pelos filhos do Tório-232 presentes em camisinhas de lampião, com o objetivo de facilitar o ensino de Física Nuclear.

A primeira prática permite aos alunos e professores realizar coleta de material radioativo de baixa intensidade na sala de aula e estudar assuntos tais como: série radioativas, decaimento, tipos de radiação, meia-vida e outros. Já a segunda prática permite verificar que ao aproximar a fonte radioativa da janela da câmara de ionização a diferença de potencial começa a aumentar, indicando que nesta distância específica,

as partículas alfa começam a atingir o volume sensível da câmara, ionizando o ar dentro da mesma.

Ao realizar essa prática assuntos como alcance das partículas, energia das partículas, interação com a matéria, decaimento e fissão nuclear, poderão ser trabalhados em sala. Cabe ressaltar que a manipulação das fontes radioativas requer alguns cuidados, pois mesmo tendo baixa intensidade as fontes emitem radiação ionizante, assim, é recomendável evitar o contato da camisinha de lampião com a pele, armazená-la em local seguro.

Júnior (2017) no trabalho: **MÁSCARA ESPECTROGRÁFICA PARA REGISTRO DIGITAL DE ESPECTROS DE FONTES BRILHANTES**, apresenta diagramas esquemáticos para a construção de uma máscara espectrográfica com o objetivo de capturar espectros usando redes feitas de CD ou DVD. Sendo que os diagramas podem ser usados tanto na versão de espectroscópio ou na versão espectrógrafo. Vale lembrar que a importância do estudo da espectroscopia na Física se deve ao fato que as linhas espectrais permitem acessar os estados eletrônicos nos átomos.

Os materiais utilizados na construção do aparato são simples e permitem registro de espectro tanto em laboratório como ao ar livre, sendo que os espectros registrados podem ser analisados usando recurso de software livre, o que permite aos alunos a criação de um banco de espectros. Apesar das réplicas improvisadas em CD não substituir completamente as redes de difração comerciais, não deixa de ser surpreendente a qualidade dos espectros obtidos por esse arranjo simples.

Silveira e Girardi (2017) no trabalho: **DESENVOLVIMENTO DE UM KIT EXPERIMENTAL COM ARDUINO PARA O ENSINO DE FÍSICA MODERNA NO ENSINO MÉDIO**, relata que mesmo após 110 anos dos artigos publicados por Einstein que revolucionaram a Física, a introdução de seus conceitos no EM continuam menosprezados. Para mudar esse quadro, descrevem a construção e funcionamento de um kit experimental, denominado fotoduino, que consiste em um conjunto de lâmpadas, grade e placa (ferro zinco ou zinco) e um dispositivo eletrônico desenvolvido na plataforma Arduino, para demonstrar qualitativamente o efeito

fotoelétrico, na qual o equipamento monitora a corrente elétrica entre a placa e a grade, exibindo o gráfico corrente versus tempo. Além disso, o equipamento foi testado em experimentos envolvendo a condutividade elétrica do plasma e o efeito termiônico em lâmpadas de duplo filamento.

b) Propostas ou relatos do ensino mediados por simulação computacional

Nessa categoria incluímos os artigos que traziam temas com o intuito de se ensinar FMC para alunos do EM mediados por algum tipo de simulação computacional.

Soares e Moraes (2015) escreveram o artigo: **ENSINO DE MATÉRIA E RADIAÇÃO NO ENSINO MÉDIO COM O AUXÍLIO DE SIMULADORES INTERATIVOS**, onde realizaram uma análise através da perspectiva sócio-interativa de Vygotsky o uso do computador e de simuladores interativos desenvolvidos pelo projeto Physics Educational Technology (PhET) da universidade de Colorado. Os autores ressaltam que o uso de computadores e as tecnologias da informação devem aparecer como ferramenta no auxílio de demonstrações de experiências que não podem ser realizados no laboratório da escola e enfatiza que o próprio PhET alerta que é necessário cautela em relação ao uso de seus simuladores, pois objetivos operacionais de laboratório não podem ser abordados por simuladores.

A estratégia de uso de simuladores visa melhor compreensão de fenômenos nas aulas de física relacionados a FMC no EM, tais como tópicos de espectroscopia, radioatividade e física nuclear e para isso realizam um estudo de caso com um grupo de estudantes do terceiro ano do EM e avaliam o alinhamento de simuladores computacionais com o desenvolvimento da Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP) proposta por Vygotsky.

O estudo de caso foi descritivo e durante cada aula foi observado e avaliado o envolvimento dos estudantes em cada um dos temas abordados. Foi relatado pelos estudantes e pelo docente responsável pela disciplina de física que o uso de simuladores possibilitou uma melhor visualização dos processos e incentivou os estudantes a terem mais interesse pelo tema. Assim concluíram que o uso de

simuladores interativos se mostrou como elemento facilitador no ensino dos temas abordados. Por último, os simuladores do PhET utilizados foram no ensino dos tópicos de FMC foram: Lâmpadas de neônio e outras lâmpadas de descarga e jogo da datação radioativa.

c) Relatos de propostas mediadas por aulas expositivas

Nessa categoria incluímos os artigos que traziam resultados alcançados após a aplicação de propostas desenvolvidas com o intuito de se ensinar FMC para alunos do ensino médio, que não usaram experimentos ou simulações.

Rodrigues et al. (2014) discute no artigo: **UMA PROPOSTA DE INSERÇÃO DA TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA NO ENSINO MÉDIO VIA ESTUDO GPS**, as potencialidades da inserção da FMC no EM, dando destaque ao ensino da teoria da relatividade restrita por meio do estudo e explicação do sistema de posicionamento global (GPS). Para isso, descrevem as aulas e atividades desenvolvidas buscando relacionar a física com a vivência do cotidiano e desenvolver capacidade de trabalho em grupo, elaboração de hipótese e de explicação para situações apresentadas, colocando o aluno como participante ativo no processo ensino-aprendizagem. Cabe ressaltar a dificuldade encontrada pelos autores em elaborar o planejamento didático, pois apenas 2,21% dos artigos publicados no período de 2005 a 2009 nas principais revistas de educação em ciências e ensino de física se relacionavam à teoria da relatividade.

Parente et al. (2014) discute no trabalho: **“O ÁTOMO DE BOHR NO ENSINO MÉDIO”**, uma forma de introduzir o modelo de Bohr no EM, levando em consideração que este modelo é uma porta de entrada para o ensino da estrutura interna da matéria. O estudo dos modelos atômicos pode auxiliar no ensino das habilidades de raciocínio científico, onde os alunos podem ser levados a um discernimento sobre como novos modelos são construídos. Foram analisadas nove obras destinadas a alunos do EM onde o modelo atômico de Bohr foi apresentado da mesma forma que nos livros universitários. Diante deste problema, os autores propõem um estudo do modelo de Bohr por meio de analogias.

Calheiro e Garcia (2014) no artigo **“PROPOSTA DE INSERÇÃO DE TÓPICOS DE FÍSICA DE PARTÍCULAS INTEGRADOS AO CONCEITO DE CARGA ELÉTRICA POR MEIO DE UNIDADE DE POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA”**, apresentam resultados de mapas livre e conceituais feitos pelos os alunos a partir da aplicação de uma UEPS que teve como objetivo incorporar tópicos de física de partículas e eletricidade. Segundo as autoras, o trabalho seguiu uma linha construtivista.

Através da aplicação da UEPS, proposta por Moreira (2011) como base nos seguintes autores: David Ausubel, Joseph D. Novak, D. B. Gowin, Lev Vygotsky, Gérard Vargnaud e Philip Johnson-Laird. A pesquisa foi realizada numa turma de terceira série do ensino médio e foram desenvolvidas várias atividades com o objetivo de facilitar a compreensão dos fenômenos e dos conceitos básicos, bem como identificar se houve indícios de aprendizagem significativa. As responsáveis pelo trabalho optaram por realizar uma análise qualitativa dos dados e chegaram à conclusão de que houve indícios de aprendizagem significativa.

Silva et al. (2015) no artigo **FRAGMENTOS DO PARADOXO EPR EM UM TRECHO DE DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA: UMA PESQUISA DE CUNHO EXPLORATÓRIO COM INGRESSANTES NA UNIVERSIDADE**, apresentam uma síntese do Paradoxo de Einstein, Podolsky e Rosen (Paradoxo EPR), procurando esboçar suas possibilidades para o ensino de Física no EM e visando sondar essas possibilidades, analisam a produção de sentidos sobre o assunto com ingressantes na universidade, a partir da leitura de um texto de divulgação científica.

Após a leitura foi analisada quais os aspectos destacados pelos estudantes através de um questionário, chegando à conclusão que a maioria dos ingressantes na universidade que participaram da pesquisa produziram minimamente sentidos sobre o paradoxo EPR. Cabe salientar que esse paradoxo não é comumente trabalhado nos cursos de Licenciatura em Física. Finalizando e usando as palavras dos autores, embora pareça se tratar de um assunto complexo, trabalhar aspectos do paradoxo EPR no EM pode contribuir para que os estudantes: a) entrem em contato com um tópico de FQ; b) notem um aspecto da evolução histórica das ideias científicas; c) compreendam que na física são criados modelos que procuram explicar a natureza;

d) notem que os modelos científicos são desenvolvidos a partir de pressupostos filosóficos nem sempre explícitos; e) desmitifiquem a visão de que a ciência estabelece verdades absolutas e de que nela não há conflitos; f) entrem em contato com conceitos científicos importantes e atuais como o de emaranhamento e g) atentem para a importância das controvérsias, descaracterizando a muitas vezes divulgada genialidade infalível dos cientistas.

Araujo e Moraes (2015), escrevem o artigo: **O ESTUDO DA ESPECTROSCOPIA NO ENSINO MÉDIO ATRAVÉS DE UMA ABORDAGEM HISTÓRICO-FILOSÓFICA: POSSIBILIDADE DE INTERSECÇÃO ENTRE AS DISCIPLINAS DE QUÍMICA E FÍSICA**, onde propõem através de uma abordagem histórico-filosófica, discutir a inserção de FM no EM.

O tipo de abordagem foi escolhido, considerando resultados de pesquisas que apontam que o ensino de termos científicos, desta forma, permite discussões do papel da ciência na sociedade atual. O trabalho visa aprofundar a interlocução entre as disciplinas de Física e Química e para isso apresenta subsídios para responder à questão: que elementos da espectroscopia desenvolvidos em aulas de Física, numa abordagem histórico-filosófica, podem complementar o estudo de modelo atômico realizado nas aulas de Química no ensino médio?

O subsídio apresentado para responder à questão foi o desenvolvimento de uma sequência didática na terceira série do EM de uma escola da rede federal de ensino, usando uma metodologia de pesquisa qualitativa e os dados coletados para análise foram feitas através de gravação de áudio e vídeo das aulas. Sendo que a construção, aplicação e avaliação da sequência didática mostrou-se viável para responder à questão central do trabalho.

Cabe destacar que a discussão em torno das observações de Fraunhofer proporcionou debate sobre o significado dos termos contínuo e discreto, que se mostrou como porta de entrada para as questões sobre a constituição da matéria. Destaca-se ainda, que a abordagem histórico-filosófica do estudo de espectroscopia,

suscitaram uma participação efetiva dos alunos que não estavam acostumados com esse tipo de abordagem.

Ressaltamos também, que o trabalho desenvolvido possibilitou retomada de temas trabalhados na aula de Química, com o modelo atômico de Bohr e por fim foi trabalhado os limites desse modelo e discutido novas proposições sobre a constituição da matéria. Logo, a abordagem histórico-filosófica permitiu ao professor mostrar que a ciência é uma construção humana e que a cada dia surgem problemas e novas questões que permitem melhorar a construção dos modelos científicos.

Reis e Reis (2016), discutem a importância da abordagem histórico-filosófica sobre o conceito de espaço e tempo na educação básica no artigo: Os conceitos de espaço e de tempo como protagonistas no ensino de Física: **UM RELATO SOBRE UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA COM ABORDAGEM HISTÓRICO-FILOSÓFICA**. Para tanto realizaram uma pesquisa-ação na qual abordaram os temas: 1) Galileu e a geometrização do espaço e tempo; 2) A mecânica de Newton e o espaço e tempo absoluto; 3) A relatividade de Einstein e o espaço e o tempo relativo. Implementou-se então uma sequência didática considerando sempre uma aproximação entre o conhecimento científico e o contexto histórico. O material produzido foi analisado e avaliado, concluindo que os alunos se motivaram e mostraram que compreenderam o que foi abordado.

Brugliato e Almeida (2017) buscam no artigo: **LEITURA E MEDIAÇÃO EM AULAS DE FÍSICA DO ENSINO MÉDIO: UM ESTUDO SOBRE O EXPERIMENTO DE RUTHERFORD**, analisar através da questão de estudo: Como a leitura de um texto de divulgação científica sobre o modelo atômico de Rutherford, por estudantes do EM, pode contribuir para que eles produzam sentidos sobre elementos relacionados com a bomba atômica, o posicionamento dos alunos após a leitura do texto e mediação da professora sobre o tema.

Batista e Siqueira (2017) no artigo: **A INSERÇÃO DA FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA EM AMBIENTES REAIS DE SALA DE AULA: UMA SEQUÊNCIA DE ENSINO-APRENDIZAGEM SOBRE A RADIOATIVIDADE,**

apresentam uma sequência de ensino-aprendizagem sobre radioatividade, para isso usaram como referenciais teórico-metodológicos a DBR-TLS – Pesquisa baseada em projeto e a sequência de ensino-aprendizagem. Para a implementação do método foi utilizado um questionário para mapear as concepções prévias dos estudantes e no final foi utilizado outro questionário, envolvendo situações-problemas com o objetivo de verificar indícios de aprendizagem.

Santana e Santos (2017) no artigo: **ESPECTROSCOPIA E MODELOS ATÔMICOS: UMA PROPOSTA PARA A DISCUSSÃO DE CONCEITOS DE FÍSICA MODERNA NO ENSINO MÉDIO**, apresenta os resultados da aplicação de uma sequência didática preparada com a finalidade de discutir alguns conceitos de FM, tais como: espectroscopia, quantização da energia e da radiação, modelo atômico de Thomson, Rutherford e Bohr. Para isso, a questão: “Como o homem sabe do que o Sol é feito se ele nunca esteve lá?” foi o ponto de partida para as discussões. Foram utilizadas diversas ferramentas, entre elas: atividades experimentais, simulações, vídeos e de questões e textos formulados pelos alunos. A análise dos resultados foi qualitativa e permitiu, através das respostas dos alunos, concluir que a sequência foi bem-sucedida. Cabe ressaltar que a diversidade das abordagens utilizadas motivou os alunos a explorar os fenômenos.

Catelli et al. (2017) no artigo: **ESPECTRÔMETRO AMADOR: QUANTIFICANDO COMPRIMENTO DE ONDA**, descreve a construção de um espectrômetro de grande valor didático, usando materiais de fácil acesso e manipulação e de grande facilidade de fabricação, que possibilita a medição e exploração de espectros das mais diversas fontes de luz. Além de permitir a discussão de diversos temas de física, tais como: espectro contínuo, espectros de linhas, espectroscopia de absorção e outros.

Teixeira et al. (2017) no artigo: **RAIOS X: UM TEMA INSTIGANTE PARA A INTRODUÇÃO DA FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA NA SALA DE AULA DO ENSINO BÁSICO**, busca contribuir com professores de Física ao tratar de FMC no EM, para isso apresentam um texto com o objetivo de oferecer um material acessível para a introduzir os raios x (origens, aplicações e interações com a matéria).

Gusmão et al. (2017) no artigo: **A MATÉRIA ESCURA NO UNIVERSO - UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ENSINO MÉDIO**, apresenta uma proposta pedagógica para introduzir o tema matéria escura no universo para alunos do EM, aproveitando o destaque que o estudo de astronomia recebeu no Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio e das informações veiculadas nas mídias. O objetivo principal do trabalho é enriquecer o processo de ensino-aprendizagem relacionados ao tema de astronomia, abordando conteúdo importantes para a formação do aluno, entre eles a cinemática do movimento aplicada ao movimento dos planetas.

Lobo et al. (2018) no artigo: **TELEPORTE DE UMA PARTÍCULA: UM PROTOCOLO NO CONTEXTO DO ENSINO MÉDIO**, propõe a realização teórica do teleporte quântico de uma partícula por meio de cálculos envolvendo equações com duas variáveis (x e y). Mostrando a importância do emaranhamento, que é fundamental para o teleporte.

O objetivo é proporcionar aos professores e estudantes do Ensino Médio uma forma didática de compreender o tema, integrando a visão qualitativa com os procedimentos matemáticos. Os pré-requisitos incluem números complexos, propriedade distributiva, igualdade de polinômios e produto de matrizes, ferramentas matemáticas presentes no EM. O artigo pode servir como mediador dos conhecimentos científicos ao desmistificar os conceitos de teleporte e emaranhamento quântico, mostrando que não se trata de mera ficção científica, mas faz parte de um amplo espectro de possibilidades tecnológicas na atual era da informação quântica.

d) Relatos de propostas mediadas por metodologias diversas

Nessa categoria incluímos os artigos que traziam temas com o intuito de se ensinar FMC para alunos do ensino médio que utilizaram teatro, congresso, livros, obras de arte e outros.

Filgueira e Soares (2015) apresentam no artigo: **O LÚDICO NO ENSINO DE FÍSICA: ELABORAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE UM MINICONGRESSO COM TEMAS**

DE FÍSICA MODERNA NO ENSINO MÉDIO, os resultados de uma elaboração e desenvolvimento de um minicongresso com temas de FM realizada com estudantes do terceiro ano do EM de uma escola pública, visando investigar a viabilidade de trabalhar com temas de FMC por meio de atividade lúdica. Foi trabalhado com os alunos todas as regras de um congresso científico.

Coube ao professor fornecer artigos e textos que tinham relação com os temas escolhidos. O minicongresso é considerado lúdico por ser uma simulação do real e os deságios proporcionados por esse tipo de atividade têm se mostrado eficazes como estratégia de ensino e o resultado da pesquisa revelou que é viável trabalhar os temas de FMC usando esse tipo de metodologia.

Biazus e Rosa (2016) no artigo: **ABORDAGEM DE TÓPICOS DE MECÂNICA QUÂNTICA NO ENSINO MÉDIO PARTINDO DA APROXIMAÇÃO COMO O COTIDIANO**, investigam a implantação da Física Quântica no ensino médio, desenvolvendo uma sequência didática, explorando diferentes ferramentas didáticas, tais como, vídeos, documentários, simuladores e atividades experimentais. As autoras salientam que nas escolas o ensino de Física ainda é pautado na Física Clássica, e distantes do cotidiano do aluno.

A sequência didática foi fundamentada na teoria sociointeracionista de Vygostsky e foi aplicada em 20 encontros, onde buscou-se valorizar o contexto social e a interação na construção do conhecimento. Os encontros foram estruturados de forma que inicialmente o assunto fosse introduzido de forma contextualizada, logo em seguida apresentado o problema e a formulação de hipóteses, depois abordando o conteúdo da aula e finalizando com uma sistematização e aplicação do conhecimento.

Souza e Neves (2016) no artigo: **O LIVRO PARADIDÁTICO NO ENSINO DE FÍSICA – UMA ANÁLISE FABULAR, CIENTÍFICA E METAFÓRICA DA OBRA ALICE NO PAÍS DO QUANTUM: A FÍSICA AO ALCANCE DE TODOS**, apresentam uma análise da obra Alice no País do Quantum: A Física ao alcance de todos, de autoria de Robert Gilmore, que é uma adaptação do livro Alice no País das Maravilhas, de Lewis Carrol.

O livro tem o objetivo de apresentar os conceitos de Física Quântica através das aventuras da personagem Alice e os autores do artigo apresentam subsídios para serem usados por professores do EM para um tópico de difícil compreensão com mecânica quântica, e que foge do senso comum dos alunos. Logo o livro paradidático pode auxiliar na introdução de conceitos científicos e ser um facilitador da aprendizagem.

Oliveira e Gomes (2016) no artigo **EINSTEIN E A RELATIVIDADE ENTRAM EM CENA: DIÁLOGOS SOBRE O TEATRO NA ESCOLA E UM ENSINO DE FÍSICA CRIATIVO** apresentaram uma nova maneira de ensinar relatividade aos alunos do EM. Para tanto escolheram o teatro para relatar o conhecimento científico de forma a contagiar e provocar reflexões no ator e no espectador.

São protagonistas dessa história os personagens “ensino tradicional” e “física nova” que mostram em seus diálogos o ensino de relatividade de uma forma atrativa e divertida. Entre os resultados pode ser citado que os alunos se mostraram motivados em aprender Física. Logo o teatro científico pode ser uma ferramenta de grande potencial didático, podendo contribuir no processo de ensino e aprendizagem.

Fernandes et al. (2017) no artigo: **PINTURAS DE SALVADOR DALÍ PARA INTRODUIZIR CONCEITOS DE MECÂNICA QUÂNTICA NO ENSINO MÉDIO**, relata os resultados de uma proposta didática para o EM, compreendendo discussões sobre mecânica quântica e algumas pinturas de Salvador Dalí. Para isso, usou-se um contexto histórico que visa tornar o aluno capaz de situar explicações científicas no tempo, desenvolvendo hipóteses e conceitos através das ferramentas fornecidas, sendo que a introdução da Física através de um componente cultural influencia as interpretações dos fenômenos e contribui para a inclusão da FM.

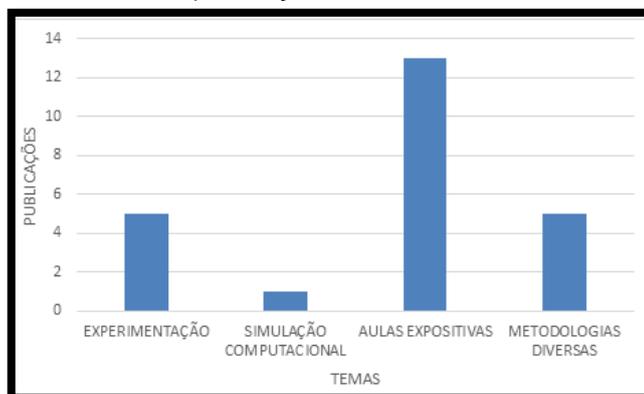
Os autores relatam que ao optem por aproximar duas diferentes áreas de conhecimento, inicialmente vistas caminhando em direções distintas, mas de natureza semelhante, proporcionamos aos estudantes uma visão mais ampla sobre o mundo à nossa volta. Repensar metodologias, adicionando elementos culturais ao mundo da física se faz cada vez mais necessário, pois parece ressignifica - lá ao proporcionar

inovações curriculares que tendem a reumanizar os conhecimentos físicos e, por isso mesmo, favorecem o diálogo com o aluno e com o seu universo.

Reis et al. (2018) no artigo: **TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA E CUBISMO NO ENSINO MÉDIO: UMA PROPOSTA DIDÁTICA DE APROXIMAÇÃO ENTRE DUAS CULTURAS**, apresenta uma ponte entre física e arte para discutir tópicos de FMC, mais especificamente uma proposta didática que possibilita uma aproximação entre a teoria da relatividade restrita desenvolvida por Albert Einstein que revolucionou as noções de espaço e tempo na física e no mesmo período o movimento cubista que revolucionou o espaço pictórico canônico. A proposta do trabalho visa disponibilizar recursos didáticos-pedagógicos para o professor de física utilizar, incentivando a inclusão de tópicos de FMC no EM.

Na Figura 4 apresentamos o número de publicações em cada tema de estudo proposto.

Figura 4 - Número de publicações em cada tema de estudo proposto



Fonte: Produzida pela autora

Observamos que os artigos têm vários temas de FMC, mas existe uma carência de trabalhos sobre o tema Física de Partículas e o Modelo Padrão. Notamos também, a falta de artigos que tratam das concepções alternativas dos estudantes sobre o assunto, sendo que a maioria dos trabalhos apostam no ensino diretivo como abordagem. Na nossa intervenção pretendemos ampliar o escopo dos recursos metodológicos utilizados.

3. A FÍSICA NO ENSINO MÉDIO

Para Moreira (2018), apesar do Brasil ter uma longa tradição na área de ensino de Física, grandes são os desafios que os professores do EM dessa disciplina enfrentam, entre eles um currículo desatualizado e carga horária insuficiente para um conteúdo tão extenso.

Moreira (2018) deixa claro a longa tradição e o reconhecimento internacional a pesquisa em ensino de Física no Brasil, bem como pós-graduação nessa área de ensino, cita ainda revistas e outras atividades ligadas a pesquisa e ensino de Física.

Paradoxalmente, no entanto, esse ensino está em crise. A carga horária semanal que chegou a 6 horas-aula por semana, hoje é de 2 ou menos. Aulas de laboratório praticamente não existem. Faltam professores de Física nas escolas e os que existem são obrigados a treinar os alunos para as provas, para as respostas corretas, ao invés de ensinar Física. [...] Os conteúdos curriculares não vão além da Mecânica Clássica e são abordados da maneira mais tradicional possível, totalmente centrada no professor, [...]. O resultado desse ensino é que os alunos, em vez de desenvolverem uma predisposição para aprender Física, como seria esperado para uma aprendizagem significativa, geram uma indisposição tão forte que chegam a dizer, metaforicamente, que “odeiam” a Física. (MOREIRA, 2018, p. 1).

A Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB, Lei nº 9.394/1996), estabelece a reformulação do ensino médio no Brasil, procurando atender a uma reconhecida necessidade de atualização da educação brasileira, deixando de ser meramente um trampolim para o ensino superior ou apenas profissionalizante, assumindo a responsabilidade de completar a educação básica, ou seja, preparando o aluno para vida como cidadão, o mundo do trabalho e prosseguimento dos estudos.

Segundo Brasil (1996) no artigo 22 da LDB:

A educação básica tem por finalidades desenvolver o educando, assegurar-lhe a formação comum indispensável para o exercício da cidadania e fornecer-lhe meios para progredir no trabalho e em estudos posteriores.

A LDB também define uma Base Nacional Comum Curricular (BNCC) que deve conduzir os currículos e as propostas pedagógicas de todo sistema da educação básica do Brasil.

Segundo Brasil (2018, p. 7):

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) é um documento de caráter normativo que define o conjunto orgânico e progressivo de aprendizagens essenciais que todos os alunos devem desenvolver ao longo das etapas e modalidades da Educação Básica, de modo a que tenham assegurados seus direitos de aprendizagem e desenvolvimento, em conformidade com o que preceitua o Plano Nacional de Educação (PNE). Este documento normativo aplica-se exclusivamente à educação escolar, tal como a define o § 1º do Artigo 1º da Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB, Lei nº 9.394/1996), e está orientado pelos princípios éticos, políticos e estéticos que visam à formação humana integral e à construção de uma sociedade justa, democrática e inclusiva, como fundamentado nas Diretrizes Curriculares Nacionais da Educação Básica (DCN).

A BNCC é aplicada à educação básica, devendo ser utilizada como referência nacional para a formulação dos currículos dos sistemas de educação das redes escolares dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios. Nesse sentido, espera-se que a BNCC ajude a superar a fragmentação das políticas educacionais, norteando uma educação de qualidade e garantindo uma base comum de aprendizagens em todo o território nacional. (BRASIL, 2018).

Ainda para Brasil (2018, p. 8):

Ao longo da Educação Básica, as aprendizagens essenciais definidas na BNCC devem concorrer para assegurar aos estudantes o desenvolvimento de dez competências gerais, que consubstanciam, no âmbito pedagógico, os direitos de aprendizagem e desenvolvimento.

No Quadro 2 apresentamos as dez competências gerais .

Quadro 2 - Competências gerais

COMPETÊNCIAS GERAIS
Valorizar e utilizar os conhecimentos historicamente construídos sobre o mundo físico, social, cultural e digital para entender e explicar a realidade, continuar aprendendo e colaborar para a construção de uma sociedade justa, democrática e inclusiva.
Exercitar a curiosidade intelectual e recorrer à abordagem própria das ciências, incluindo a investigação, a reflexão, a análise crítica, a imaginação e a criatividade, para investigar causas, elaborar e testar hipóteses, formular e resolver problemas e criar soluções (inclusive tecnológicas) com base nos conhecimentos das diferentes áreas.
Valorizar e fruir as diversas manifestações artísticas e culturais, das locais às mundiais, e também participar de práticas diversificadas da produção artístico-cultural.
Utilizar diferentes linguagens – verbal (oral ou visual-motora, como Libras, e escrita), corporal, visual, sonora e digital –, bem como conhecimentos das linguagens artística, matemática e científica, para se expressar e partilhar informações, experiências, ideias e sentimentos em diferentes contextos e produzir sentidos que levem ao entendimento mútuo.
Compreender, utilizar e criar tecnologias digitais de informação e comunicação de forma crítica, significativa, reflexiva e ética nas diversas práticas sociais (incluindo as escolares) para se comunicar, acessar e disseminar informações, produzir conhecimentos, resolver problemas e exercer protagonismo e autoria na vida pessoal e coletiva
Valorizar a diversidade de saberes e vivências culturais e apropriar-se de conhecimentos e experiências que lhe possibilitem entender as relações próprias do mundo do trabalho e fazer escolhas alinhadas ao exercício da cidadania e ao seu projeto de vida, com liberdade, autonomia, consciência crítica e responsabilidade.
Argumentar com base em fatos, dados e informações confiáveis, para formular, negociar e defender ideias, pontos de vista e decisões comuns que respeitem e promovam os direitos humanos, a consciência socioambiental e o consumo responsável em âmbito local, regional e global, com posicionamento ético em relação ao cuidado de si mesmo, dos outros e do planeta.
Conhecer-se, apreciar-se e cuidar de sua saúde física e emocional, compreendendo-se na diversidade humana e reconhecendo suas emoções e as dos outros, com autocrítica e capacidade para lidar com elas.
Exercitar a empatia, o diálogo, a resolução de conflitos e a cooperação, fazendo-se respeitar e promovendo o respeito ao outro e aos direitos humanos, com acolhimento e valorização da diversidade de indivíduos e de grupos sociais, seus saberes, identidades, culturas e potencialidades, sem preconceitos de qualquer natureza.
Agir pessoal e coletivamente com autonomia, responsabilidade, flexibilidade, resiliência e determinação, tomando decisões com base em princípios éticos, democráticos, inclusivos, sustentáveis e solidários.

Fonte: Brasil (2018, p.9)

Essas competências articulam-se na construção de conhecimentos, no desenvolvimento de habilidades e na formação de atitudes e valores. Logo, as decisões pedagógicas devem estar orientadas para o desenvolvimento de competências.

Na BNCC as aprendizagens essenciais do Ensino Médio estão organizadas por áreas de conhecimento: Linguagens e suas Tecnologias, Matemática e suas Tecnologias, Ciências da Natureza e suas Tecnologias, Ciências Humanas e Sociais Aplicada, sendo que para cada área do conhecimento, são definidas competências específicas e, relacionadas a cada uma dessas competências, são descritas habilidades a serem desenvolvidas.

O conjunto das competências específicas e habilidades definidas para o Ensino Médio concorre para o desenvolvimento das competências gerais da Educação Básica e está articulado às aprendizagens essenciais estabelecidas para o Ensino Fundamental. Com o objetivo de consolidar, aprofundar e ampliar a formação integral, atende às finalidades dessa etapa e contribui para que os estudantes possam construir e realizar seu projeto de vida, em consonância com os princípios da justiça, da ética e da cidadania. (BRASIL, 2018, p.471).

A Física, categorizada como Ciências da Natureza, deve proporcionar uma aprendizagem que possa contribuir para o desenvolvimento das competências específicas e habilidades definidas na BNCC.

Nos Quadros 3, 4 e 5 apresentamos as três competências específicas de Ciências da Natureza e suas Tecnologias para o Ensino Médio, bem como as habilidades as elas relacionadas.

Quadro 3 - Competências específicas 1

COMPETÊNCIAS ESPECÍFICAS DE CIÊNCIAS DA NATUREZA E SUAS TECNOLOGIAS PARA O ENSINO MÉDIO
<p>Analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas interações e relações entre matéria e energia, para propor ações individuais e coletivas que aperfeiçoem processos produtivos, minimizem impactos socioambientais e melhorem as condições de vida em âmbito local, regional e global.</p>
<p>HABILIDADES:</p>
<p>EM13CNT101 - Analisar e representar, com ou sem o uso de dispositivos e de aplicativos digitais específicos, as transformações e conservações em sistemas que envolvam quantidade de matéria, de energia e de movimento para realizar previsões sobre seus comportamentos em situações cotidianas e em processos produtivos que priorizem o desenvolvimento sustentável, o uso consciente dos recursos naturais e a preservação da vida em todas as suas formas.</p> <p>EM13CNT102 - Realizar previsões, avaliar intervenções e/ou construir protótipos de sistemas térmicos que visem à sustentabilidade, considerando sua composição e os efeitos das variáveis termodinâmicas sobre seu funcionamento, considerando também o uso de tecnologias digitais que auxiliem no cálculo de estimativas e no apoio à construção dos protótipos.</p> <p>EM13CNT103 - Utilizar o conhecimento sobre as radiações e suas origens para avaliar as potencialidades e os riscos de sua aplicação em equipamentos de uso cotidiano, na saúde, no ambiente, na indústria, na agricultura e na geração de energia elétrica.</p> <p>EM13CNT104 - Avaliar os benefícios e os riscos à saúde e ao ambiente, considerando a composição, a toxicidade e a reatividade de diferentes materiais e produtos, como também o nível de exposição a eles, posicionando-se criticamente e propondo soluções individuais e/ou coletivas para seus usos e descartes responsáveis.</p> <p>EM13CNT105 - Analisar os ciclos biogeoquímicos e interpretar os efeitos de fenômenos naturais e da interferência humana sobre esses ciclos, para promover ações individuais e/ou coletivas que minimizem consequências nocivas à vida.</p> <p>EM13CNT106 - Avaliar, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais, tecnologias e possíveis soluções para as demandas que envolvem a geração, o transporte, a distribuição e o consumo de energia elétrica, considerando a disponibilidade de recursos, a eficiência energética, a relação custo/benefício, as características geográficas e ambientais, a produção de resíduos e os impactos socioambientais e culturais.</p> <p>EM13CNT107 - Realizar previsões qualitativas e quantitativas sobre o funcionamento de geradores, motores elétricos e seus componentes, bobinas, transformadores, pilhas, baterias e dispositivos eletrônicos, com base na análise dos processos de transformação e condução de energia envolvidos - com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais -, para propor ações que visem a sustentabilidade.</p>

Fonte: Brasil (2018, p.554, 555)

Essa competência possibilita estudos referentes a estrutura da matéria, princípio da conservação de energia e quantidade de movimento, espectro eletromagnético, desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias de obtenção de energia, entre outros. (BRASIL, 2018).

Quadro 4 - Competências específicas 2

COMPETÊNCIAS ESPECÍFICAS DE CIÊNCIAS DA NATUREZA E SUAS TECNOLOGIAS PARA O ENSINO MÉDIO
<p>Analisar e utilizar interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo, e fundamentar e defender decisões éticas e responsáveis.</p>
HABILIDADES
<p>EM13CNT201 - Analisar e discutir modelos, teorias e leis propostos em diferentes épocas e culturas para comparar distintas explicações sobre o surgimento e a evolução da Vida, da Terra e do Universo com as teorias científicas aceitas atualmente.</p> <p>EM13CNT202 - Analisar as diversas formas de manifestação da vida em seus diferentes níveis de organização, bem como as condições ambientais favoráveis e os fatores limitantes a elas, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais (como softwares de simulação e de realidade virtual, entre outros).</p> <p>EM13CNT203 - Avaliar e prever efeitos de intervenções nos ecossistemas, e seus impactos nos seres vivos e no corpo humano, com base nos mecanismos de manutenção da vida, nos ciclos da matéria e nas transformações e transferências de energia, utilizando representações e simulações sobre tais fatores, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais (como softwares de simulação e de realidade virtual, entre outros).</p> <p>EM13CNT204 - Elaborar explicações, previsões e cálculos a respeito dos movimentos de objetos na Terra, no Sistema Solar e no Universo com base na análise das interações gravitacionais, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais (como softwares de simulação e de realidade virtual, entre outros).</p> <p>EM13CNT205 - Interpretar resultados e realizar previsões sobre atividades experimentais, fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas noções de probabilidade e incerteza, reconhecendo os limites explicativos das ciências.</p> <p>EM13CNT206 - Discutir a importância da preservação e conservação da biodiversidade, considerando parâmetros qualitativos e quantitativos, e avaliar os efeitos da ação humana e das políticas ambientais para a garantia da sustentabilidade do planeta.</p> <p>EM13CNT207 - Identificar, analisar e discutir vulnerabilidades vinculadas às vivências e aos desafios contemporâneos aos quais as juventudes estão expostas, considerando os aspectos físico, psicoemocional e social, a fim de desenvolver e divulgar ações de prevenção e de promoção da saúde e do bem-estar.</p> <p>EM13CNT208 - Aplicar os princípios da evolução biológica para analisar a história humana, considerando sua origem, diversificação, dispersão pelo planeta e diferentes formas de interação com a natureza, valorizando e respeitando a diversidade étnica e cultural humana.</p> <p>EM13CNT209 - Analisar a evolução estelar associando-a aos modelos de origem e distribuição dos elementos químicos no Universo, compreendendo suas relações com as condições necessárias ao surgimento de sistemas solares e planetários, suas estruturas e composições e as possibilidades de existência de vida, utilizando representações e simulações, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais (como softwares de simulação e de realidade virtual, entre outros).</p>

Fonte: Brasil (2018, p.556,557)

Essa competência, além de possibilitar a avaliação do potencial e dos limites da ciência, proporciona o estudo da origem da vida, espectro eletromagnético, modelos atômicos, subatômicos e cosmológicos; astronomia, evolução estelar, gravitação, mecânica newtoniana, previsão do tempo, história e filosofia da ciência, entre outros. (BRASIL, 2018).

Quadro 5 - Competências específicas 3

COMPETÊNCIAS ESPECÍFICAS DE CIÊNCIAS DA NATUREZA E SUAS TECNOLOGIAS PARA O ENSINO MÉDIO
Investigar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC).
HABILIDADES
<p>EM13CNT301 - Construir questões, elaborar hipóteses, previsões e estimativas, empregar instrumentos de medição e representar e interpretar modelos explicativos, dados e/ou resultados experimentais para construir, avaliar e justificar conclusões no enfrentamento de situações-problema sob uma perspectiva científica.</p> <p>EM13CNT302 - Comunicar, para públicos variados, em diversos contextos, resultados de análises, pesquisas e/ou experimentos, elaborando e/ou interpretando textos, gráficos, tabelas, símbolos, códigos, sistemas de classificação e equações, por meio de diferentes linguagens, mídias, tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC), de modo a participar e/ou promover debates em torno de temas científicos e/ou tecnológicos de relevância sociocultural e ambiental.</p> <p>EM13CNT303 - Interpretar textos de divulgação científica que tratem de temáticas das Ciências da Natureza, disponíveis em diferentes mídias, considerando a apresentação dos dados, tanto na forma de textos como em equações, gráficos e/ou tabelas, a consistência dos argumentos e a coerência das conclusões, visando construir estratégias de seleção de fontes confiáveis de informações.</p> <p>EM13CNT304 - Analisar e debater situações controversas sobre a aplicação de conhecimentos da área de Ciências da Natureza (tais como tecnologias do DNA, tratamentos com células-tronco, neurotecnologias, produção de tecnologias de defesa, estratégias de controle de pragas, entre outros), com base em argumentos consistentes, legais, éticos e responsáveis, distinguindo diferentes pontos de vista.</p> <p>EM13CNT305 - Investigar e discutir o uso indevido de conhecimentos das Ciências da Natureza na justificativa de processos de discriminação, segregação e privação de direitos individuais e coletivos, em diferentes contextos sociais e históricos, para promover a equidade e o respeito à diversidade.</p> <p>EM13CNT306 - Avaliar os riscos envolvidos em atividades cotidianas, aplicando conhecimentos das Ciências da Natureza, para justificar o uso de equipamentos e recursos, bem como comportamentos de segurança, visando à integridade física, individual e coletiva, e socioambiental, podendo fazer uso de dispositivos e aplicativos digitais que viabilizem a estruturação de simulações de tais riscos.</p> <p>EM13CNT307 - Analisar as propriedades dos materiais para avaliar a adequação de seu uso em diferentes aplicações (industriais, cotidianas, arquitetônicas ou tecnológicas) e/ ou propor soluções seguras e sustentáveis considerando seu contexto local e cotidiano.</p> <p>EM13CNT308 - Investigar e analisar o funcionamento de equipamentos elétricos e/ou eletrônicos e sistemas de automação para compreender as tecnologias contemporâneas e avaliar seus impactos sociais, culturais e ambientais.</p> <p>EM13CNT309 - Analisar questões socioambientais, políticas e econômicas relativas à dependência do mundo atual em relação aos recursos não renováveis e discutir a necessidade de introdução de alternativas e novas tecnologias energéticas e de materiais, comparando diferentes tipos de motores e processos de produção de novos materiais.</p> <p>EM13CNT310 – Investigar e analisar os efeitos de programas de infraestrutura e demais serviços básicos (saneamento, energia elétrica, transporte, telecomunicações, cobertura vacinal, atendimento primário à saúde e produção de alimento, entre outros) e identificar a necessidades locais e/ou regionais em relação a esses serviços, a fim de avaliar e/ou promover ações que contribuam para a melhoria na qualidade de vida e nas condições de saúde da população.</p>

Fonte: Brasil (2018, p.558, 559)

Essa competência, articuladas com as competências anteriores, possibilita aos estudantes apropriar-se de procedimentos e práticas das Ciências da Natureza, a construção e avaliação de hipóteses, a investigação de situações-problema, a experimentação com coleta e análise de dados mais aprimorados, como também se tornar mais autônomos no uso da linguagem científica e na comunicação desse conhecimento. (BRASIL, 2018).

Cabe ressaltar que o desenvolvimento dessas competências possibilita o estudo dos temas abordados em nossa pesquisa, tais como o ensino, da estrutura da matéria, dos modelos atômicos e subatômicos, da história e filosofia da ciência entre outros.

Para atender aos propósitos de formação no Ensino Médio se faz necessário uma nova organização curricular, orientada pelas competências gerais da Educação Básica, considerando também as competências específicas de cada área bem como as habilidades a serem desenvolvidas pelos educandos.

Para atender a todas essas demandas de formação no Ensino Médio, mostra-se imperativo repensar a organização curricular vigente para essa etapa da Educação Básica, que apresenta excesso de componentes curriculares e abordagens pedagógicas distantes das culturas juvenis, do mundo do trabalho e das dinâmicas e questões sociais contemporâneas. (BRASIL, 2018, p.467).

Cabe as redes de ensino e escolas particulares, baseados na BNCC, a tarefa de elaborarem um documento curricular.

No Estado do Espírito Santo, segundo o site da Secretaria Estadual de Educação (SEDU), disponível em <<https://sedu.es.gov.br/curriculo-base-da-rede-estadual>> acessado em 13/10/2020, “o documento foi elaborado em conjunto por diversos profissionais de educação do Estado, em regime de colaboração com a União Nacional dos Dirigentes Municipais de Educação (Undime) e incluiu professores redatores, professores analistas, professores colaboradores, articuladores municipais e toda a equipe ProBNCC do Espírito Santo. A rede privada, rede estadual e os

municípios que não têm sistema próprio de Ensino, seguem o documento aprovado pelo Conselho Estadual de Educação (CEE) e instituído por meio da Resolução CEE/ES nº 5.190/18 em 31/12/2018”. (ESPÍRITO SANTO (ESTADO)).

Segundo o mesmo site, o currículo da Educação Infantil e Ensino Fundamental estão prontos, e o currículo do Ensino Médio está em fase de reelaboração. Sendo, o currículo vigente, o Currículo Básico Escola Estadual, que está disponível no site.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, apresentamos alguns aspectos gerais da teoria e das estratégias utilizadas para o desenvolvimento da pesquisa. Inicialmente, salientamos a Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel na visão de Moreira (2012; 2017) e a sequência didática sugerida por Moreira (2011), denominada como Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS). E finalizamos com uma abordagem sobre mapas conceituais, de acordo com Moreira (2010) e sobre o método ativo de aprendizagem - Aprendizagem Baseada em equipes (TBL) segundo Oliveira et al (2016).

4.1 A TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

As rápidas transformações ocorridas no mundo surgiram de forma articuladas com as mudanças sociais, políticas e tecnológicas. Frente a esse novo cenário não há mais espaço para um ensino puramente mecanicista, e surge a necessidade de métodos de aprendizado compatíveis com essa nova situação, entre eles a Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel.

A aprendizagem significativa é aquela em que o aprendizado depende da interação e do relacionamento da nova informação com os conhecimentos prévios. Como bem nos assegura Moreira (2012), Aprendizagem Significativa é aquela por meio da qual a interação entre as ideias expressas simbolicamente e o conhecimento prévio do aluno ocorre de forma substantiva, ou seja, não ao pé-da-letra e não arbitrária, isto é, com o conhecimento relevante e já existente na estrutura cognitiva do aluno.

Para Moreira (2017) existem três tipos gerais de aprendizagem: Cognitiva, afetiva e psicomotora. Evidenciamos a aprendizagem cognitiva que segundo Moreira (2017, p.16), "... aquela que resulta no armazenamento organizado de informações na mente do ser que aprende, e esse complexo organizado é conhecido como estrutura cognitiva".

Conforme Moreira (2017) a Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel é cognitiva, pois a aprendizagem resulta do armazenamento organizado de informações na mente do ser que aprende.

Ausubel define o conhecimento já existente na estrutura cognitiva do aprendiz como subsunçor ou ideia-âncora, que é definido como sendo um conhecimento prévio significativo, existente na estrutura cognitiva do sujeito, que através da interação com novos conhecimentos, permite dar significado a estes. (MOREIRA, 2012).

O autor deixa claro que a presença de subsunçores promove viabilização da aprendizagem significativa. Logo, aquilo que o aprendiz já sabe, é o que mais influencia a aprendizagem significativa.

Por exemplo, na nossa pesquisa, esperamos que na estrutura cognitiva dos alunos existam subsunçores que possam ser utilizados como âncoras para compreensão de conceitos relacionados a estrutura da matéria.

Sabemos que na perspectiva da aprendizagem significativa ausubeliana, os subsunçores, isto é, conhecimentos prévios indispensáveis para aprendizagem de novos conhecimentos, é o fator mais importante para o aprendiz. Mas quando o aluno não possui subsunçores adequados para a nova aprendizagem, o que fazer?

Para Moreira (2017) uma resposta plausível é a aprendizagem mecânica, ou seja, aquela baseada na memorização, na qual o aprendiz aprende, mas a informação não lhe traz nenhum significado. Entretanto, a aprendizagem mecânica forma elementos na estrutura cognitiva que podem servir de subsunçores, ainda que mal elaborados, para novos conceitos, e atingir o objetivo que é a aprendizagem significativa.

Ausubel, no entanto, segundo Moreira (2017) recomenda o uso de organizadores prévios, que são materiais apresentados antes do material a ser aprendido em si, sendo apresentados em um nível mais alto de abstração, generalidade e inclusividade, com o fim de manipular a estrutura cognitiva e facilitar a aprendizagem significativa. Logo, a principal função dos organizadores prévios é servirem de ponte entre o que o aprendiz já sabe e o novo conhecimento.

Mesmo não sendo o "Santo Graal" do ensino-aprendizagem, pois seu uso não é cem por cento garantido, o uso de organizadores prévios pode facilitar a aprendizagem significativa. Caso contrário, Ausubel não defenderia o seu uso.

Para Moreira (2017, p. 164), existem basicamente duas condições para a aprendizagem significativa:

Uma das condições para a ocorrência da aprendizagem significativa, portanto, é que o material a ser aprendido seja relacionável (ou incorporável) à estrutura cognitiva do aprendiz, de maneira não arbitrária e não literal. Um material com essa característica é dito potencialmente significativo.

Outra condição é que o aprendiz manifeste uma disposição para relacionar de maneira substantiva e não arbitrária o novo material, potencialmente significativo, à sua estrutura cognitiva.

Para que a aprendizagem significativa aconteça, é necessário conforme explicado acima que além do material ser potencialmente significativo, que o aluno esteja disposto a aprender e, isto, implica a existência de elementos motivacionais.

Para Bzuneck e Guimarães (2010) uma poderosa fonte de motivação consiste no aluno ver significado e importância naquilo que lhe é proposto, pois uma tarefa ou um conteúdo visto como sem significado e sem importância, não têm o poder de motivar, antes, provocam indiferença e apatia. Portanto, para motivar alunos é necessário dar significado ao que se ensina.

Motivar alunos é também criar estratégias de ensino que contribuam para se conseguir melhor envolvimento dos alunos nas atividades de aprendizagem, essas estratégias são denominadas embelezamento motivacionais. (BZUNECK e GUIMARÃES, 2010).

Bzuneck e Guimarães (2010) descreve treze tipos de embelezamento motivacionais, evidenciaremos apenas aqueles utilizados em nossa pesquisa, que são: manipulação de objetos, conflito cognitivo, introdução de novidades, interação com amigos no grupo e jogos.

Existem, basicamente, dois processos para a ocorrência de aprendizagem significativa: a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa.

De acordo com Moreira (2017, p. 169):

A diferenciação progressiva é vista como um princípio programático da matéria de ensino, segundo o qual as ideias, conceitos, proposições mais gerais e inclusivos do conteúdo devem ser apresentados no início da instrução e, progressivamente, diferenciados em termos de detalhe e especificidade.

A reconciliação integrativa, por sua vez, é o princípio segundo o qual a instrução deve também explorar relações de ideias, apontar similaridades e diferenças importantes e reconciliar discrepâncias reais ou aparentes.

A melhor maneira de compreender esses processos é considerar como eles podem ser implementados na prática. "Segundo Ausubel, esses dois princípios programáticos podem, na prática, ser implementados pelo uso de organizadores prévios adequados. Outra maneira de promover a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa é pela utilização de "mapas conceituais"." (MOREIRA apud MOREIRA e BUCHWEITZ, 2017, P.169).

Além dos dois processos citados, Ausubel propõe mais dois princípios facilitadores da aprendizagem significativa: a organização sequencial e a consolidação. Para Ausubel a organização sequencial pode maximizar a aprendizagem significativa ao tirar proveito das dependências sequenciais existentes na disciplina. Já na consolidação, Ausubel insiste que antes de introduzir novos conteúdos, seja assegurada o sucesso na aprendizagem sequencialmente organizada. (MOREIRA, 2017).

A Teoria da Aprendizagem Significativa, conforme já citado, enfatiza a aprendizagem cognitiva e considera o conhecimento prévio a variável mais importante para a ocorrência de aprendizagem significativa. Cabendo ao professor diagnosticar esse conhecimento prévio, e produzir material potencial significativo, ao mesmo tempo motivar os alunos a ter disposição para aprender, através de atividades diversificadas e motivadoras.

4.2 UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA

Na busca por uma aprendizagem significativa, vários métodos, instrumentos e abordagens são incorporados ao ensino, entre eles podemos citar a Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS), que como veremos, se tratar de uma sequência didática que busca verificar indícios de uma aprendizagem significativa.

Para Moreira (2011) a UEPS facilita elaborar uma sequência didática, por meio da qual as atividades a serem desenvolvidas visam a aprendizagem significativa.

A UEPS somente será considerada exitosa se a avaliação do desempenho dos alunos fornecer evidências de aprendizagem significativa (captação de significados, compreensão, capacidade de explicar, de aplicar o conhecimento para resolver situações-problema). A aprendizagem significativa é progressiva, o domínio de um campo conceitual é progressivo; por isso, a ênfase em análise do processo, não em comportamentos finais. (MOREIRA, 2011).

Desenvolver material potencialmente significativo para o ensino-aprendizagem deve ser a inspiração dos professores ao planejarem sua sequência didática, criando estratégias que auxiliam o aluno assimilar e organizar novos conceitos.

Para a construção da UEPS, Moreira (2011) sugere oito passos a serem seguidos:

1. Definir o tópico a ser apresentado, identificando seus processos declarativos e procedimentais;
2. Propor situações para os alunos, que exponham seus conhecimentos prévios;
3. Propor situações-problema levando em conta os conhecimentos prévios dos alunos com a finalidade de prepará-los para novo conteúdo que se pretende ensinar, sendo que tais situações-problema podem funcionar como organizador prévio;
4. Uma vez trabalhadas as situações iniciais, apresentar o conhecimento a ser ensinado/aprendido, levando em conta a diferenciação progressiva;
5. Retomar os aspectos mais gerais e estruturantes usando novas estratégias com níveis crescentes de complexidade, destacando semelhanças e diferenças

relativas as situações já trabalhadas, promovendo assim, a reconciliação integradora, finalizando com outra atividade que propicie uma interação social que permita aos alunos negociar significados, tendo o professor como mediador.

6. Dar continuidade ao processo de diferenciação progressiva, através de nova apresentação de situações-problema propostas e trabalhadas em nível mais altos de complexidade, buscando a reconciliação integrativa. Essas situações devem ser resolvidas colaborativamente e depois apresentadas e/ou discutidas em grande grupo, mediados pelo professor;
7. A avaliação da aprendizagem deve ser realizada durante todo o processo buscando evidências de aprendizagem significativa. A avaliação do aluno na UEPS deve ser recursiva e formativa.
8. A aprendizagem significativa é progressiva, logo o êxito da UEPS só pode ser considerado se a avaliação do desempenho dos alunos, durante todo processo, fornece evidências de aprendizagem significativa (captação de significados, compreensão, capacidade de explicar, de aplicar o conhecimento para resolver situações-problema).

Para a elaboração da nossa UEPS, utilizamos esses passos sugeridos por Moreira (2011), com a finalidade de encontrar evidências de aprendizagem significativa sobre a estrutura da matéria.

4.3 – MAPAS CONCEITUAIS

A aprendizagem significativa resulta no armazenamento organizado de conhecimentos na estrutura cognitiva de quem aprende, e uma estratégia que pode facilitar a aprendizagem significativa em sala de aula são os mapas conceituais.

Mapas conceituais ou mapas de conceitos, são diagramas que enfatizam relações entre conceitos. Os mapas conceituais podem ser usados em sala de aula para mostrar relações significativas entre conceitos ensinados, dando uma visão geral do tema estudado, permitindo a integração, reconciliação e diferenciação de conceitos. (MOREIRA, 2010).

Mapas conceituais buscam relacionar conceitos e hierarquizá-los, sendo que os conceitos mais inclusivos estão no topo da hierarquia e no alto do mapa e os conceitos pouco abrangentes estão na base, sendo esse apenas um modelo, pois os mapas conceituais podem ser hierarquizados de outra forma. O importante é ficar claro quais são os conceitos mais abrangedores e quais os secundários. (MOREIRA, 2010).

Não há regras gerais fixas para o traçado de mapas de conceitos. O importante é que o mapa seja um instrumento capaz de evidenciar significados atribuídos a conceitos e relações entre conceitos no contexto de um corpo de conhecimentos, de uma disciplina, de uma matéria de ensino. (MOREIRA, 2010, p. 15).

O autor deixa claro, que o indivíduo que faz o mapa conceitual, deve ser capaz de explicitar a relação que vê entre os conceitos traçados no mapa.

Mapas conceituais não são autoexplicativos, portanto, devem ser explicados, levando quem fez externalizar significados. (MOREIRA, 2010).

Os mapas conceituais, por serem uma técnica flexível, podem ser usados em diversas situações, para diferentes finalidades, entre as quais citamos: técnica didática, recurso de aprendizagem e instrumento de avaliação. (MOREIRA apud MOREIRA e BUCHWEITZ, 2010).

Quanto a técnica didática, mapas conceituais podem ser úteis para mostrar relações significativas entre conceitos ensinados, lembrando que por não ser autoexplicativo, eles devem ser explicados pelo professor. Como recurso de aprendizagem, os mapas conceituais podem ser utilizados para integrar, reconciliar e diferenciar conceitos. E como instrumento de avaliação, os mapas podem ser usados para se obter uma visualização da organização conceitual que o aprendiz atribui a um dado conhecimento, segundo seu ponto de vista. (MOREIRA, 2010).

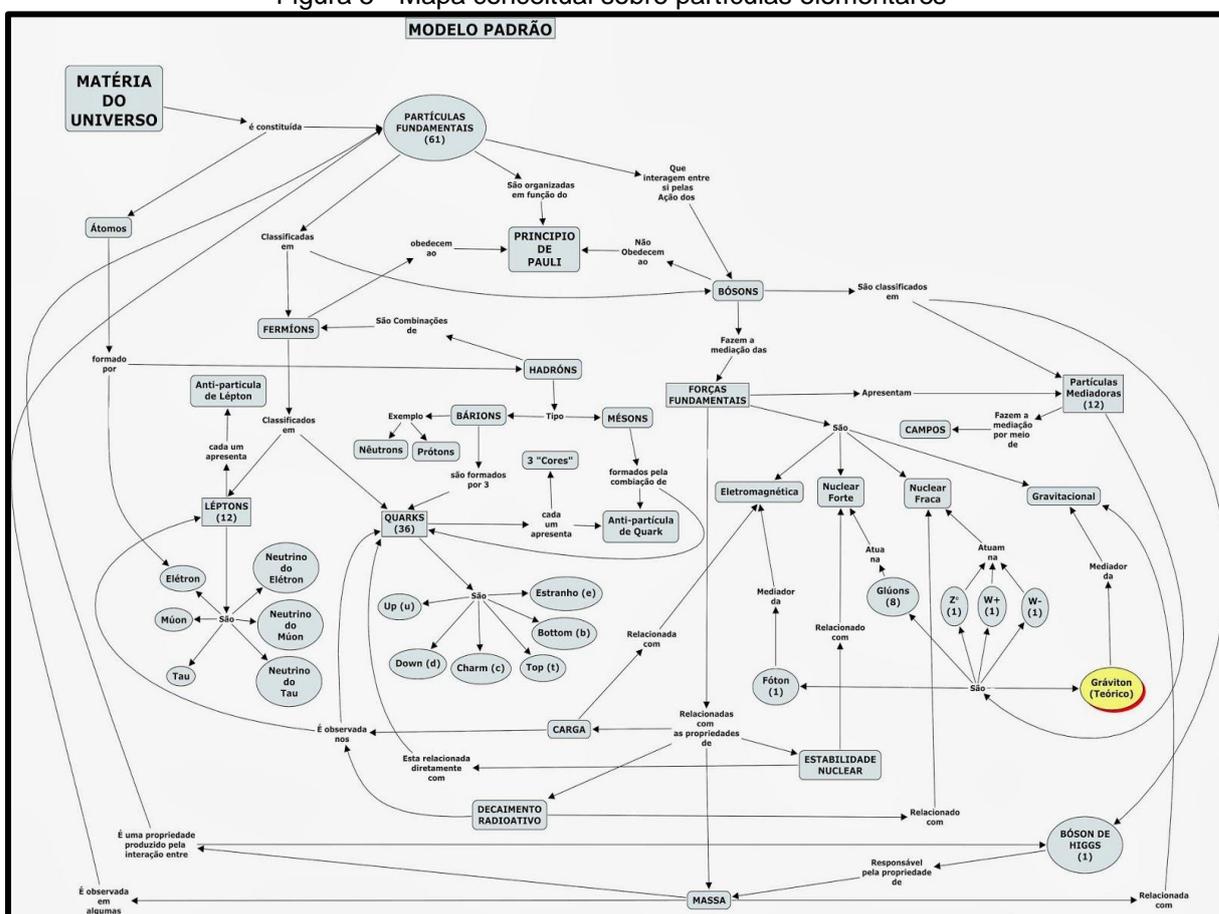
De acordo com Moreira (2010, p. 17):

A estreita relação entre mapas conceituais e aprendizagem significativa vem do fato de que logo após seu aparecimento essa estratégia revelou ter um alto potencial para facilitar a negociação e aquisição de significados. Não se deve, porém, confundir as duas coisas: se mal utilizados, mapas conceituais podem gerar aprendizagem mecânica, puramente memorística, como tantas outras estratégias instrucionais.

Para que a aprendizagem significativa aconteça, é necessário conforme explicado acima que os mapas conceituais sejam usados para facilitar a negociação, construção e aquisição de significados.

Na Figura (5) temos um exemplo de mapa conceitual sobre partículas elementares.

Figura 5 - Mapa conceitual sobre partículas elementares



Fonte: (COELHO, 2013)

De acordo com Moreira (2010, p.55):

O professor deve, verdadeiramente, atuar como mediador da construção dos alunos. Sua postura deve ser, de fato, construtivista. Sua participação não deve ser no sentido de verificar se o mapa está "certo ou errado". Isso é

comportamentalismo, não construtivismo. Naturalmente alguns mapas conceituais sairão pobres e podem conter relações não aceita no contexto da matéria de ensino, mas isso significa que podem ser melhorados, que devem sofrer modificações (sempre "negociadas"), não que estejam erradas.

Devemos, portanto, compreender que o foco central dos mapas conceituais deve ser a atribuição de significados entre conceitos e a negociação de conceitos e nessa negociação o professor deve ter presença marcante.

4.4 METODOLOGIAS ATIVAS

Já comentamos que o método tradicional de ensino, baseados numa aprendizagem mecânica não tem obtidos bons resultados. Mesmo assim, este método é muito presente no ensino, o que resume basicamente em aula apenas expositiva, resolução de exercícios e prova, sendo o professor o personagem principal da educação. Tentando mudar esse quadro, surgem as metodologias ativas de aprendizagem, que tornam o aluno protagonista, ou seja, o maior responsável pelo seu processo de aprendizagem.

Ressaltamos, que o professor continua sendo fundamental ao ensino, tornando-se um mediador entre o conhecimento e o aprendiz.

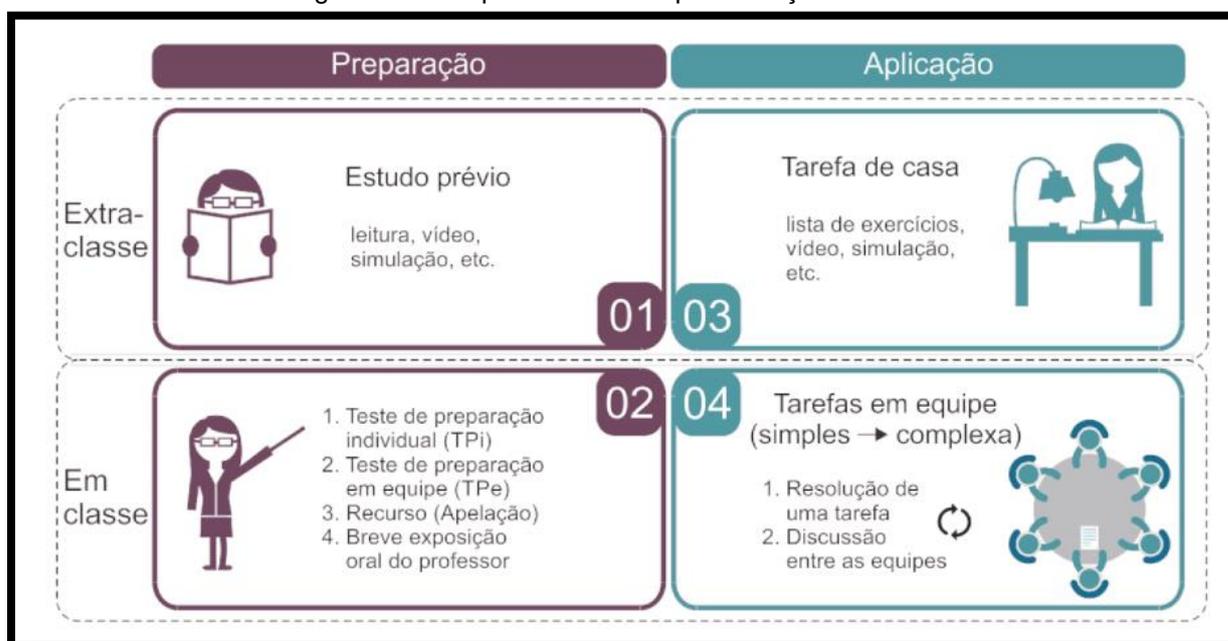
Dentre várias metodologias ativas destacaremos apenas a Aprendizagem Baseada em Equipes.

O Team-Based Learning (TBL) ou Aprendizagem Baseada em Equipes, é uma metodologia ativa que busca melhorar os resultados de aprendizagem e desenvolver habilidades de trabalho colaborativo através de atividades de preparação prévia, resolução de problemas (individualmente e em pequenos grupos), entre outras estratégias. (OLIVEIRA, ARAUJO e VEIT, 2016).

O trabalho em pequenos grupos em sala de aula, ao propiciar um processo de argumentação e de contato com diferentes percepções, pode conduzir a um melhor entendimento dos conteúdos abordados. (OLIVEIRA, ARAUJO e VEIT, 2016, p. 965)

Segundo Oliveira, Araujo e Veit (2016), durante a aplicação do método TBL as equipes devem manter os mesmos integrantes, desenvolvendo, assim, a confiança entre os membros e o comprometimento individual para o bom rendimento do grupo. Os membros do grupo são escolhidos estrategicamente pelo professor, que procura montar equipes heterogêneas, levando em conta fatores como conhecimento, habilidades, interesses, favorecendo que as equipes tenham níveis semelhantes de interatividade. Sugere-se que as equipes tenham de 5 a 7 alunos. As principais fases na implementação do TBL são apresentadas na Figura (6).

Figura 6 - Principais fases de implementação do TBL



Fonte: Oliveira, Araujo e Veit (2016, p.967).

Na fase de preparação os alunos realizam um estudo prévio extraclasse e em sala de aula, eles respondem um teste conceitual individual (Teste de Preparação individual – Tpi) relacionado com o estudo prévio. Em seguida os testes são recolhidos pelo professor e o mesmo teste é realizado em equipe (Teste de Preparação em equipe – Tpe), sendo que nessa fase os alunos recebem uma cartela "raspadinha" para rasparem, após dialogarem com seus colegas de equipe e entrarem em consenso, a resposta definida como certa. Caso a resposta esteja correta aparecerá o símbolo de uma estrela. Caso a resposta esteja errada os alunos voltam a dialogar para tentar encontrar a resposta correta, raspando outra alternativa. No TPe os alunos só passam

para a questão seguinte após terem raspado a alternativa correta da questão em pauta, lembrando sempre do consenso entre o grupo. (OLIVEIRA, ARAUJO e VEIT, 2016).

Salientamos que a raspadinha nada mais é que um cartão de correção instantânea que permite ao aluno saber se acertou ou errou. Conforme Oliveira, Araujo e Veit (2016, P. 970 e 971) “A ideia é que como os alunos já pensaram sobre as questões no TPi, as discussões são mais produtivas no TPe e, assim, os próprios colegas colaboram entre si para sanar as dúvidas remanescentes do TPi”. Deixando dessa forma evidente o protagonismo do aluno.

Em caso de não concordarem com a resposta, a equipe pode apresentar recurso ao professor, que pode julgar na horar ou posteriormente. Essa fase termina com o professor fazendo uma exposição oral, sobre os principais pontos do conteúdo e dos pontos que os alunos apresentaram dificuldades. (OLIVEIRA, ARAUJO e VEIT, 2016).

O autor deixa claro que desenvolver habilidades de trabalho colaborativo é uma das finalidades do TBL.

Na fase de aplicação as equipes se envolvem em tarefas gradualmente mais complexas e com tarefas individuais extraclasse. Todas as equipes devem resolver o mesmo problema, expondo, ao final da resolução, suas respostas, discutindo entre elas e o professor. (OLIVEIRA, ARAUJO e VEIT, 2016).

De acordo com Oliveira, Araujo e Veit (2016, p. 971), a avaliação do processo pode ser feita através do cartão de correção instantânea:

A avaliação pode ser feita pelo acerto das respostas. No caso de cinco alternativa, por exemplo, se os alunos acertarem na primeira tentativa, a equipe recebe quatro pontos na questão (pontuação correspondente ao número de retângulos não raspados), se acertarem na segunda tentativa, recebe três pontos e assim sucessivamente. Se todas as alternativas de resposta para uma determinada questão forem raspadas, a equipe não pontua.

Fica evidenciado mais uma vez o protagonismo dos alunos, que se sentem responsáveis pela própria aprendizagem e de toda a equipe.

Outra forma de avaliar é pedir para que os estudantes atribuam pontuações aos colegas de equipe, justificando sua nota. Essa avaliação pode ser feita, por exemplo, através de um questionário.

5. A ESTRUTURA DA MATÉRIA

Neste capítulo apresentamos a evolução histórica da concepção da estrutura da matéria, desde o modelo de Demócrito até o Modelo Padrão. Destacamos também a importância dos aceleradores e detectores para a Física de Partículas, em especial, o LHC, o maior e mais potente acelerador de partículas da atualidade e sua importância para a validação do Modelo Padrão.

O domínio da estrutura da matéria permitiu ao homem revolucionar a História, propiciando grande desenvolvimento do campo científico e inúmeros avanços tecnológicos, mas tudo começou com uma simples, mas complexa, pergunta: Qual é a menor porção de uma matéria? Ela pode ser dividida indefinidamente ou existe um limite para essa divisão?

5.1 O ÁTOMO DE DEMÓCRITO

No século V a.C. os filósofos gregos Demócrito e seu mestre Leucipo acreditavam que toda matéria era composta de partículas muito pequenas, invisíveis e indivisíveis, chamada de átomo.

Para Demócrito, se dividíssemos a matéria em partes cada vez menores chegaríamos em uma partícula indivisível, que em grego significa átomo. Para ele, existiam diversos formatos de átomos que se combinavam entre si através de ganchos e engates, o que explica a diversas substâncias existentes. (PIRES, 2008).

De acordo com Rocha (2002, p. 59):

O atomismo é um sistema de pensamento extremamente avançado para a sua época e possui, ao nosso ver, grandes virtudes, sendo uma delas a de eliminar o pensamento antigo o medo e a superstição provados pela intervenção de deuses vingativos e ciumentos, permitindo ao universo uma evolução livre feita de acordo com a dança combinatória dos átomos. Além disso, o atomismo sustenta até hoje a base do pensamento científico ocidental, qual seja, a de dividir um sistema complexo e mutante em partes indivisíveis e, portanto, sem estrutura interna. É a técnica de “dividir por partes

para entender o todo”. Essa concepção científico-filosófica constitui-se numa das grandes sínteses do pensamento ocidental, que persiste na ciência moderna, e que se harmoniza perfeitamente com a cosmovisão cartesiana-newtoniana na qual um Deus bíblico cria o universo a partir de matéria informe e desorganizada, provendo-o de leis mecânicas que regerão a sua evolução dentro de uma cadeia de causas e efeitos primários e secundários.

A hipótese atômica dos gregos não pode ser considerada um modelo científico pois não faziam experiências, o que importava era o raciocínio filosófico que permitia explicar, por meio da lógica, a composição da matéria.

Durante a idade média o atomismo desenvolvido por Demócrito desapareceu por completo, mas a corrente que afirmavam a existência de uma mínima parte dos corpos não havia morrido. Em comentários gregos a Aristóteles, por exemplo, é citada a ideia dos chamados "os mínimos" (mínimas partes) dos corpos. (MORA, 2004).

Como bem nos assegura Mora (2004), pode-se dizer que a proposta atômica de Demócrito ficou esquecida por muito tempo, quando em 1803, John Dalton, por meio do estudo de reações químicas, redescobriu o átomo.

5.2 A EVOLUÇÃO DOS MODELOS ATÔMICOS

5.2.1 MODELO ATÔMICO DE DALTON

Em 1803 John Dalton (1766-1844) retoma a formulação do átomo. Nesse modelo os átomos são representados por pequenas partículas esféricas, maciças, indivisíveis e tão pequenas que são invisíveis.

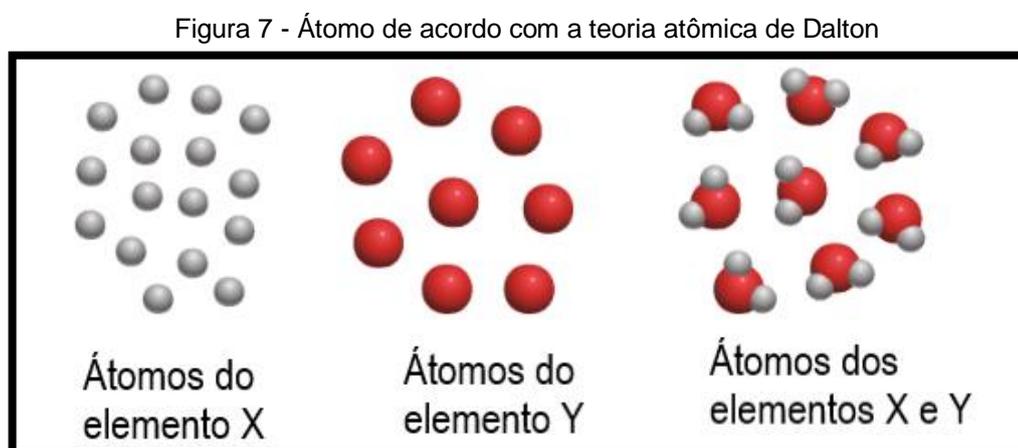
O cientista inglês John Dalton, a partir de bases experimentais, propôs em 1803 a sua teoria atômica. Segundo ele a matéria é constituída de pequenas partículas esféricas maciças e indivisíveis, denominada átomos. (PERUZZO, 2012, p. 2)

A diferença entre o modelo de Dalton e o átomo de Demócrito resume-se ao fato de Dalton ter apresentado seu modelo baseado em experiências, logo seu modelo é

considerado a primeira evidência consistente do modelo da matéria constituído de átomos.

Segundo Peruzzo (2012), Dalton ainda verificou, através de experiências, que os átomos de diferentes elementos deviam ter tamanhos diferentes e, em seu modelo, eram representados por esferas de massas e tamanhos diferentes.

Conforme verificado por Peruzzo (2012), para a teoria atômica de Dalton, mesmos elementos têm átomos iguais, mas os átomos de elementos distintos são diferentes (Figura 7).



Fonte: Chang e Goldsby (2013, p.39)

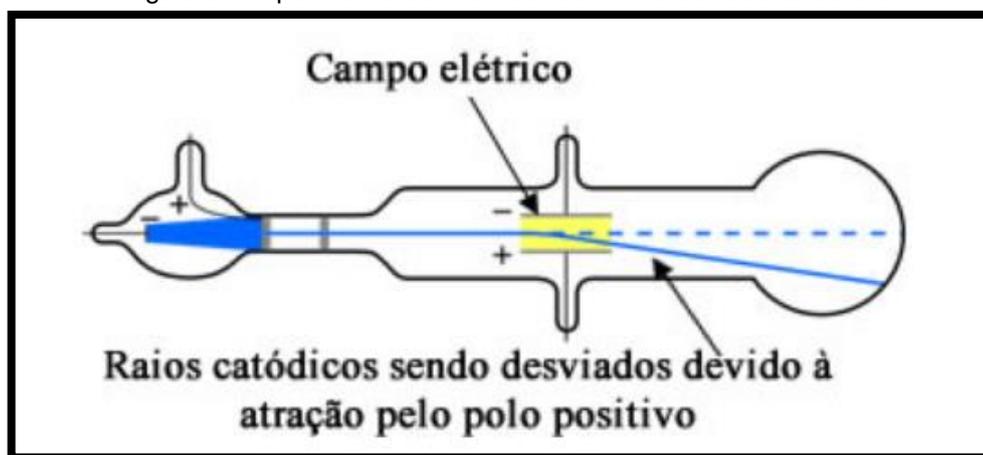
Entretanto, através de pesquisas realizadas, descobriu que esse átomo aparentemente indivisível tinha uma estrutura interna. Apesar desse fato, a teoria atômica de Dalton serviu de base para o conhecimento do átomo e de suas propriedades.

5.2.2 MODELO ATÔMICO DE THOMSON

Concebido no final do século XIX, o modelo de J.J.Thomson (1856-1940) surgiu após a descoberta do elétron. Segundo Abdala (2016, p. 40), " O físico inglês Joseph John Thomson, em uma experiência com raios catódicos, flagrou a divisibilidade do átomo! Descobriu o elétron - a primeira partícula elementar a ter suas características identificadas."

Ao investigar os raios catódicos, raios emitidos quando é aplicado uma grande diferença de potencial entre dois eletrodos, em um tubo de vidro sob vácuo, conhecido como tubos de Crookes, Thomson percebeu o desvio do feixe causado pelo campo elétrico e campo magnético aplicado aos eletrodos e concluiu que os raios emitidos são partículas negativas provenientes do átomo do catodo (Figura 8), ou seja, do eletrodo de carga negativa, ele ainda percebeu que essas partículas, que posteriormente foram chamadas de elétrons, eram sempre as mesmas, independente do metal usado no catodo. (ATKINS, JONES e LAVERMAN, 2018).

Figura 8 - Experimento de Thomson com tubo de raios catódicos



Fonte: Fogaça, Jennifer Rocha Vargas
Disponível em <https://www.manualdaquimica.com/quimica-geral/modelo-atomico-thomson.htm>

Pode-se dizer, portanto, que toda matéria é constituída de elétrons (Figura 9). Neste contexto, para Atkins, Jones e Laverman (2018) fica claro que o átomo é divisível.

Para Thomson o átomo continha elétrons incrustado em uma superfície esférica positiva e para manter o átomo estável os elétrons estariam em repouso. Esse modelo ficou conhecido com pudim de passas. (ROZENBERG, 2002).

Figura 9 - O modelo de átomo de Thomson



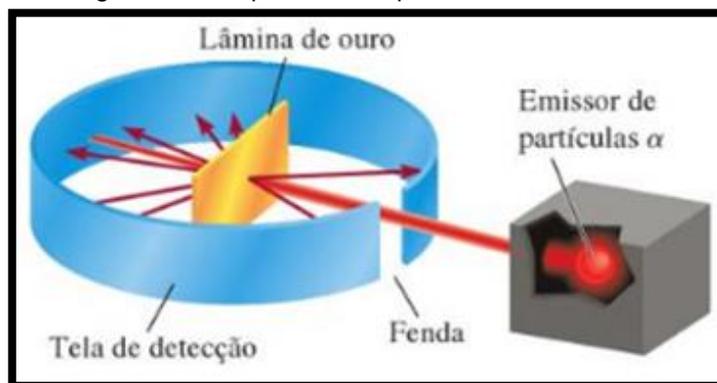
Fonte: (CHANG e GOLDSBY, 2013, p. 43)

Esse modelo, porém, foi abandonado por não conseguir explicar fenômenos ligados ao átomo, tais como, a emissão de luz pelos corpos incandescentes e o espalhamento de partículas alfa pelas lâminas metálicas.

5.2.3 MODELO ATÔMICO DE RUTHERFORD

Em 1911, o ex-aluno de Thomson, Ernest Rutherford (1871-1937), juntamente com seus alunos Hans Geiger (1882-1945) e Ernest Marsden (1889-1970), investigavam o bombardeamento de uma finíssima folha de ouro com um feixe de partículas alfa (partículas positivas) emitidas pelo elemento radioativo polônio (Figura 10).

Figura 10 - Esquema da experiência de Rutherford



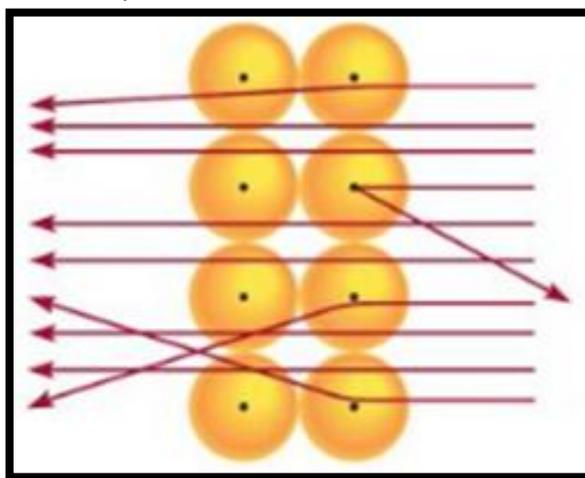
Fonte: Fonte: (CHANG e GOLDSBY, 2013, p. 44)

De acordo com Peruzzo (2012, p. 4-5):

Rutherford e seus alunos H. Geiger e Marsden realizaram um importante experimento em 1911, o qual consistia em bombardear uma finíssima lâmina de ouro (Au) com partículas alfa provenientes do elemento polônio (Po). O material radioativo Po foi colocado dentro de um invólucro de chumbo (Pb) que era dotado de um orifício para focalizar o feixe de radiação. Em volta da placa de Au foi colocada uma tela de sulfeto de zinco que se tornava fluorescente com a incidência de partículas alfa.

No experimento, Rutherford observou que a maioria das partículas atravessou a lâmina de ouro, mas algumas partículas sofriam desvios acentuados de direção e outras voltavam em direção ao sentido que incidiram (Figura 11). Essas observações não eram explicadas pelo modelo atômico vigente na época, ou seja, o modelo atômico de Thomson, pois esperava-se que as partículas alfa atravessassem a folha de ouro quase sem desvio.

Figura 11 - Esquema das partículas α atravessando e sendo defletidas pelo núcleo



Fonte: Fonte: Chang e Goldsby (2013, p.44)

Surpreso com as observações, Rutherford declarou:

Foi tão inacreditável como se você atirasse um obus (peça de artilharia semelhante a um morteiro comprido) de 15 toneladas sobre um pedaço de seda e ele atingisse e voltasse. (CHESMAN, ANDRÉ e MACÊDO AUGUSTO, 2004, p. 124)

Então concluiu:

Refletindo, percebi que esse retroespalhamento deveria ser produzido por uma única colisão, e fazendo as contas vi que seria impossível obter qualquer coisa dessa ordem de grandeza, exceto em um sistema em que a maior parte da massa do átomo estivesse concentrada em um núcleo diminuto. Foi, então, que tive a ideia de um átomo com a carga (positiva) e a massa concentrada em uma minúscula região central. (CHESMAN, ANDRÉ e MACÊDO AUGUSTO, 2004, p. 125)

A passagem sem desvios das partículas alfa pela lâmina de ouro fez Rutherford concluir que nos átomos prevalecia um espaço quase totalmente vazio e que deveria existir uma carga elétrica positiva no átomo para criar a enorme força de repulsão necessária para mudar a direção da partícula alfa e que essa carga deve estar concentrada em um volume muito pequeno, ou seja, o núcleo, então quando a partícula alfa se aproxima do núcleo ela é repelida, pois ambas têm carga positiva (PERUZZO, 2012).

De acordo com Peruzzo (2012, p. 6):

Rutherford afirmou ainda que os elétrons encontram-se em movimento circular em torno do núcleo, numa região denominada eletrosfera, com uma velocidade tal que a força elétrica de atração exercida pelo núcleo é equilibrada pela força centrípeta. Através de muitos cálculos Rutherford chegou à conclusão de que o tamanho do átomo seria de 10.000 a 100.000 vezes maior que o tamanho do núcleo. O diâmetro do átomo, em termos aproximados, varia de 1×10^{-8} cm a 3×10^{-8} cm e o diâmetro do núcleo, de cerca de 1×10^{-12} cm à 3×10^{-12} cm.

Sendo assim, podemos concluir que a lâmina de ouro é constituída por átomos formados por um núcleo muito pequeno e denso carregado positivamente no seu centro, rodeado de uma região comparativamente grande onde estão os elétrons, a eletrosfera, esses elétrons precisam estar orbitando ao redor do núcleo positivo com determinada velocidade, pois de outro maneira seriam atraídos eletricamente pelo núcleo.

Assim, Rutherford propôs outro modelo atômico, que veio a substituir o modelo do seu ex-professor, segundo o qual o átomo possui as seguintes características:

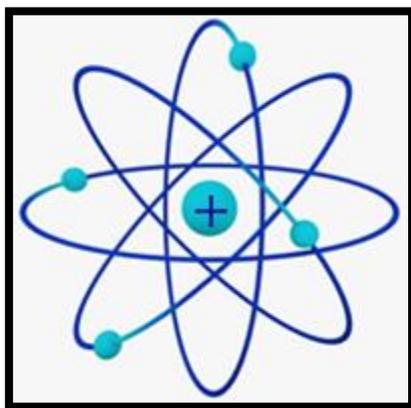
I) O átomo não é maciço, mas formado por uma região central, denominada de núcleo, que é muito pequeno em relação ao diâmetro do átomo, ou seja, o átomo é praticamente um vazio.

II) O núcleo concentra toda a massa do átomo e é dotado de carga elétrica positiva.

III) Na eletrosfera, região ao redor do núcleo, giram em órbitas circulares os elétrons.

O modelo de Rutherford ficou conhecido como modelo planetário, pois era comparado ao sistema solar, onde os planetas são atraídos pela força gravitacional do sol e não seguem em direção a ele (Figura 12).

Figura 12 - Modelo atômico de Rutherford



Fonte:<http://modelosatomicos101.blogspot.com/2018/04/modeloatomico-de-rutherford-este-modelo.html>

Apesar do modelo atômico de Rutherford prever a existência de carga positiva no núcleo do átomo, essa partícula só foi descoberta em 1919 pelo próprio Rutherford.

Finalmente, em junho de 1919, Ernest Rutherford publica seus resultados sobre a primeira desintegração artificial, num artigo sobre as colisões da partícula α contra átomos leves. No trabalho, mostra que, quando as partículas α incidem sobre o nitrogênio, produzem núcleos de hidrogênio (prótons) transmutando o nitrogênio em outro elemento, o ${}_8\text{O}^{17}$, um isótopo do oxigênio – descoberta de forma inequívoca o próton. (ABDALLA, 2016, p. 48).

O próton é formado por outras partículas e sua massa de $1,673 \times 10^{-27}$ kg é cerca de duas vezes maior do que a do elétron.

Já para o parceiro do próton no núcleo, Rutherford não tem o mesmo êxito.

Para manter a estabilidade do núcleo, Rutherford e outros físicos, sugeriram, em 1920, a existência de uma partícula neutra formada por um próton e um elétron, pois dessa forma, o elétron constituinte de tal partícula poderia escapar do núcleo dando origem aos raios β . Entretanto, essa ideia não triunfou, pois a Mecânica Quântica providenciou contraprovas que culminaram no abandono do modelo. Apesar disso, a ideia de partículas neutras no núcleo não foi abandonada, ao contrário, muitas observações corroboraram para sua permanência, dentre elas, a descoberta dos isótopos, que se diferem uns dos outros pela diferença de seus núcleos, e essa diferença poderia ser um indicativo de partículas neutras, que receberam o nome de nêutrons. (ABDALA, 2016).

Alguns pesquisadores chegaram perto de evidenciar a existência dos Nêutrons, entre eles, Walter Bothe, Herbert Becker e o casal Jean Frédéric Joliot e Irène Curie, mas coube a James Chadwick, em 1932, a descoberta.

Assim como Bothe e Becker e os Joliot-Curie, Chadwick usou uma amostra de polônio como fonte de partícula (α). Essa radiação α era tão forte que, ao colidir com hidrogênio, hélio, lítio, berílio, carbono, ar e argônio, emitia uma radiação com um poder de penetração realmente muito grande. Essa radiação foi interpretada pelo casal como espalhamento de raios γ pelos prótons. Além disso, era impossível explicar, a menos que se abandonasse as leis de conservação de momento e energia. Chadwick preferiu a solução que previa a existência do parceiro do próton – o nêutron – a abandonar as leis de conservação fundamentais da Física. (ABDALLA, 2016, p.69).

Em 1935 James Chadwick recebe o prêmio Nobel de Física pela descoberta do nêutron.

Apesar do grande avanço, o modelo planetário não conseguia explicar a hipótese dos elétrons orbitarem ao redor no núcleo, pois segundo a teoria eletromagnética de Maxwell, cargas elétricas aceleradas emitem radiação e ao emitir radiação perdem energia mecânica o que resultaria em perda de velocidade, e conseqüentemente, o elétron descreveria uma órbita espiralada até chocar-se com o núcleo e a matéria ser destruída, porém esse fato não é observado, pois a estrutura atômica é estável. Além disso, os resultados de pesquisas realizadas na época, envolvendo o espectro eletromagnético, não eram condizentes com esse modelo atômico.

Todos os modelos de átomos que vimos até agora fazem parte da física clássica, pois seus movimentos e suas estruturas eram explicados pelas leis de Newton, formuladas no século XIX. No Quadro 6 apresentamos um resumo desses modelos.

Quadro 6 - Modelos de átomos da Física Clássica

DATA	CIENTISTA	MODELO	ESTRUTURAS
1808	Dalton	Esferas maciças e indivisíveis	Redescobre o átomo como partícula, a partir de experiências químicas
1897	Thomson	“Pudim de passas”: uma massa positiva com elétrons incrustados.	Descobre o elétron, ao estudar a corrente elétrica em gases.
1911	Rutherford	“Modelo planetário”: elétrons girando em torno do núcleo, como a Terra gira em torno do sol.	Descobre o núcleo atômico e verifica que o átomo é “mais vazio do que cheio”.

Fonte: Produzido pela autora.

5.2.4 MODELO ATÔMICO DE BOHR

As incoerências apresentadas pelo modelo de Rutherford, em especial não explicar o fato de uma carga elétrica emitir energia na forma de radiação eletromagnética quando se movimenta, não podiam ser solucionadas com modelos e teorias existentes na época.

Fazendo assim, a física clássica entrar em crise, pois se por um lado os resultados experimentais de Rutherford indicavam a existência de um núcleo com elétrons orbitando ao seu redor, por outro lado, a teoria eletromagnética de Maxwell afirmava que elétrons em movimento perdem energia sob forma de radiação o que faria os

elétrons em torno do núcleo percorrerem órbitas cada vez menores até chocarem com o núcleo do átomo, impossibilitando, assim, a existência do átomo.

Em 1860, James Clerk Maxwell desenvolveu a teoria que todas as formas de radiação são propagadas no espaço vibrando um campo elétrico e outro magnético, perpendiculares entre si. Com a irradiação contínua de energia, os elétrons teriam suas órbitas diminuídas progressivamente, tendo de girar mais rápido para compensar a atração eletrostática do núcleo continuamente aumentada com a diminuição da distância entre as cargas. (BIEHL, 2003, p. 111).

De acordo ainda com Biehl (2003, p. 111):

Usando as equações de Maxweel, pode ser demonstrado que o átomo modelo de Rutherford duraria apenas 10^{-11} segundos.

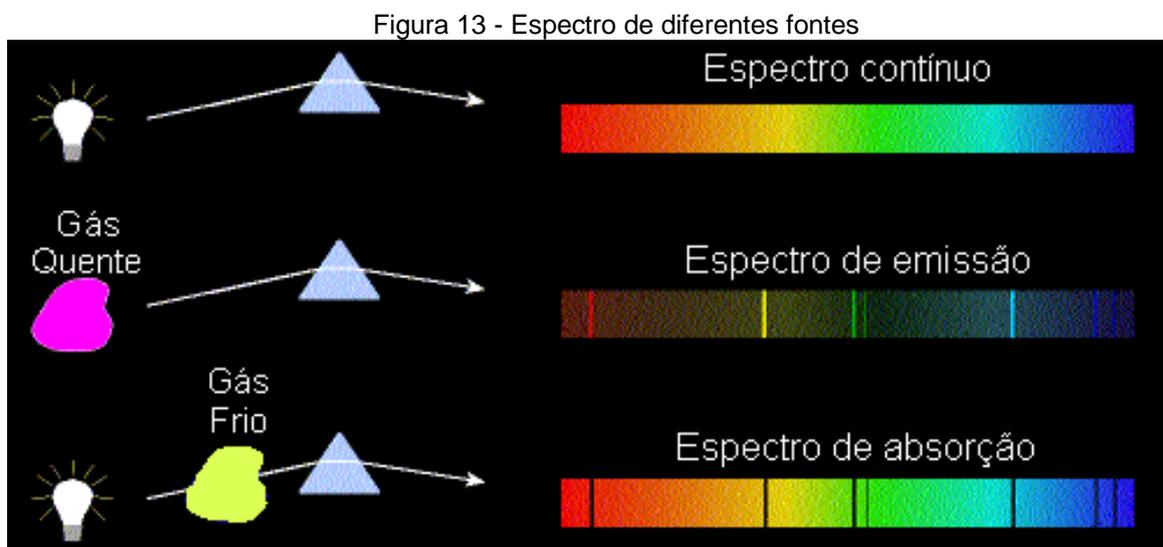
Essa contradição só foi resolvida, quando em 1913 Niels Bohr (1885-1962), propôs uma solução para conciliar as leis da física clássica com os resultados experimentais de Rutherford, ficando o modelo conhecido como Rutherford-Bohr ou simplesmente modelo de Bohr. Esse novo modelo atômico foi fundamentado no conhecimento da estrutura do modelo planetário de Rutherford e incluía algumas propostas em voga na época.

Sabia-se na época que certos materiais, quando aquecidos a certas temperaturas, brilham emitindo luz. Essa luz quando atravessa um prisma é separado em suas cores fundamentais, sendo que cada elemento químico apresenta um padrão próprio de emissão de luz, conhecido como seu espectro. (ABDALLA, 2006).

A análise das cores de qualquer tipo de luz emitida pelos corpos se chama espectroscopia e o espectro da luz decomposta é registrado em filmes fotográficos.

Quando é feita a espectroscopia da luz branca, obtém-se um espectro contínuo, mas ao analisar o espectro de qualquer substância aquecida, suficientemente, até atingir o estado gasoso, o espectro apresenta algumas cores concentradas, denominadas linhas espectrais ou raias, revelando que apenas algumas frequências são emitidas pela luz capturada pelo espectrômetro, isso porque cada substância possui um espectro de emissão diferente. Além do espectro de emissão, existe o espectro de

absorção. A análise dos espectros permite inferir quais substâncias ou elementos químicos estão sendo analisados (Figura 13).

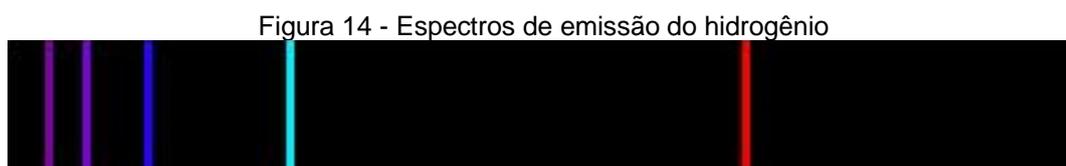


Fonte: http://www.if.ufrgs.br/fis02001/aulas/aula_espec.htm

De acordo com Rocha(2002, p. 319):

Um outro tipo de espectro é denominado "espectro de absorção" ou "espectro de linhas escuras", e o mesmo aparece quando a luz branca é forçada a atravessar os vapores de uma substância a uma temperatura relativamente baixa. Nesse caso, os vapores frios irão absorver as mesmas frequências de luz que irradiariam (emitiriam) se estivesse muito quentes. Tais frequências (cores) absorvidas são, então, extraídas da luz branca que atravessa os vapores. O espectro resultante surge com linhas escuras, nos mesmos lugares onde surgiriam num espectro de linhas brilhantes da mesma substância.

Vale ressaltar que o modelo atômico de Rutherford não era consistente com os espectros observados, foi quando então Bohr propôs um modelo fundamentado nos espectros de emissão do hidrogênio (Figura 14).

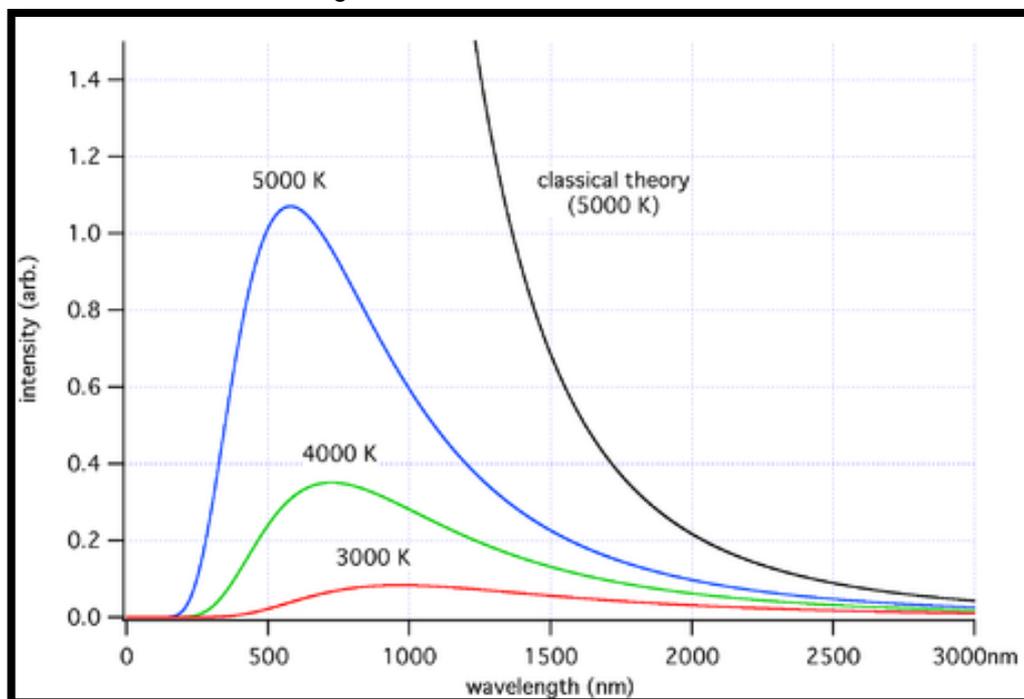


Fonte: <http://www.if.ufrgs.br/cref/camiladebom/Aulas/Pages/3.html>

O modelo de Bohr também foi alicerçado na quantização de energia proposta por Max Planck (1858-1947), proposta esta que solucionou o problema do corpo negro (corpo ideal que absorve toda radiação incidente sobre ele) e na teoria dos fótons de Einstein, que explicou o efeito fotoelétrico.

O problema do corpo negro era que os dados experimentais não condiziam com as previsões da física clássica, que dizia que um corpo, quando aquecido, emite radiação eletromagnética em um espectro contínuo característico, que depende basicamente da temperatura. Observando o gráfico (Figura 15) para pequenas frequências (grandes comprimentos de onda) o resultado da curva experimental corresponde com a previsão teórica (clássica), mas para pequenos comprimentos de onda, enquanto a teoria clássica previa que a densidade de energia tende ao infinito, a experiência mostrava a densidade de energia tendendo a zero. Essa discrepância entre dados teóricos e experimentais ficou conhecida como catástrofe do ultravioleta, por ser mais notável na região do comprimento de onda do ultravioleta.

Figura 15 - Catástrofe do ultravioleta



Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Mec%C3%A2nica_cl%C3%A1ssica.

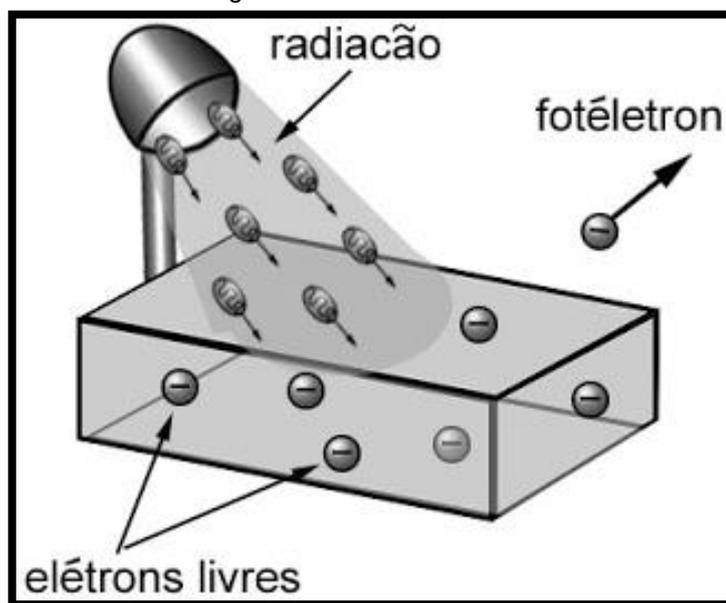
A solução para esse problema foi realizada por Planck em 1900 ao introduzir a teoria dos quanta.

A teoria de uma emissão contínua não concordava com os experimentos sobre a relação entre a intensidade e a frequência de energia. Planck postulou a emissão ou absorção de energia em forma descontínua, segundo certos quanta ou "quantidades". A fórmula $E = hf$, em que 'E' se lê 'energia', 'f' se lê 'frequência de vibração' e 'h' se lê 'constante de Planck' ou 'quantum', significa que a energia de um quantum é diretamente proporcional à frequência da onda associada. (MORA, 2004, p. 2426).

De acordo com Planck, a matéria só pode absorver ou emitir energia em quantidades discretas e bem definidas, chamadas de "pacotes" ou "quantum" de energia.

Em 1905, Albert Einstein (1879-1955), valeu-se da hipótese de Planck para explicar o efeito fotoelétrico (Figura 16), fenômeno no qual determinadas substâncias liberam elétrons quando atingidas por radiação eletromagnética. Assumindo o pressuposto da quantização, Einstein sugere que a luz é formada por pequenos "pacotes de energia", chamados de fóton, proporcionais à sua frequência.

Figura 16 - Efeito fotoelétrico



Fonte: <http://modeloatomico3.blogspot.com/2011/04/efeito-fotoeletrico.html>

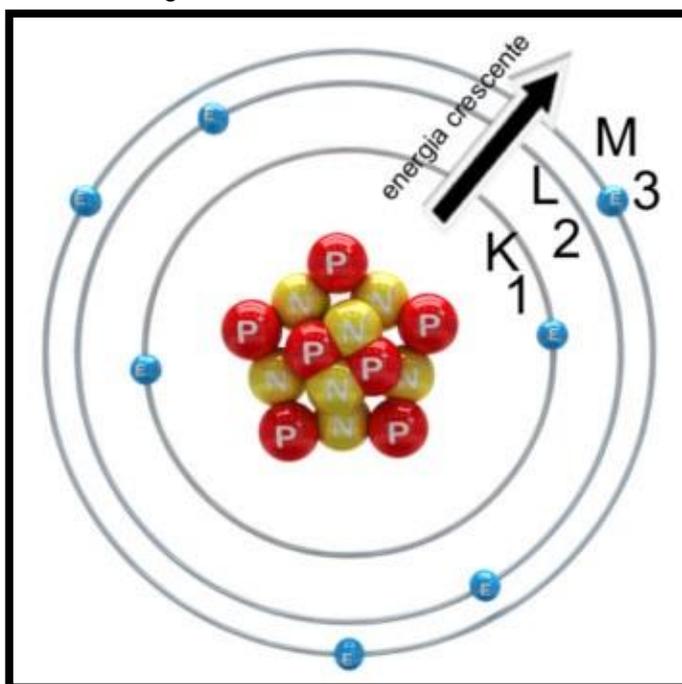
Quando a luz incide sobre uma placa metálica, a luz transmite energia necessária para liberar elétrons, tornando a placa carregada positivamente. O elétron para ser libertado da placa precisa de uma certa quantidade de energia fornecida pelo fóton, ou seja, deve existir uma frequência mínima da radiação incidente para que os elétrons sejam emitidos.

O efeito fotoelétrico não podia ser explicado pela teoria ondulatória da luz. No entanto, Einstein fez uma suposição extraordinária. Sugeriu que um feixe de luz é, na realidade, um feixe de partículas. Essas partículas de luz são agora conhecidas como fótons. Usando a teoria quântica da radiação proposta por Planck como ponto de partida, Einstein deduziu que cada fóton deve possuir uma energia E , dada pela equação $E = hf$, em que f é a frequência da luz. (CHANG, 2010, p. 206).

A partir de então, a radiação eletromagnética passou a ser compreendida através do seu caráter ondulatório e seu caráter corpuscular.

Bohr, aplicando todo esse conhecimento e certo de que não havia sentido em tratar classicamente a energia dos elétrons, estabeleceu um novo modelo atômico para o átomo (Figura 17).

Figura 17 - Modelo atômico de Bohr



Fonte: <https://www.manualdaquimica.com/quimica-geral/modelo-atomico-rutherford-bohr.htm>

De acordo com Abdalla(2006, p. 54):

Convicto de que a Mecânica Clássica não seria mesmo capaz de descrever o átomo de hidrogênio, Bohr imaginou uma variação do modelo de Rutherford formada por um núcleo carregado positivamente no centro e um elétron, carregado negativamente, orbitando em torno da carga positiva. Bohr imaginou também que a soma das duas cargas tinha um valor total igual a zero, sendo o átomo eletricamente neutro. Mas onde posicionar o elétron? o modelo postulava uma série de órbitas possíveis para acomodá-lo, chamadas de "órbitas estacionárias", arranjadas em círculos concêntricos. O elétron só poderia mover-se em uma das órbitas disponíveis em torno do núcleo.

Depois de formular seu modelo, Bohr postulou:

1) Postulado dos estados estacionários

Bohr admitiu que o átomo de hidrogênio podia existir, sem irradiar, em qualquer estado de um conjunto discreto de estados estacionários, com energias bem determinadas. (HALLIDAY, RESNICK e WALKER, 1995, p. 162).

2) Postulado da frequência

Bohr admitiu que o átomo de hidrogênio podia absorver ou emitir energia exclusivamente quando o átomo passava de um estado estacionário para outro. A energia do fóton absorvido, ou emitido, seria igual à diferença das energias dos dois estados. (HALLIDAY, RESNICK e WALKER, 1995, p. 162).

Com seus postulados Bohr proporcionou uma grande evolução no entendimento do átomo, porém sua teoria só atingiu êxito para o átomo de hidrogênio, não apresentando resultados tão precisos para os outros átomos. O seu modelo mistura conceitos da Física Clássica com Física Quântica, contudo apresenta contradições com esta.

5.2.5 – MODELO DA MECÂNICA QUÂNTICA

As contradições do Modelo de Bohr com a Física Quântica só começaram a ser resolvidas em 1925, com as proposições de Erwin Schrödinger (1887-1961), que introduziu equações baseadas nas equações de ondas, mostrando que os elétrons podem se comportar como ondas, e Werner Heisenberg (1901-1976) com a formulação do princípio de incerteza.

Em 1927, Heisenberg formula o princípio de incerteza, segundo o qual, não se pode determinar simultaneamente a posição e a velocidade de uma partícula, ou seja, se medirmos a posição de uma partícula, perdemos a informação sobre a sua velocidade, e se determinamos a velocidade dessa partícula, tornamos indeterminada sua posição. Logo, essas medidas não podem ser feitas concomitantemente, pois a natureza não nos permite, sendo um limite fundamental do conceito de partícula.

Segundo Halliday, Resnick e Walker (1995, p. 185): o princípio da incerteza de Heisenberg proporciona a medida quantitativa desta limitação:

Suponhamos que tentemos medir, simultaneamente, a posição e o momento de um elétron que se move sobre o eixo x. Seja Δx a incerteza na medida da posição e Δp_x a incerteza na medida do seu momento. O princípio de incerteza de Heisenberg afirma que $\Delta x \cdot \Delta p_x \approx \hbar$.

Com a verificação do princípio de incerteza em diversos experimentos, ficou demonstrada a impossibilidade de se determinar um caminho a ser percorrido pelo elétron no interior de um átomo, fato em desacordo com o modelo de Bohr, que previa órbita circulares para o movimento dos elétrons.

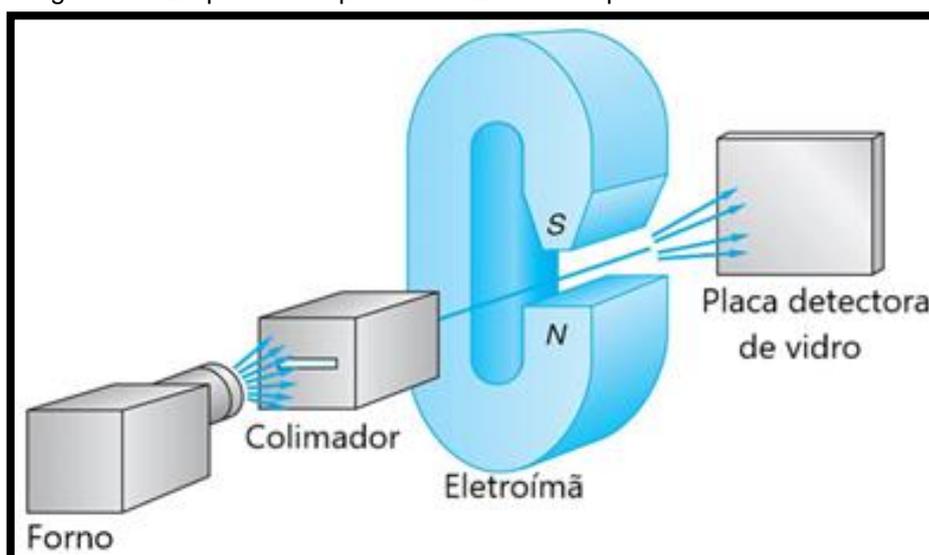
Além de Schrödinger e Heisenberg, outros físicos contribuíram para a criação de um novo modelo para o átomo, o chamado modelo da mecânica quântica, entre eles, Planck, Einstein, De Broglie e Dirac.

Nesse novo modelo, a ideia de órbita é substituída pelo conceito de orbital, que é uma região no espaço, ao redor do núcleo, em que é mais provável encontrar o elétron,

contradizendo o modelo de Bohr, onde cada nível de energia corresponde a uma órbita onde o elétron deveria estar. No modelo da Mecânica Quântica, a energia é associada a cada orbital atômico, sendo os orbitais definidos por quatro números quânticos, que correspondem à localização mais provável de um determinado elétron. Sendo esses números quânticos: número quântico principal (n), número quântico secundário ou azimutal (l), número quântico magnético (m ou m_l) e número quântico spin (S ou m_s).

Em 1922, Otto Stern e Walter Gerlach, a partir de experiências com campos magnéticos não-uniforme, forneceram mais evidências da natureza quântica do átomo, verificando a quantização espacial. A Figura (18) mostra o esquema do aparelho utilizado por Stern e Gerlach.

Figura 18 - Esquema do aparelho utilizado na experiência de Stern- Gerlach



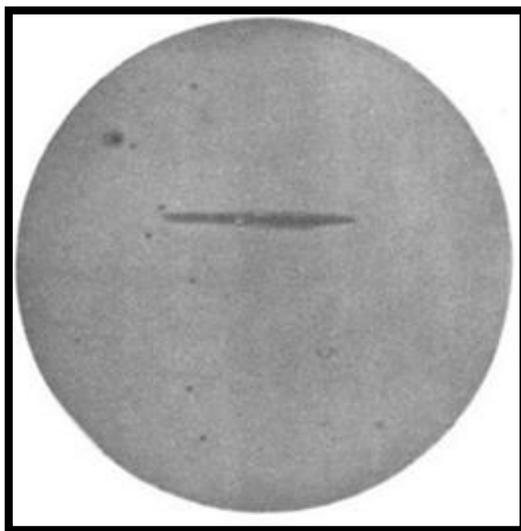
Fonte: <https://www.filofima.com.br/fisica/quantica/5c-hidrogenoides.html>

Conforme Halliday, Resnick e Walker (1995, p. 206), a experiência de Stern-Gerlach pode ser descrita assim:

Átomos de prata provenientes da vaporização da prata num “forno” eletricamente aquecido se espalham por efeito de vácuo através de um pequeno orifício na parede do forno. A seguir, esses átomos (que são elementos neutros, mas têm momento magnético) passam por uma fenda colimadora formando um feixe estreito. Esse feixe atravessa a região entre os polos de um eletroímã e, finalmente, deposita-se numa placa detectora de vidro.

A experiência de Stern-Gerlach mostra que quando o eletroímã do aparelho está desligado, os átomos do feixe não são desviados, formando uma linha sobre a placa detectora (Figura 19).

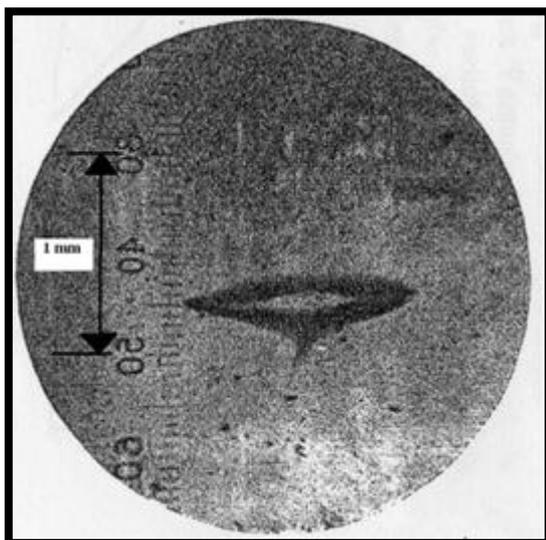
Figura 19 - Resultado da experiência de Stern-Gerlach sem campo magnético



Fonte: https://www.researchgate.net/figure/Pattern-created-by-a-ray-of-silver-atoms-in-the-original-Stern-Gerlach-experiment-left_fig1_325217695

Entretanto, quando o eletroímã está ligado, o feixe se divide em dois subfeixes, ou seja, todas as partículas foram desviadas para cima ou para baixo, com a mesma intensidade, desenhando uma figura simétrica, sem nenhum átomo atingir a zona central, sugerindo, então, que os átomos de prata possuíam apenas duas orientações em seu momento magnético, e, portanto, de seu momento angular, verificando, assim, a quantização espacial (Figura 20), um resultado inexplicável para a física da época.

Figura 20 - Resultado da experiência de Stern-Gerlach com campo magnético



Fonte: http://www.fisicacuantica.es/experimento_stern-gerlach/

O resultado observado na experiência de Stern-Gerlach ficou sem explicação até 1925, quando a introdução do spin permitiu sua interpretação.

Segundo Halliday, Resnick e Walker (1995, p. 207):

Os momentos angulares de spin e os momentos angulares orbitais dos elétrons de um átomo de prata cancelam-se uns aos outros, com exceção do momento angular de spin de seu único elétron de valência. Este spin só pode ter duas orientações, descritas por $m_s = +1/2$ e $m_s = -1/2$: é por isso que são dois subfeixes, e não um outro número.

Portanto, na experiência Stern-Gerlach, as partículas com um componente de spin, com valor $+1/2$, são desviadas para cima, e partículas com componente de spin, com valor $-1/2$, são desviadas para baixo.

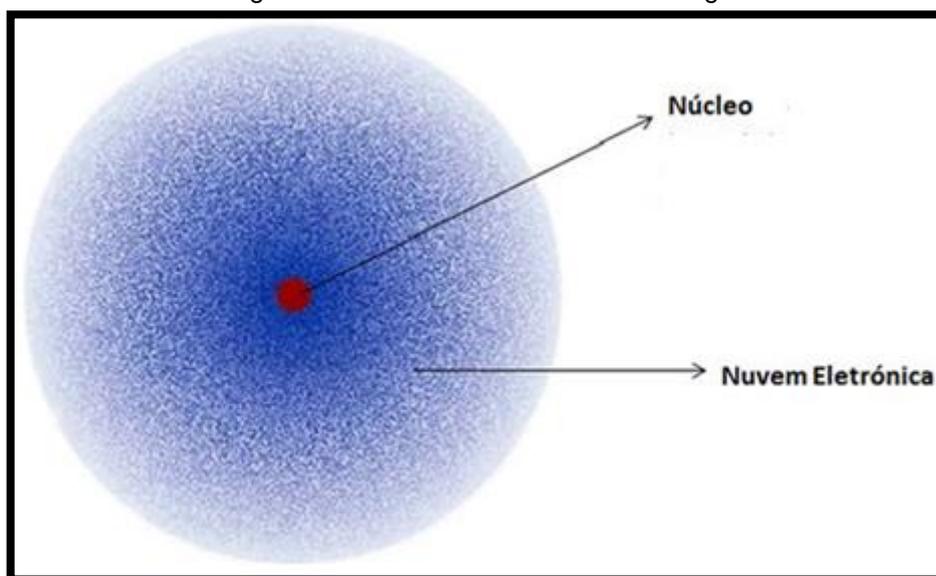
A partir de então, a ideia clássica do átomo teve de ser abandonada. As partículas, que até então, eram representadas sob a forma de objetos, geralmente pequenas esferas, passaram a ser descritas por equações matemáticas (sem forma e sem tamanho).

Entre os modelos atômicos da mecânica quântica, podemos citar os de Broglie e o de Schrödinger.

De Broglie insere em seu modelo atômico a dualidade do elétron (partícula-onda), postulando que “a todo elétron em movimento está associada uma onda característica”.

Por fim, Schrödinger, usando o princípio de incerteza de Heisenberg, abandona a ideia de órbitas ao redor do núcleo atômico, propondo o modelo de orbitais atômicos, que como já descrevemos, são regiões no espaço que apresentam a máxima probabilidade de se encontrar um elétron, essa região se assemelha a uma nuvem eletrônica (Figura 21). Cabe ressaltar que o modelo atômico atual é o modelo de Schrödinger

Figura 21 - Modelo atômico de Schrödinger



Fonte: <http://www.explicatorium.com/cfq-9/modelo-nuvem-eletronica.html>

5.3 O MODELO PADRÃO DAS PARTÍCULAS ELEMENTARES

No século XX descobriram-se várias novas partículas e fez surgir um novo ramo na Física, denominado Física de Partículas ou Física de Altas Energias, que estuda o menores constituintes da matéria e radiação, bem como as interações entre elas.

Cabe ressaltarmos que uma das referências na Física de Partículas no Brasil é o professor de Física da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Alberto Santoro.

Santoro fez parte do experimento que descobriu o quark top, partícula elementar encontrada em 1995 no experimento (D0) DZero do Fermilab.

Como o aumento do número de partículas descobertas, houve a necessidade de organizá-las através de uma teoria, surgiu assim o Modelo Padrão das Partículas Elementares, ou simplesmente Modelo Padrão, uma teoria sobre as partículas elementares, as forças que atuam entre elas e as leis que governam essas forças. Esse modelo tem sido um sucesso, pois os dados obtidos em experimentos, principalmente nos aceleradores de partículas, podem ser explicados por tal teoria.

O modelo que tenta descrever a natureza da matéria, ou de que é feito o universo e como se aglutinam suas partes, em termos de quatro forças, quatro partículas (virtuais) mediadoras e 12 partículas fundamentais é o chamado modelo padrão. (MOREIRA, 2011, p. 84).

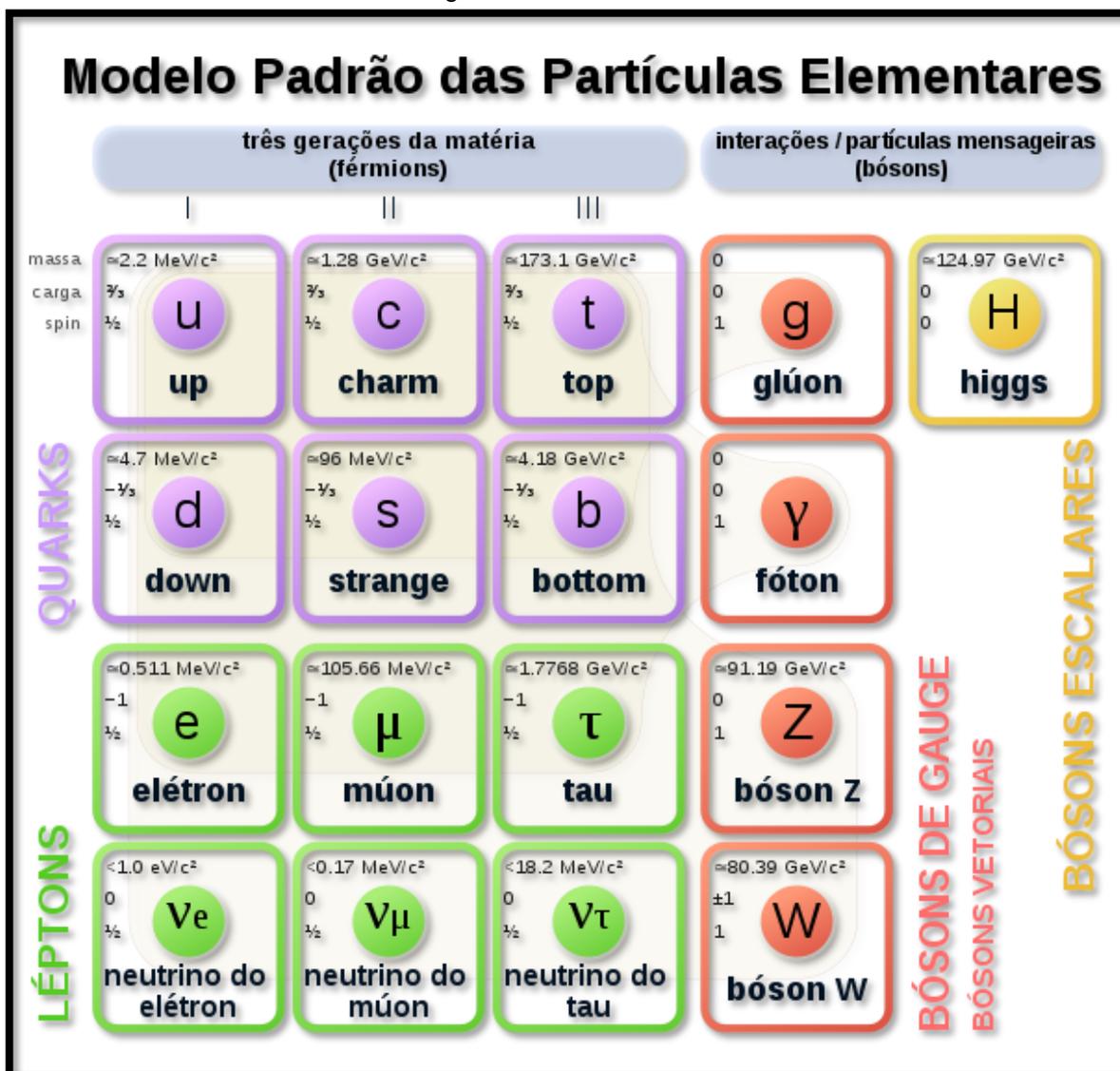
Surgiram tantas partículas subatômicas que foi necessário organizá-las em famílias. Partículas de spin semi-inteiros são chamados de férmions, já as que têm spin inteiros são chamados de bósons. Os férmions com carga elétrica fracionária são chamados de quarks e os outros chamados de léptons.

Existem seis tipos de léptons, e seis antiléptons, somando doze partículas elementares. Existem seis quarks, cada um aparecendo em três cores, totalizando 18 quarks, sendo que cada um tem seu antiquark, adicionando mais 36 partículas elementares. Existem, ainda, 13 tipos de bóson mediadores, sendo 8 glúons, as

partículas W^+ , W^- , Z^0 , fóton e o bóson de Higgs. Sendo, portanto, um total de sessenta e uma partículas elementares.

De acordo com o Modelo Padrão (Figura 22), os quarks, os léptons e os bóson mediadores formam o quadro das partículas elementares que compões toda a matéria.

Figura 22 - Modelo Padrão



Fonte: https://www.wikiwand.com/pt/B%C3%B3son_de_calibre

5.4 AS PARTÍCULAS ELEMENTARES

Partículas elementares são partículas sem estrutura interna, ou seja, partículas que não podem ser quebradas. Como bem nos assegura Marques (2010), partículas elementares são, de forma metafórica, tijolinhos que formam todas as coisas que existem ou já existiram.

Apesar das definições acima serem bem simples, na perspectiva da Mecânica Quântica, como afirma Abdalla (2016, p. 30), a explicação é mais complicada:

Do ponto de vista teórico, o conceito que define uma partícula elementar é antes de tudo, de natureza abstrata e matemática. Todas as partículas elementares são descritas por objetos matemáticos denominados funções de onda, a partir das quais são extraídas informações sobre a dinâmica de tais partículas. A função de onda que descreve uma partícula elementar não pode ser redutível à função de onda de outras partículas.

Para Marques (2005, p. 1), o estudo das partículas elementares facilita entendermos a constituição da matéria, suas propriedades e interações:

A Física de Partículas tem como seu objetivo o estudo dos constituintes fundamentais da matéria, suas propriedades e suas interações, sendo que a Física de Partículas moderna é o mais ambicioso e organizado esforço humano para compreender a matéria no seu nível mais básico. Para tanto, utilizamos grandes aceleradores de partículas, os quais são os maiores microscópios já construídos, chegando a explorar distância da ordem de 10^{-18} m, ou seja, 10^{-8} do tamanho do átomo!

No final do séc. XIX, devido aos limites experimentais, acreditava-se que o átomo fosse a partícula elementar que formava todas as coisas. Entretanto, no final do mesmo século o átomo foi quebrado por J. J. Thomson e a primeira partícula elementar, o elétron, foi então descoberta. No início do séc. XX ficou claro que os

átomos eram formados por uma eletrosfera onde orbitavam os elétrons, e um núcleo formado por prótons e nêutrons, que na época também eram consideradas partículas elementares.

As partículas elementares são bem diferentes dos objetos que observamos no nosso dia a dia, o que dificulta sua compreensão, sendo que poucas delas são eternas, como por exemplo o decaimento de uma partícula. A maioria delas jamais serão encontradas livres, ou seja, elas só são encontradas em associação com outras (confinadas), e algumas passam por processo de mutação de um tipo para outro, como acontece com os neutrinos.

Para o processo de entendimento das partículas elementares é importante considerar alguns atributos que lhes são peculiares, entre os quais destacamos a massa, a carga e o spin.

A massa das partículas elementares deve ser examinada através do entendimento da Teoria da relatividade Restrita. Segundo Albert Einstein, através da relação $E = mc^2$, onde E é energia, m a massa e c a velocidade da luz, logo podemos associar a massa de um corpo com uma determinada energia. (MARQUES, 2010).

Outro atributo bem típico das partículas elementares é a carga elétrica, a qual se manifesta em quantidades discretas.

A carga elétrica de uma partícula lhe permite atrair ou repelir outras partículas. Assim como a massa, algumas partículas elementares não possuem esse atributo, como por exemplo, o neutrino.

O spin também é um atributo das partículas elementares, porém seu entendimento é difícil, pois é uma grandeza física sem um correspondente clássico.

De acordo com Abdalla (2016, p. 34):

Spin é um dos números quânticos característicos das partículas elementares. É a propriedade associada ao movimento de rotação devido a velocidade

angular em torno do seu próprio eixo e que independe de sua velocidade linear. ... O spin de uma partícula é revelado mediante a ação de um campo magnético externo ao qual a partícula é submetida.

Como já dito, o spin também é usado para classificar as partículas, sendo as partículas com spins semi-inteiros chamadas de férmions, como por exemplo os elétrons, já as partículas com spins inteiros são chamadas de bósons, como o fóton.

A importância da classificação das partículas através do seu spin é que: “Os férmions obedecem ao princípio de exclusão de Pauli, que afirma que um certo estado quântico só pode ser ocupado por uma única partícula. Os bósons não obedecem a este princípio. A um certo estado quântico pode ser atribuído um número qualquer de bósons. Uma vez que as partículas procuram os estados de menor energia, os bósons tendem a se aglomerar nos estados de menor energia.” (HALLIDAY, RESNICK e WALKER, 1995, p. 301).

Segundo Halliday (1995), as partículas também podem ser classificadas através das forças que atuam sobre elas. Lembrando que existem quatro forças fundamentais, que são: A força gravitacional, que apesar de atuar em todas as partículas, seus efeitos são desprezíveis para partículas subatômicas, a força eletromagnética que atua em partículas carregadas, a força forte que é responsável por manter o núcleo coeso e que age somente em algumas partículas, e a força fraca, que age em todas as partículas e que está envolvida, como por exemplo, no decaimento beta e em processos análogos.

Agora, apresentaremos as partículas elementares, através da sua divisão em famílias: léptons, quarks e bósons mediadores.

5.4.1 LÉPTONS

Os léptons são partículas elementares que não são afetados pela força forte. Existem seis tipos de léptons, três que possuem carga elétrica e três chamados de neutrinos.

Os que possuem carga elétrica são:

a) Elétron (e)

Como já relatado o elétron foi a primeira partícula elementar descoberta, quando em uma experiência com raios catódicos, em 1897, J. J. Thomson descobre a partícula. Os elétrons existem desde o início do universo, sendo suas propriedades utilizadas no nosso dia a dia, através de fenômenos associadas a essa partícula.

O elétron é o mais leve dos léptons, cuja massa de apenas $9,10938 \cdot 10^{-31} \text{ kg} = 0,511 \text{ MeV}/c^2$ resulta na sua estabilidade, como bem afirma Marques (2010):

“O elétron é, portanto, cerca de 2000 vezes mais leve que o próton. É uma das partículas mais leve dentre todas. Só os neutrinos têm massas menores que essa. A leveza do elétron é sua fonte de estabilidade. Por não existirem partículas mais leves do que o elétron, simplesmente ele não tem como desaparecer. Ou seja, sua estabilidade resulta da conservação da carga elétrica e da energia.” (MARQUES, 2010, P.152).

O elétron tem carga negativa, cujo módulo foi medido com precisão em 1909 por Robert Andrews Milikan, obtendo-se o valor de $1,602 \cdot 10^{-19}$ Coulombs.

O número quântico de spin do elétron é descrito pelo número $\frac{1}{2}$, o que significa que o elétron só pode existir em dois estados distintos.

De acordo com Marques (2010, p.153):

Devido ao seu spin, o elétron se comporta como um pequeno ímã. Assim, o spin tem relação direta com as propriedades magnéticas dos materiais. Em particular, o magnetismo dos ímãs tem a ver unicamente com o spin do elétron. Em geral, a orientação dos spins num determinado material se dá ao acaso. Assim, a soma dos spins resulta ser nula. Nos materiais ferromagnéticos (ímãs), os spins atuam cooperativamente de forma tal que a soma dos diminutos ímãs não seja nula.

b) Múon (μ)

O múon foi a quinta partícula elementar a ser descoberta (1937) e o seu processo de previsão, detecção e interpretação envolveu um enigma cheios de conclusões apressadas.

A origem desse enigma se dá em 1933 quando Hideki Yukawa (1907-1981) propôs a partícula Méson π ou pión. Ele sugeriu a existência de uma partícula com massa cerca de duzentas vezes maior que a do elétron e que poderia ser emitida e absorvida por prótons e nêutrons. A troca dessa partícula entre as partículas do núcleo atômico seria a responsável pela atração de curto alcance, um raio da ordem de 10^{-13} cm, entre eles. Para Yukawa essa força de atração seria bem mais forte que a força eletromagnética, explicando assim, a estabilidade nuclear. (ABDALLA, 2016).

Cerca de três anos após a proposição de Yukawa, Carl Anderson (1905-2004) e Seth H. Neddermeyer (1907-1988), realizando pesquisas com raios cósmicos, anunciam evidências do Méson π . Porém estudos posteriores mostraram se tratar de uma outra partícula, o Méson μ ou Múon, sendo o valor da sua carga elétrica e de seu spin os mesmos do elétron e sua massa 207 vezes maior que a do elétron, cuja interação com a matéria é muito fraca, não podendo ser portanto, o méson de Yukawa que age através da interação forte.

Segundo Eisberg e Resnick (1979, p. 802), “Os muons não participam na teoria de Yukawa sobre a origem da interação forte, embora tal fato tenha sido percebido muito tempo depois de sua descoberta, em 1936, por Anderson e Neddermeyer”.

O dilema da partícula de Yukawa, o méson π , só foi resolvido em 1947, quando então, a partícula é detectada. E apesar de não ser uma partícula elementar, vamos abordá-la devido sua importância para a Física, em especial, para a Física no Brasil, pois é nesse ponto que entra a enorme contribuição do físico brasileiro César Lattes.

O méson π , ou pión, foi descoberto logo após a segunda guerra mundial com a brilhante e fundamental participação de Cesare Mansueto Giulio Lattes (1924-2005), ou simplesmente César Lattes, quando tinha apenas 23 anos.

Aluno Precoce, Lattes concluiu sua graduação em Física e Matemática aos 19 anos de idade na Universidade de São Paulo (USP). Precoce também foi sua carreira científica. “Em 1946 foi para Bristol, na Inglaterra, trabalhar com o físico nuclear inglês Cecil Frank Powell (1903-1969). Foi lá que Lattes viu indicações, em chapas fotográficas, de um segundo tipo de méson.” (PIRES e CARVALHO, 2014, p. 102).

As chapas fotográficas com espessas camadas de emulsão (chamadas emulsões nucleares) eram utilizadas para fotografar o rastro de um méson e os produtos de sua desintegração e pelo estudo dessas trilhas, examinava-se a massa, energia e outras propriedades da partícula. Porém essas experiências, que eram realizadas no Pic du Midi, na França, a 2800 m de altitude, utilizando esses tipos de chapas, o registro era praticamente zero. Foi quando, então, Lattes pede ao físico Giuseppe Occhialini, que seguia para o Pic du Midi, levar algumas emulsões, diferentes das usadas até então, embebidas em bórax.

De acordo com Lattes (2001, p. 11):

Pedi a Occhialini, que havia decidido tirar férias nos Pireneus (Pic-du-Midi e cercanias), que levasse com ele, para uma exposição de cerca de um mês, caixas de emulsões. Algumas estavam carregadas com bórax e outras eram normais (sem bórax). Todas eram feitas com o novo tipo de emulsão concentrada B1, para o qual já estava disponível uma relação alcance-energia. As chamadas chapas normais deveriam ser usadas no estudo de raios cósmicos de baixa energia e também como controles, para ver se estávamos detectando nêutrons de raios cósmicos.

Ainda segundo Lattes (2001, p.11):

Quando Occhialini processou as emulsões, na mesma noite em que chegaram do Pic-du-Midi, ficou claro que as emulsões carregadas com bórax tinham muito mais eventos que as não-carregadas; que o bórax, de algum modo, evitava que a imagem latente desaparecesse (as chapas normais exibiam muito fading). A variedade de eventos nas chapas com bórax e a riqueza de detalhes tornaram evidente que a detecção de energia do nêutron era apenas um resultado colateral.

Lattes descobre uma estação meteorológica, localizada em Chacaltaya na Bolívia, com mais de 5 quilômetros de altitude e lá deixa as placas fotográficas expostas por um mês. A análise dessas fotografias revela a existência de duas partículas. O já conhecido Méson μ ou múon e o méson π , também chamado de pión. O pión é criado por partículas cósmicas de alta energia sofrendo colisões nucleares ao atravessar a atmosfera. (PIRES e CARVALHO, 2014).

Em 1947 Lattes vai a Berkeley, Califórnia onde através do acelerador de partículas existente lá detecta tanto píons positivos, quanto negativos.

Assim, em 1947 termina a procura da partícula de Yukawa, com a descoberta do pión pelos físicos Cecil Frank Powell, Giuseppe Occhialini e César Lattes. Lattes ganha, assim, fama internacional, porém quem ganha em 1950 o prêmio Nobel de Física pela descoberta da partícula, por ser chefe da equipe, é Powell.

c) Tau (τ)

O tau foi descoberto em 1975 por Martin Perl ao observar o processo de aniquilação entre elétrons e pósitrons. Fazendo parte da terceira geração de léptons, essa partícula, tem massa cerca de duas vezes maior do que o próton e três mil e quinhentas vezes mais maciço que o elétron, sendo, assim, o lépton mais pesado (ABDALLA, 2016).

Assim como o múon, o tau também é uma partícula instável e apresenta tanto carga positiva quanto negativa.

Os léptons sem carga elétrica são chamados de neutrinos, sendo eles:

a) Neutrino do elétron (ν_e)

Um nêutron do núcleo, no decaimento β , emite um elétron e se transforma em um próton, violando, aparentemente, a conservação de energia e do momento angular de spin.

Para explicar a aparente violação na conservação de energia, o físico Wolfgang Pauli (1900-1958), em 1930, propõe que uma partícula era emitida juntamente com o elétron levando com ela a energia desaparecida.

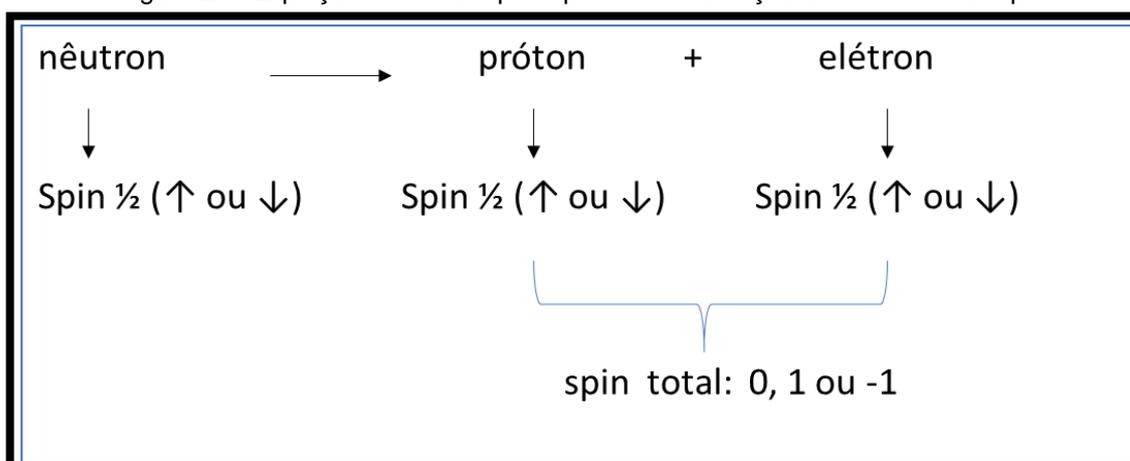
Essa partícula foi inicialmente chamada apenas de neutrino e depois de neutrino do elétron, sendo a terceira partícula elementar a ser estudada.

De acordo com Abdalla (2016, p. 54):

Pauli postulou a existência de uma partícula leve, neutra e fracamente interagente com a matéria, para explicar a aparente falha da conservação de energia nas medidas do chamado decaimento β .

Com a descoberta do nêutron em 1932, por James Chadwick, ficou provado que não há elétrons no núcleo, então, além do problema da conservação de energia no decaimento β , havia também o problema da conservação do momento angular de spin. Sendo um férmion, o momento angular de spin do nêutron é (\uparrow ; $+\frac{1}{2}$) ou (\downarrow ; $-\frac{1}{2}$) e conforme a equação abaixo (Figura 23), seria impossível decompô-lo em próton e elétron, pois violaria o princípio de conservação do momento de spin.

Figura 23 - Equação violando o princípio de conservação do momento de spin

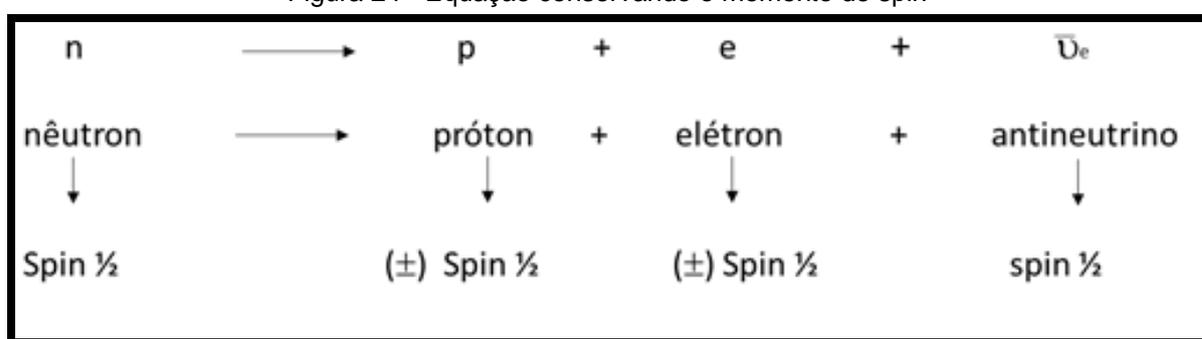


Fonte: Produzida pela autora

Para resolver o problema, Enrico Fermi sugere uma força capaz de converter um nêutron em um próton, junto com a emissão de um elétron e uma partícula, o neutrino,

de carga elétrica e massa de repouso iguais a zero, resolvendo, então, a falha na conservação do momento de spin, conforme demonstrado na equação a seguir (Figura 24).

Figura 24 - Equação conservando o momento de spin



Fonte: Produzida pela autora.

É importante, lembrarmos que, na verdade, a partícula que resulta desse processo é o antineutrino e não o neutrino como achavam.

O neutrino do elétron só foi detectado em 1956, no reator nuclear Savannah River, na Carolina do Sul, Estados Unidos, sendo que sua confirmação foi realizada por Clyde Cowan e Frederick Reines. (ABDALLA, 2016).

Apesar dos neutrinos não existirem de forma permanente na natureza, eles podem ser produzidos em raios cósmicos e em aceleradores de partículas. Sendo, os que são gerados nos raios cósmicos, abundantes e bilhões deles cruzam nosso corpo a cada segundo. (PIRES E CARVALHO, 2014)

b) Neutrino do Múon (ν_μ)

Utilizando o acelerador AGS – Alternating Gradient Synchrotron, os pesquisadores, Leon Lederman, Melvin Schwartz e Jack Steinberger, da Universidade de Columbia,

Estados Unidos, descobrem, em 1962, a primeira evidência do neutrino do múon. (ABDALLA, 2016)

O neutrino do múon é uma partícula, assim como todos neutrino, estável.

c) Neutrino do Tau (ν_τ)

O neutrino do tau foi a penúltima partícula elementar a ser descoberta. Assim como o elétron e o múon tinham seus neutrinos, esperava-se que o tau também deveria vir acompanhado por seu neutrino.

A busca dessa partícula, iniciou-se, oficialmente, em 1997, por físicos que trabalhavam no acelerador Tevatron do Fermilab. O aparato utilizado para detectar o neutrino do tau foi chamado de DONUT – Direct Observation of de Nu Tau, que no ano 2000 exibiu evidências concretas da existência do neutrino do tau. (ABDALLA, 2016).

O Quadro (7), resume as características dos léptons.

Quadro 7 - Resumo das características dos léptons

Família de Spin $\frac{1}{2}$	Partícula	Carga Elétrica	Quem descobriu (ano)	Onde/como	Massa (Mev/C ²)
Elétron	e	-1	J. J. Thomson (1897)	Ampola de Crookes	0,511
	ν_e	0	C. Cowan e F. Reines (1956)	Reator	<0,00001
Múon	μ	-1	S. Neddermeyer e C. Anderson (1937)	Raios cósmicos	105,648
	ν_μ	0	L. Lederman, M. Shwartz e J. Steinberger (1962)	BNL	<0,27
Tau	τ	-1	M. Perl (1975)	SLAC	1776,99
	ν_τ	0	DONUT (2000)	Fermilab	<31

Fonte: Abdalla (2016, p.145).

Assim finalizamos a família dos léptons, lembrando que para cada um dos léptons existe um antilépton com a mesma massa, porém com carga elétrica oposta.

5.4.2 QUARKS

Existem seis tipos de quarks, também chamados de sabores. Sendo eles: up (u), down (d), Charm (c), Strange (s), top (t) e bottom (b). Todos possuem spin $\frac{1}{2}$ e carga elétrica fracionária.

Conforme Pires (2008, p. 432) "Os quarks d, s, e b possuem uma carga elétrica de $-\frac{1}{3}$ (em unidades de carga do próton) e os outros carga de $\frac{2}{3}$. A existência destas cargas com valores fracionários foi um "resultado assustador" pois até então não havia nenhuma evidência experimental de cargas isoladas menores do que a carga do próton". Dessa forma fica evidente que a carga de uma partícula pode ser fracionária, porém ela não é observada, pois os quarks sempre se juntam em combinações com carga elétrica total inteira.

Por possuírem spin meio, os quarks, pelo princípio de exclusão de Pauli, não podem ocupar o mesmo estado quântico. Entretanto existem partículas formadas por mais de um quark idêntico no mesmo estado. Para resolver este dilema, o físico O. W. Greenberg sugeriu que cada sabor dos quarks podia existir em três estados diferentes que ele chamou de cor (vermelho, verde e azul), sendo que a cor não tem nada a ver com o sentido real do nome, ela representa um estado quântico, assim sendo, é possível existir partículas de quarks idênticos (sabor) desde que cada um tenha cor diferente. (PIRES, 2008).

Existem mais de duzentos hádrons e todos eles podem ser descritos pelo modelo de quarks, mostrando quão notável é esse modelo.

Vamos a partir desse ponto apresentar a descobertas dos quarks:

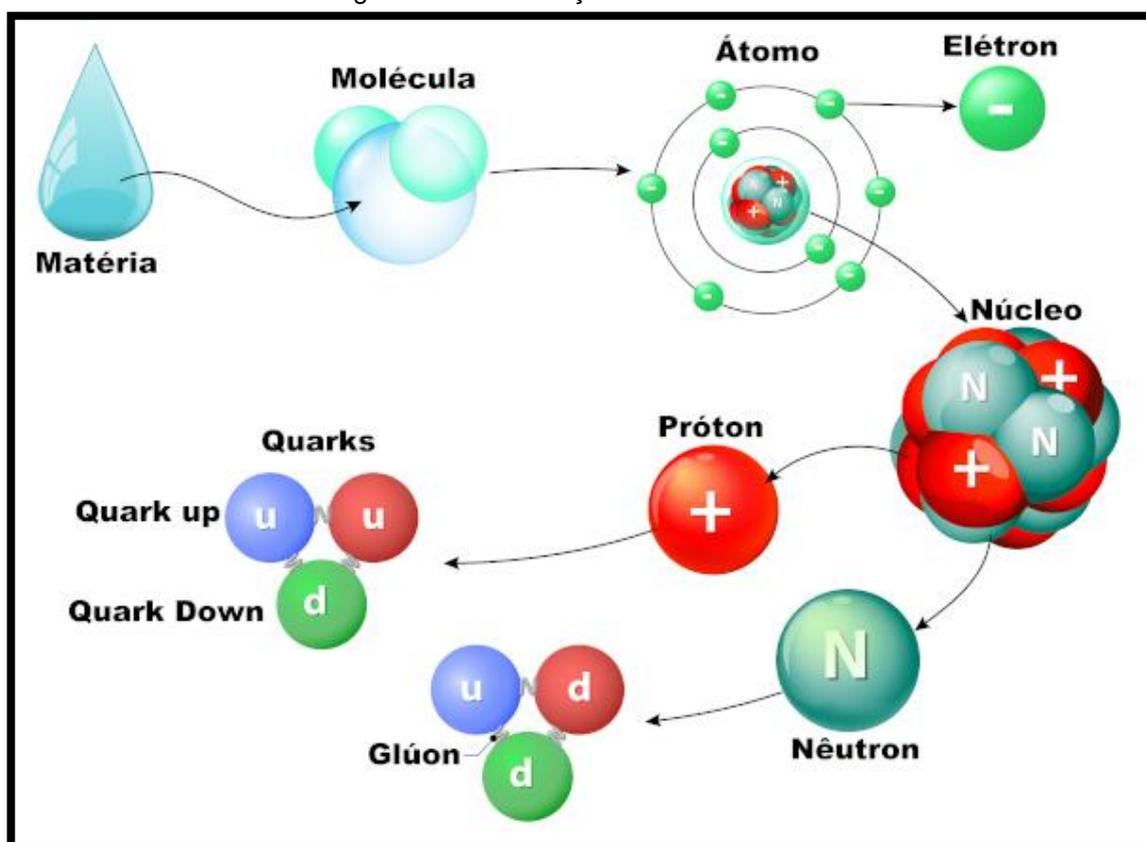
a) Up (u), Down (d) e Strang (s)

Os físicos Jerome Friedman, Henry Kendal e Richard Taylor do SLAC – Stanford Linear Accelerator Center, observaram a primeira evidência dos quarks dentro do próton. Antes disso, em 1964, o físico Murray Gell-Mann propôs que todos os hádrons

seriam formados por três partículas fundamentais, sendo elas: up (u), down (d) e strang (s), as quais deu o nome de quarks. (ABDALLA, 2016).

Toda matéria comum é feita pelos quarks up e down (Figura 25), citando como exemplos, o próton (uud) e o nêutron (udd). Esses quarks também formam outras partículas observáveis apenas em laboratório.

Figura 25 - Constituição da matéria comum



Fonte: <https://www.manualdaquimica.com/quimica-geral/atomo.htm>

Quanto a proposta do quark strang ou estranho (s), surgiu em 1965, dez anos após a divulgação de uma nova lei de conservação chamada estranheza, que surgiu para explicar estranhos comportamentos de algumas partículas. (ABDALLA, 2016).

O número quântico estranheza foi sugerido do Gell-Mann, que propôs sua conservação nas interações fortes, mas não nas interações fracas, o que vem a explicar o tempo tão pequeno (10^{-23} s) para a produção abundante de partículas

estranhas, que é regida pela força forte, enquanto seu decaimento, regido pela força fraca, era bem mais lento (10^{-8} s). (ABDALLA, 2016).

As fontes de observação das partículas estranhas eram apenas os raios cósmicos, mas hoje elas também são produzidas em laboratório.

b) Charme (c)

Gell-Mann havia proposto que todos os hádrons seriam formados por apenas três partículas fundamentais, mas ainda em 1964, James Daniel Bjorken e Sheldon Lee Glashow propuseram a existência do quark charmoso. A ideia da introdução desse quarto quark se deve a uma simples questão de simetria, pois para os autores deveriam existir quatro quarks, pois na época, existiam quatro léptons (elétron, múon e seus neutrinos). (ABDALLA, 2016).

Assim como o quark estranho, o quark charme é uma partícula instável que pode ser observada em raios cósmicos e em laboratórios.

Após dez anos de sua proposição, o quark charme (c) é descoberto simultaneamente por Burton Richter, do SLAC, que chamou a partícula de Psi, e C. C. Ting, do BNL, que nomeou a partícula de J. Por isso, o quark charmoso ficou conhecido como partícula J/Psi. (ABDALLA, 2016).

c) Bottom (b)

Em 1977, Leon Lederman, líder de um grupo do Fermilab, observa o quinto quark, bem mais pesado do que qualquer partícula já descoberta, que deu o nome de bottom (b). (ABDALLA, 2016).

d) Top (t)

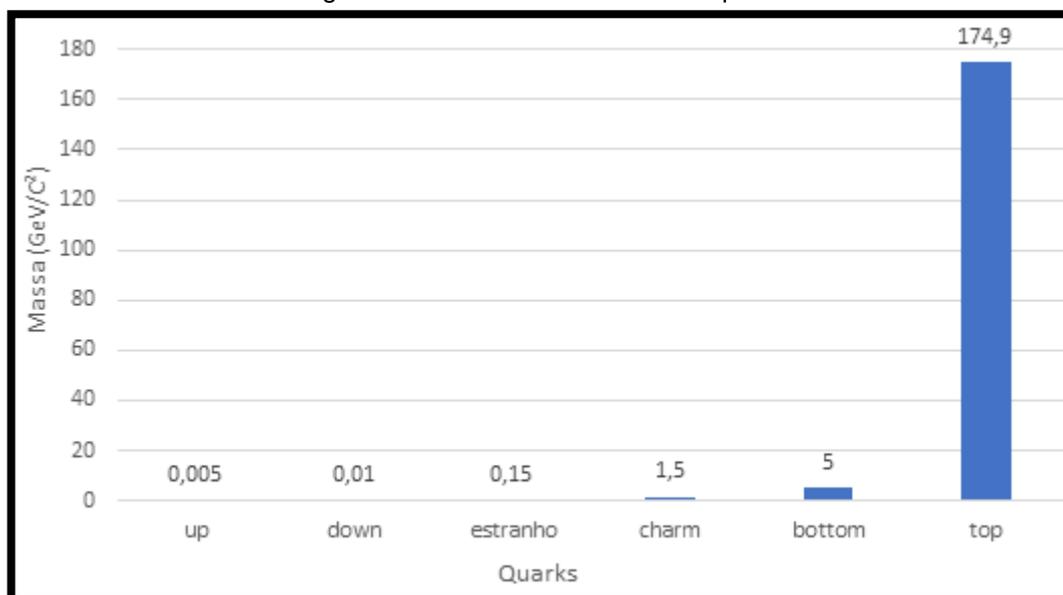
Com a descoberta do quark bottom, teóricos começaram a especular sobre a existência de um sexto quark para completar a simetria. Após várias tentativas para detectá-lo, em 1995, no acelerador Tevatron no Fermilab, o sexto e último quark, de

nome top (t) foi finalmente observado, cuja massa é da ordem de um átomo inteiro de ouro. (ABDALLA, 2016).

O quark top só existiu em condições naturais na época do Big-bang e agora só pode ser recriado, por um breve instante, em aceleradores de altas energias.

Assim, finalizamos a família dos quarks, mostrando na Figura (26) a relação de massas dos quarks e no Quadro (8) um resumo de suas características.

Figura 26 - Escala de massas dos quarks



Fonte: Produzido pela autora

Quadro 8 - Resumo das características dos quarks

Família de Spin ½	Partícula	Carga Elétrica	Quem descobriu (ano)	Onde/como	Massa (Mev/C²)
Primeira Geração	up (u)	2/3	M. Gell-Mann e G. Zweig (1964)	Modelo de quarks	3
	Down (d)	-1/3	M. Gell-Mann e G. Zweig (1964)	Modelo de quarks	6
Segunda Geração	estranho (s)	-1/3	G. D. Rochester e C. C. Butler (1947)	Partículas V	100
	charme (c)	2/3	Richter e Ting (1974)	SLAC e BNL	1.300
Terceira Geração	bottom (b)	-1/3	L. Lederman (1977)	Fermilab	4.300
	top (t)	2/3	Colaboração CDF, DØ (1995)	Fermilab	175.000

Fonte: Abdalla (2016, p.140).

5.4.3 BÓSONS

Os bósons são partículas com spin inteiro, logo não obedecem ao princípio de exclusão de Pauli. Existem duas classes de bósons, os mésons, que não são fundamentais e os bósons mediadores das interações entre léptons e quarks, que são partículas elementares. Os bósons fundamentais são: o fóton, os bósons w e z, os glúons, e o bóson de Higgs.

Suspeita-se que as interações gravitacionais sejam intermediadas por um bóson, de massa zero e que interage fracamente com a matéria, chamado gráviton. Considerando a incerteza da existência dessa partícula, nós a excluiremos da nossa pesquisa.

a) Fóton (γ)

O fóton foi a segunda partícula elementar a ser descoberta, quando ao explicar o efeito fotoelétrico em 1905, Einstein propõe que a luz é formada por partículas denominadas fótons.

Conforme Abdalla (2016, p. 44) "Einstein explicou o efeito fotoelétrico propondo a luz formada por partículas elementares às quais hoje damos o nome de fótons". Entretanto, o reconhecimento do fóton como uma partícula elementar, só ocorreu após a descoberta e interpretação do efeito Compton em 1923.

O Fóton é uma partícula sem massa e sem carga elétrica, responsável por intermediar a força eletromagnética. Sendo mais veloz que qualquer outra partícula, sua velocidade é de aproximadamente $c = 299.792.458\text{m/s}$ (velocidade da luz). Essa velocidade independe do referencial adotado e da energia do fóton.

Os fótons existem desde o início do universo, e são bastante numerosos, sendo que para cada próton existe pelo menos um bilhão de fótons no universo. (MARQUES, 2010).

De acordo com Marques (2010, p. 64):

As cores têm uma íntima ligação com uma propriedade dos fótons: a sua energia. Assim, a luz ultravioleta é aquela composta por fótons de maior energia. Os fótons menos energéticos compõem a luz vermelha. A luz branca resulta de uma soma de fótons com as mais variadas energias, mas com energia entre os dois extremos citados acima. Estes extremos (violeta e vermelha) se referem à parte visível do espectro de frequências.

Frisamos que fótons com energia muito alta, dependendo da dose, provocam danos aos seres humanos, pois produzem a ionização da matéria, como é o caso do raio x.

b) Bósons de Gauge: Z^0 , W^+ , W^-

Em 1967, Steven Weinberg, lança uma teoria para explicar a força eletrofraca usando quatro bóson intermediadores. De acordo essa teoria, três bósons eram responsáveis por intermediar a força fraca, sendo eles, os Bósons Z^0 , W^+ , W^- , denominados bósons de gauge e o último bóson é o fóton, que intermedeia a força eletromagnética. (ABDALLA, 2016).

De acordo com Marques (2010, p. 204):

No ano de 1983, dois grupos independentes, trabalhando no CERN, anunciaram a descoberta dos bósons intermediários das interações fracas. Pela descoberta, Carlo Rubia e Simon Van der Meer receberam o prêmio Nobel de Física de 1984.

Os bósons de gauge, são partículas efêmeras, o que leva a instabilidade das partículas que com elas interagem, logo o atributo mais marcante das interações fracas é a instabilidade. Outra característica marcante, dessas partículas, é terem massas muito grandes.

c) Glúons

Como já vimos, os quarks estão sempre confinados, logo deve existir uma força atrativa muito grande entre eles. Essa força é mediada pelo glúon, referindo-se a palavra em inglês glue, que significa cola, isto significa que o glúons colam os quarks e os mantêm unidos.

Então os glúons são partículas mediadoras das interações fortes e foram propostas em 1973. Existem oito tipos de glúons, todos não possuem massa e carga, mas possuem o atributo cor que os diferenciam.

Lembramos que o número quântico cor foi proposto para resolver o problema do princípio de exclusão de Pauli nas partículas de spin $\frac{1}{2}$, como os quarks. Entretanto, segundo Abdalla (2016, p.127) existiu outra razão:

... a razão mais profunda da necessidade desse número quântico extra consiste no fato de a força forte que inter-relaciona os quarks ser mediada pela cor. Em outras palavras, a força entre os quarks tem sua origem na cor. A cor é uma espécie de carga que origina a força forte, da mesma forma que a carga elétrica é fonte da interação eletromagnética.

Também de acordo com Marques (2010, p. 206):

Por serem dotados do estranho atributo denominado cor, os glúons nunca são observados isoladamente. Ninguém jamais encontrará um glúon livre, existem apenas coletivamente, verdadeiras sacolas no interior das quais estão os quarks. Quando dizemos que dois ou três quarks ficam confinados, fica subentendido que confinamos também os glúons, uma vez que eles são trocados continuamente no interior da sacola.

Portanto, os glúons jamais serão identificados isoladamente, sendo sua observação feita apenas de forma indireta.

d) Bóson de Higgs

Algumas partículas foram propostas baseadas em noções de simetria, porém, sabemos que algumas dessas simetrias são apenas aproximações. Havia, então, a necessidade de construir teorias onde a simetria fosse quebrada, sem contradição, é claro, com as observações experimentais.

Em 1964, três artigos foram escritos, de forma independente, sobre uma teoria que descreve o mecanismo de quebra de simetria, entre eles o artigo de Peter Higgs. Entretanto, apenas Higgs menciona a existência de um novo bóson com massa, diferente do bóson sem massa, proposto em 1960, pelos físicos Yoichiro Nambu e Jeffrey Goldstone, para explicar a violação da simetria. O mecanismo descrito por Higgs ficou conhecido como mecanismo Higgs, e o bóson resultante desse mecanismo foi chamado bóson de Higgs. (ROSENFELD, 2013).

O bóson de Higgs é conhecido mundialmente, pelos leigos, como partícula de Deus, esse bóson é uma partícula elementar que, segundo a teoria Higgs, cedeu massa a matéria logo após o Big Bang, o que condicionou o surgimento de tudo que existe no Cosmos. Sendo assim, o bóson de Higgs representa a chave para explicar a origem da massa das outras partículas.

Contudo, não havia, na época, tecnologia necessária para investigar a existência desse bóson. Isso só foi possível a partir de 2008, quando entra em operação o LHC – Grande Colisor de Hádrons, localizado no CERN – Organização Europeia para Pesquisa Nuclear.

Em julho de 2012, cientistas do CERN descobrem uma nova partícula que poderia ser o bóson de Higgs, sua confirmação, entretanto, só ocorre em 14 de março de 2013, quase cinquenta anos após a sua predição por Higgs. No mesmo ano Peter Higgs e Francois Englert recebem o prêmio Nobel de Física pela proposta do mecanismo que dá massa as partículas elementares.

Após a descoberta do bóson de Higgs, os bósons mediadores podem ser resumidos conforme Quadro 9.

Quadro 9 - Resumo das características dos bósons mediadores

Tipo de interação	Partícula	Spin	Carga	Massa (Gev/C ²)
Eletromagnética	Fóton (γ)	1	0	0
Forte	Glúon (g)	1	0	0
Fracca	Z ⁰	1	0	91,187 \pm 0,002
	W ⁺	1	+1	80,423 \pm 0,039
	W ⁻	1	-1	80,423 \pm 0,039
Fracca	Bóson de Higgs (H)	0	0	125,7 \pm 0,4

Fonte: Abdalla (2016, p.229).

Recapitulando, existem 61 partículas elementares: trinta e seis quarks, sendo seis sabores, cada um existindo em três cores, mais seus antiquarks; seis léptons e seus antiléptons correspondentes; oito glúons, responsáveis pela força forte; o fóton, que intermedeia a força eletromagnética; os bósons Z⁰, W⁺, W⁻ que descrevem a força fraca; e o bóson de Higgs responsável pela massa das partículas elementares.

5.5 ACELERADORES E DETECTORES

Nesta seção abordaremos os equipamentos e dispositivos que nos permitiram desvendar o mundo das partículas subatômicas, que são os aceleradores e detectores de partículas.

Os aceleradores de partículas são máquinas que aceleram partículas eletricamente carregadas, fazendo com que elas atinjam altas velocidades, lançando-as, em seguida, sobre um alvo ou fazendo-as colidirem com partículas que se movimentam em sentidos opostos.

Segundo Marques (2010, p.72):

O precursor dos aceleradores foi o tubo de raios catódicos. O tubo é um acelerador de elétrons bastante primitivo. Com esse acelerador primitivo J.J. Thomson foi capaz de determinar a relação entre a carga e a massa do elétron.

Na Figura (27) temos o primeiro acelerador de partículas, o tubo de raios catódicos.

Figura 27 - Tubo de raios catódicos



Fonte:

https://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:JJ_Thomson_Crookes_Tube_Replica.jpg#/media/Ficheiro:JJ_Thomson_Crookes_Tube_Replica.jpg

Antes de continuarmos, vamos relembrar dois conceitos fundamentais para conduzir uma partícula carregada em um acelerador.

O primeiro é que, segundo as leis do eletromagnetismo, uma partícula carregada ao ser submetida a um campo elétrico, tem o valor da sua velocidade alterado. Já o segundo, de acordo com as mesmas leis, diz que uma partícula carregada desvia sua trajetória ao passar por um campo magnético. Portanto, aceleradores de partículas são equipamentos que usam eletromagnetos para acelerar e curvar partículas carregadas.

Os aceleradores de partículas são máquinas utilizadas para estudar os constituintes da matéria, para isso eles convertem a alta energia de movimento das partículas em novos pedaços de matéria. Essa conversão feita pela fórmula $E = mc^2$, expressa a equivalência entre massa e energia. Para tal fim, os aceleradores promovem colisões entre partículas de matéria e quanto maior a energia de colisão, mais descobrimos sobre a estrutura da matéria. (GLEISER, 2014).

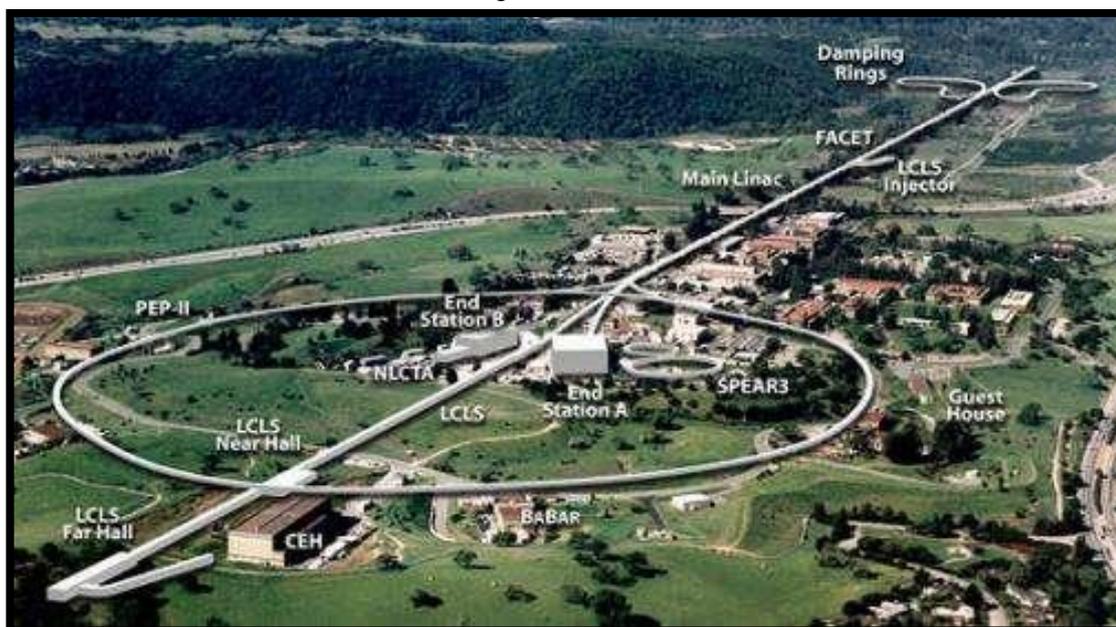
Existem várias maneiras de projetar um acelerador, cada um adaptado a objetivos específicos. Quanto à trajetória seguida pelas partículas, os aceleradores podem ser do tipo linear ou circular.

Nos aceleradores lineares as partículas seguem um caminho retilíneo, sendo submetidas a uma tensão elétrica e a ação de um campo elétrico. A grande vantagem desse tipo de gerador é que as partículas não perdem energia por radiação, porém para as partículas ganharem grandes energias, o acelerador deve possuir comprimento muito extenso, já que a partícula passa apenas uma vez por ele.

Dentre os aceleradores lineares existente, citamos o alojado no SLAC (Centro de Aceleração Linear de Stanford), um acelerador de partículas com 3,2 km de comprimento, que provoca a colisão de elétrons e pósitrons com energias de até 92 GeV. No SLAC foram descobertas as partículas: quark charme em 1974, o lépton tau em 1995, além da confirmação de quarks confinados nos prótons e nêutrons. (PERUZZO, 2012).

Na Figura (28) temos uma imagem aérea do SLAC.

Figura 28 - SLAC



Fonte: <https://phys.org/news/2012-09-slac-taus-bottom-quarks-standard.html>

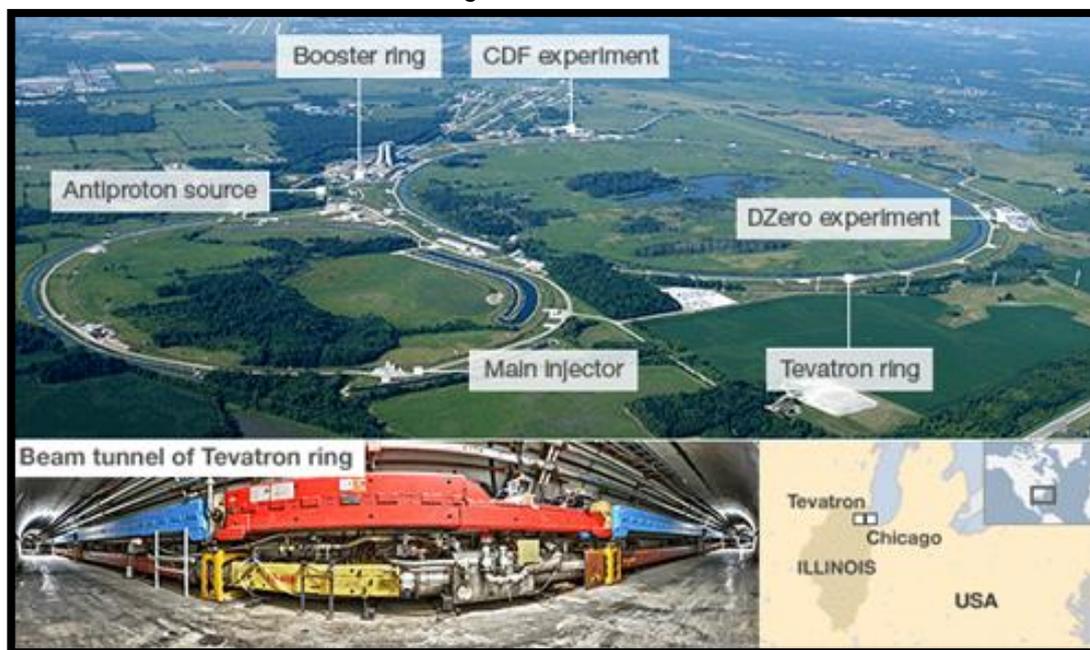
Nos aceleradores cíclicos as partículas são curvadas devido a ação de campos magnéticos, fazendo com que as partículas passem diversas vezes pelo sistema de aceleração, com isso, ganhando mais energia. Entretanto, na realização das trajetórias curvas, as partículas perdem energia por radiação. Os aceleradores circulares também são conhecidos como cíclotrons ou síncrotrons.

Nos cíclotrons as partículas a serem aceleradas são injetadas pelo centro e descrevem uma trajetória espiralada, até saírem do acelerador, bombardeando um alvo. Já nos aceleradores síncrotrons, o trajeto das partículas ocorre em órbitas de raios fixos.

Um dos maiores aceleradores cíclicos é o acelerador Tevatron do Fermilab (Laboratório e Acelerador Nacional Fermi), localizado em Illinois. Tendo 6,3 km de circunferência, esse acelerador faz colidir prótons e antiprótons com energias de aproximadamente 2TeV. Seu custo total chega a 420 milhões de dólares, mas sua contribuição na física de partículas também é gigante, dentre as quais estão a descoberta do quark top em 1995 e a medida da sua massa em 2007. (PERUZZO, 2012).

Na Figura (29) temos uma imagem dos anéis do Tevatron.

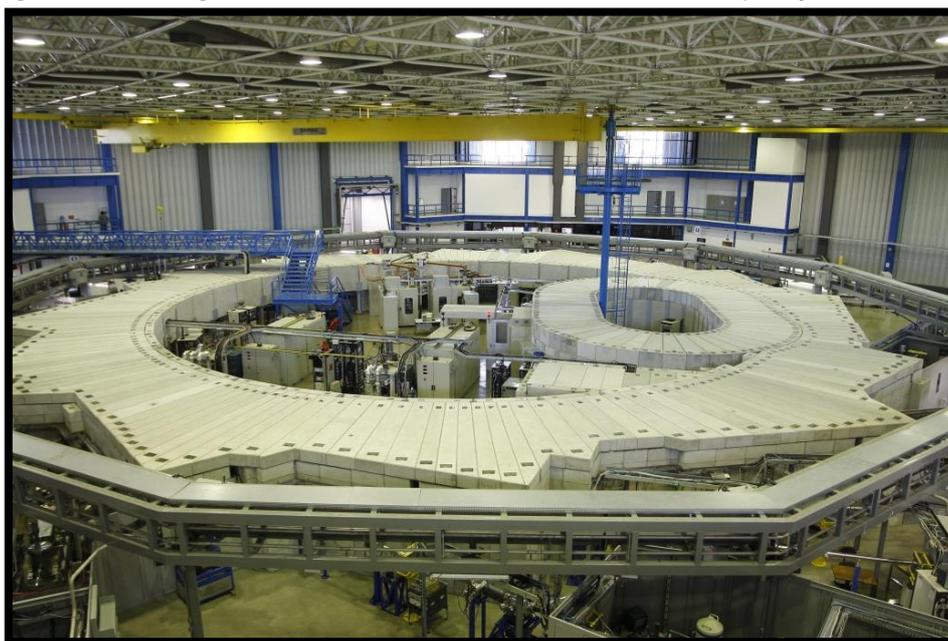
Figura 29 - Tevatron



Fonte: <https://physicsforme.com/tag/tevatron/>

Neste ponto, ressaltamos um dos mais relevantes aceleradores brasileiros, o LNLS (Laboratório Nacional de Luz Síncrotron) (Figura 30), inaugurado em 1997.

Figura 30 - Vista geral da fonte de luz síncrotron do LNLS em operação desde 1997



Fonte: <https://cnpem.br/portfolio-item/geral-lnls/>

De acordo com Peruzzo (2012, p. 107):

Certamente um dos mais importantes aceleradores brasileiros é o LNLS (Laboratório Nacional de Luz Síncrotron), localizado em Campinas, SP. O mesmo é utilizado basicamente para pesquisas na área de física da matéria condensada e não na física de partículas. O LNLS é um anel no qual elétrons são acelerados. No movimento circular os elétrons são acelerados e acabam emitindo radiação, chamada luz síncrotron. Essa radiação é utilizada para investigar as propriedades de materiais a nível atômico e moléculas. O LNLS é o único laboratório deste tipo no Hemisfério Sul e foi inteiramente desenvolvido por cientistas, engenheiros e técnicos brasileiros.

Prevista teoricamente em 1944 por Dmitri Iwanenko e Isaak Pomeranchuk, a luz síncrotron é, portanto, um tipo de radiação eletromagnética produzida quando partículas carregadas próximas a velocidade da luz, têm sua trajetória desviada por campos magnéticos, revelando assim a estrutura molecular e atômica da matéria.

Graças a sua função de descobrir a estrutura de diferentes materiais compreendendo assim, suas propriedades fundamentais, a luz síncrotron pode ser utilizada em diversas áreas do conhecimento científico e tecnológico.

5.6 O LHC (THE LARGE HADRON COLLIDER)

Todos os dados dessa seção foram retirados do site do CERN, disponível em <<https://home.cern/>> acesso em 23 set. 2020.

Nessa seção abordaremos sobre o maior e mais poderoso acelerador da atualidade, o LHC (Large Hadron Collider ou Grande Acelerador de Hádrons). Também trataremos dos quatro detectores distribuídos ao longo do anel desse acelerador. Antes, porém, vamos falar do centro de pesquisa onde está localizado o LHC.

O CERN (Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire) em francês, ou em português, Conselho Europeu para Pesquisa Nuclear, fundado em 1954, na fronteira franco-suíça perto de Genebra, possui, atualmente, vinte e três Estados-Membros, que contribuem para seus custos de capital e operacionais, sendo eles também

representados no conselho, que é o órgão responsável por todas as decisões importantes.

O Brasil, apesar de não ser Estado-Membro, tem acordos de cooperação com o CERN.

O CERN tem como principal missão a pesquisa fundamental, fornecendo uma série de aceleradores de partículas aos pesquisadores, para avançar os limites do conhecimento humano, tendo também incumbência de unir pessoas de todo o mundo para expandir as fronteiras da ciência e da tecnologia para benefício de todos.

A cooperação entre nações, universidades e cientistas é o que move as pesquisas do CERN, que desde o seu início tem contribuído, com muitos avanços científicos e tecnológicos para a sociedade, incluindo a World Wide Web (www), inventada pelo cientista britânico Tim Berners-Lee em 1989, enquanto trabalhava no CERN, inicialmente a rede foi concebida para atender à demanda por compartilhamento de informações entre cientistas em todo o mundo. Em 30 de abril de 1993, o CERN colocou o software da World Wide Web em domínio público com a seguinte declaração:

“O CERN renuncia a todos os direitos de propriedade intelectual deste código, tanto a fonte quanto o binário, e a permissão é dada a qualquer pessoa para usá-lo, duplicá-lo, modificá-lo e destruí-lo.”

Na Figura(31) temos uma vista aérea do CERN.

Figura 31 - Vista aérea do CERN



Fonte: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=22544329>

Como já relatado, os aceleradores de partículas são os principais equipamentos utilizados pela ciência para investigação da estrutura da matéria e suas interações fundamentais. Em setembro de 2008 foi inaugurado o maior e mais poderoso acelerador de partículas já construído, o LHC (Grande Colisor de Hádrons) (Figura 32), criado com o objetivo de penetrar mais profundamente na estrutura da matéria e obter respostas sobre o Modelo Padrão, o mecanismo gerador de massa, o bóson de Higgs, violação de simetria e outros.

O Grande Colisor de Hádrons, é grande por causa do seu tamanho - um anel de aproximadamente 27 km de circunferência, colisor – porque feixes de partículas viajam em direções opostas e são levadas a colidir, hádrons – porque acelera partículas chamadas hádrons, como por exemplo o próton.

Figura 32 - Túnel do LHC



Fonte: <https://home.cern/resources/image/accelerators/lhc-images-gallery>

No LHC tudo é grandioso, desde o nome até a quantidade de dados por ano armazenados dos experimentos, que são suficientes para preencher cerca de 1,2 milhão de discos Blu-ray, ou seja, 250 anos de vídeo HD. No Quadro (10) apresentamos alguns números do LHC.

Quadro 10 - Dados do LHC

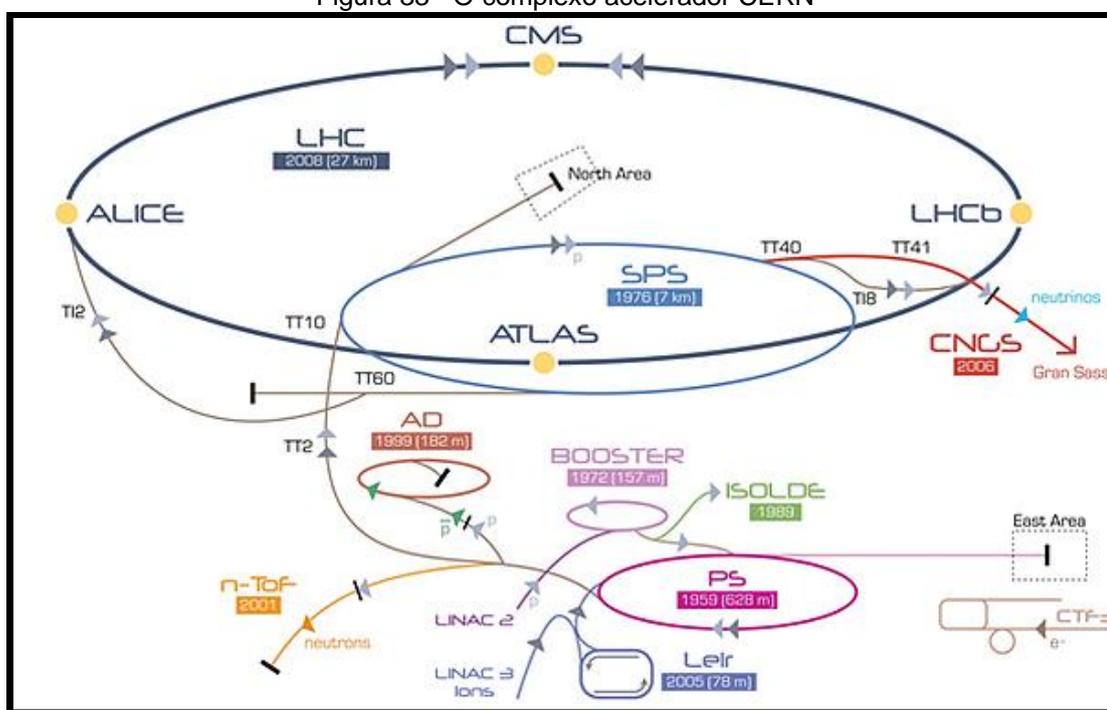
QUANTIDADE	NÚMERO
Circunferência	26.659 m
Temperatura de operação do dipolo	1,9 K (-271,3°C)
Número de ímãs	9593
Número de dipolos principais	1232
Número de quadrupolos principais	391
Número de cavidades RF	8 por feixe
Energia nominal, prótons	6,5 Tev
Energia nominal, íons	2,56 Tev/u (energia por núcleo)
Energia nominal, colisões de prótons	13 Tev
Nº de pacotes por feixes de prótons	2808
Nº de prótons por grupo (no início)	1,2 x 10 ¹¹
Número de voltas por segundo	11.245
Número de colisões por segundo	1 bilhão

Fonte: <https://home.cern/resources/faqs>

O LHC fica aproximadamente a 100m de profundidade e está localizado na fronteira entre França e Suíça. Ele consiste em um anel de aproximadamente 27 km, sendo abastecido por feixes de prótons por uma cadeia de quatro aceleradores que impulsionam as partículas ao longo do caminho para aumentar a energia. Esses feixes de prótons são acelerados até energias de 6,5 TeV, logo, ao colidirem com os prótons que se movimentam em sentidos opostos, a energia total de colisão chega a 13 TeV, energia nunca alcançada, até então, por um acelerador.

Na Figura (33) temos o complexo de aceleradores CERN, que é uma sucessão de máquinas com energias cada vez mais altas. Cada máquina acelera um feixe de partículas até uma determinada energia antes de injetar o feixe na próxima máquina da cadeia. A próxima máquina leva o feixe a uma energia ainda mais alta e assim por diante. O LHC é o último elemento dessa cadeia, em que os feixes atingem suas energias máximas.

Figura 33 - O complexo acelerador CERN



Fonte: <http://cds.cern.ch/images/OPEN-PHO-ACCEL-2013-056-1>

Dentro do acelerador, os feixes de partículas de alta energia viajam perto da velocidade da luz em direções opostas em tubos separados, os tubos são mantidos em vácuo ultra-alto, tornando o espaço onde viajam as partículas tão vazios como o

espaço interplanetário. Esse vácuo ultra-alto é necessário para evitar colisões das partículas com as moléculas de gás presente no acelerador. Os feixes de prótons são curvados por um forte campo magnético gerados por 1232 eletroímãs supercondutores, o que requer o resfriamento dos ímãs a $-271,3^{\circ}\text{C}$, temperatura que é mantida por um sistema de distribuição de hélio líquido, sendo que cada eletroímã tem 15 m de comprimento e 35 t de massa.

Passaremos, agora, a descrever as etapas da aceleração.

Antes de serem aceleradas no LHC, as partículas passam por quatro aceleradores auxiliares, que elevam sucessivamente sua energia. Tudo começa com um simples tubo que contém gás hidrogênio (H_2). Na câmara de ionização, é aplicado uma diferença de potencial de 100.000 V nesse gás, separando-se, assim, o próton do elétron. Os Prótons são ejetados por uma das extremidades do tubo e são inicialmente acelerados num acelerador linear, o Linac 2 do CERN, atingindo uma energia de 50 MeV e um terço da velocidade da luz.

Em seguida, os feixes de prótons são enviados para o PSB (Próton Synchrotron Booster), iniciando então, o segundo estágio de aceleração. Para maximizar a intensidade do feixe de prótons, o grupo é dividido em quatro, um para cada anel do Booster. Nesse ponto a aceleração linear é impraticável, por isso esse acelerador é circular com 157 m de diâmetro. Como o feixe de prótons circulam repetidamente nos anéis do Booster, para acelerá-los o campo elétrico passa a ser pulsante e eletroímãs poderosos são usados para dobrar os feixes em volta dos círculos. Nesse estágio os prótons atingem uma velocidade de 91,6% da velocidade da luz e sua energia chega a 1,4 GeV, sendo também comprimidos para que fiquem mais próximos um dos outros. Os grupos de prótons dos quatro anéis passam para mais um estágio de aceleração.

O terceiro estágio de aceleração ocorre em outro acelerador circular de 628 m de diâmetro, o PS (Próton Synchrotron), onde o grupo de prótons alcançam 99,9% da velocidade da luz. É aqui que chegamos ao ponto de transição, onde a energia adicionada aos prótons pelo campo elétrico pulsante não pode se converter em um

aumento de velocidade, uma vez que eles já alcançaram praticamente a velocidade da luz, ao invés disso a energia adicionada se manifesta na forma de um aumento na massa dos prótons. A energia de cada próton nesse estágio chega a 25 GeV, o que significa dizer que os prótons estão vinte e cinco vezes mais pesados do que quando estavam em repouso.

Os grupos de prótons, agora, são enviados ao quarto estágio de aceleração, mais um acelerador circular, o SPS (Super Próton Synchrotron), um imenso anel com 7 km de circunferência, projetado especificamente para aceitar os prótons já energizados e levá-los até 450 GeV de energia e prontos para serem lançados na órbita do LHC.

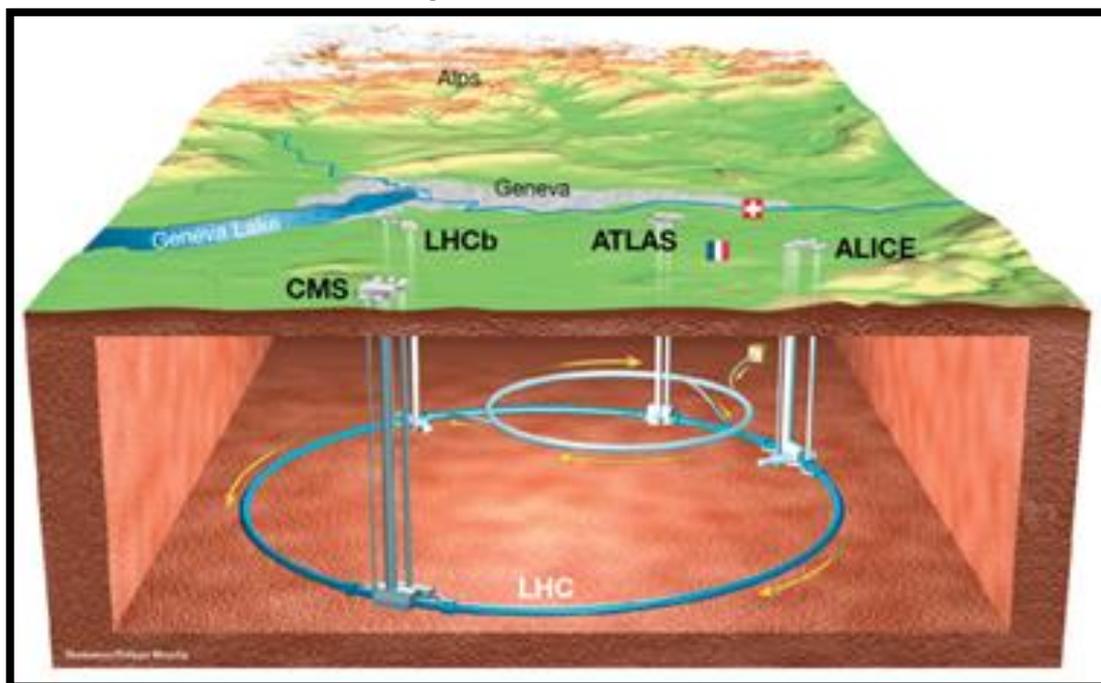
No fundo da terra, aproximadamente a 100m de profundidade existem dois tubos a vácuo no LHC onde são injetados os feixes de prótons que viajam em sentidos opostos. Usando lançadores super sofisticados, para sincronizar os grupos de prótons que chegam com os que já estão circulando, um tubo à vácuo injeta prótons que vão circular no sentido horário e outro injeta prótons que circularão no sentido oposto.

Durante meia hora o SPS injeta prótons no LHC, e durante este tempo o LHC adiciona mais energia a cada próton, cuja velocidade está tão próxima à da luz, que eles dão a volta no anel de aproximadamente 27 km mais de onze mil vezes por segundo, recebendo um acréscimo de energia do campo elétrico a cada revolução. Finalmente cada próton adquire uma energia de 6,5 TeV e são seis mil e quinhentas vezes mais pesados do que eram em repouso.

Agora os prótons estão prontos para colidir. Um ímã muda-os de direção para um curso de colisão, sendo que os feixes contrários se cruzam em quatro pontos do LHC, local no qual estão localizados os detectores. A energia dos prótons colidindo é de 13 TeV e reproduz um estado similar a momentos após ao Big Bang. No LHC um bilhão de colisões de prótons ocorrem por segundo, e como resultado dessas colisões diversas partículas massivas são produzidas, como o bóson de Higgs. Entretanto, essas partículas massivas duram bem menos que um piscar de olhos, pois elas decaem quase que imediatamente em partículas mais leves.

Como já dito, as partículas são levadas a colidir em quatro locais específicos onde estão localizados os detectores (Figura 34): ATLAS, CMS, ALICE E LHCb, usados para analisar a grande quantidade de partículas produzidas nas colisões, os quais passaremos a descrever.

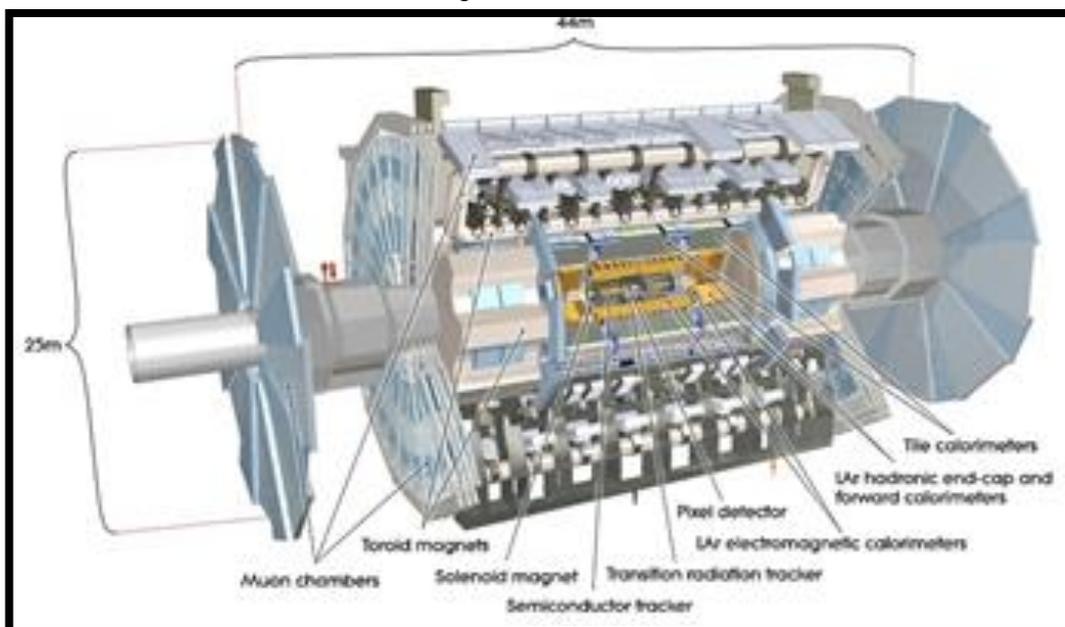
Figura 34 - Detectores LHC



Fonte: <https://lhcb-public.web.cern.ch/en/Detector/Detector-en.html>

O ATLAS (A Toroidal LHC ApparatuS) (Figura 35) é o maior detector de partículas do LHC, como seu imenso tamanho de 46m de comprimento, 25m de altura, 25m de largura e 7 mil toneladas, é uma cooperação internacional que reúne mais de 3.000 cientistas de 174 institutos em 38 países. O ATLAS é um detector de uso geral projetado para explorar a física do LHC, desde testar as previsões do Modelo Padrão e a busca pelo bóson de Higgs, até descobertas inovadoras, como a busca por sinais de supersimetria e de dimensões extras.

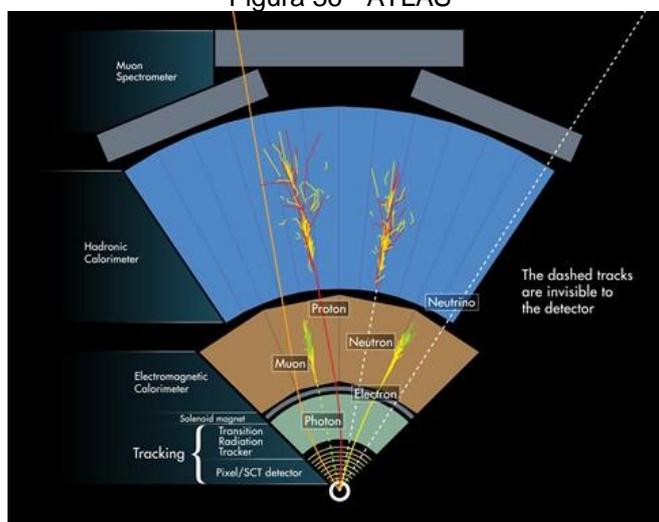
Figura 35 - ATLAS



Fonte: <https://atlas.cern/discover/detector>

O ATLAS (Figura 36) foi construído em várias camadas para detectar as partículas mais minúsculas e energéticas já produzidas em laboratório. As partículas que colidem no centro desse detector, criam detritos em forma de novas partículas, que se espalham em todas as direções pelas camadas do detector, que registram os caminhos, o momento e a energia das partículas, permitindo, assim, que elas sejam identificadas.

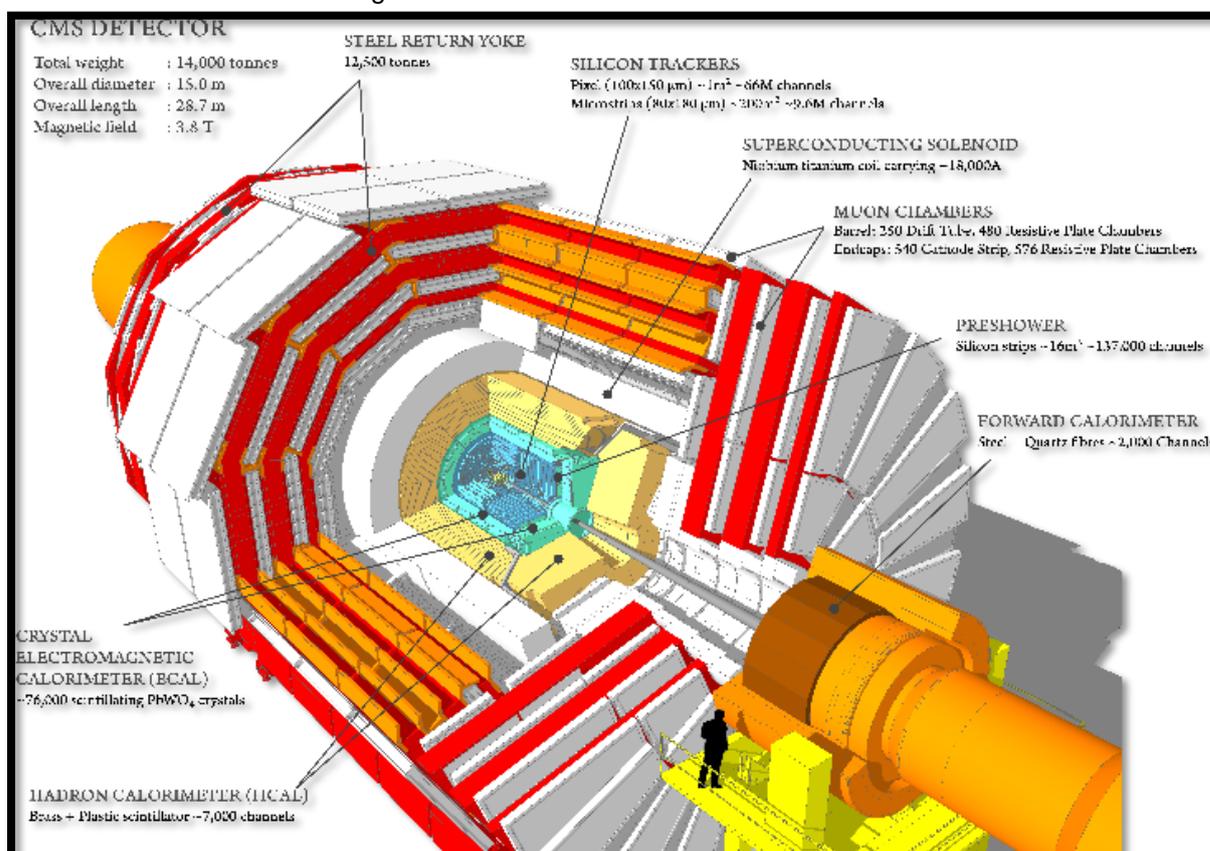
Figura 36 - ATLAS



Fonte: <https://cds.cern.ch/record/1505342?ln=en>

O CMS (Compact Muon Solenóide), construído em volta de um enorme solenóide supercondutor, também é um detector de uso geral, projetado para detectar partículas múons com muita precisão, além de possuir os mesmos objetivos do ATLAS, porém, ele usa diferentes soluções técnicas e um sistema magnético diferente. O detector CMS (Figura 37) tem 21m de comprimento, 15 m de largura, 15 m de altura e 14.000 toneladas, sendo que a maior parte desse peso se deve ao mais poderoso ímã solenóide já construído, que gera um campo magnético de 4T, cerca de cem mil vezes o campo magnético da Terra, que é confinado por uma blindagem magnética de aço.

Figura 37 - Vista em corte do detector CMS



Fonte: <https://cms.cern/news/cms-detector-design>

Em setembro de 2019 o projeto CMS agrupava cinco mil físicos de partículas, engenheiros, técnicos, estudantes e equipe de apoio de duzentos institutos em cinquenta países, sendo uma das maiores colaborações científicas internacionais da história.

O principal atributo do CMS é seu sistema de ímãs, que curva os caminhos das partículas carregadas, permitindo medir suas cargas elétricas e seus momentos, haja visto que, partículas com carga positiva e negativa se curvam em direções opostas no mesmo campo magnético e as partículas de alto momento se dobram menos em comparação com as de baixo momento em um campo magnético idêntico.

As energias das partículas são coletadas por dois calorímetros, o primeiro, localizado na camada interna, é o calorímetro eletromagnético (ECAL), que mede a energia dos elétrons e fótons, interrompendo-os completamente. Já os hádrons, voam através do ECAL, e depositam a maior parte de sua energia na camada seguinte, onde são interrompidos pelo calorímetro de hádrons (HCAL).

A última partícula que o CMS detecta é o múon, e por ele não ser interrompido pelos calorímetros, subdetectores especiais, chamados câmara de múons, foram construídos para detectá-los.

Assim, as partículas que viajam através do CMS deixam seus rastros nas suas camadas permitindo que sejam identificadas.

Na Figura (38) foto de François Englert (à esquerda) e Peter Higgs no CERN em 4 de julho de 2012, por ocasião do anúncio da descoberta de um bóson de Higgs pelos experimentos ATLAS e CMS.

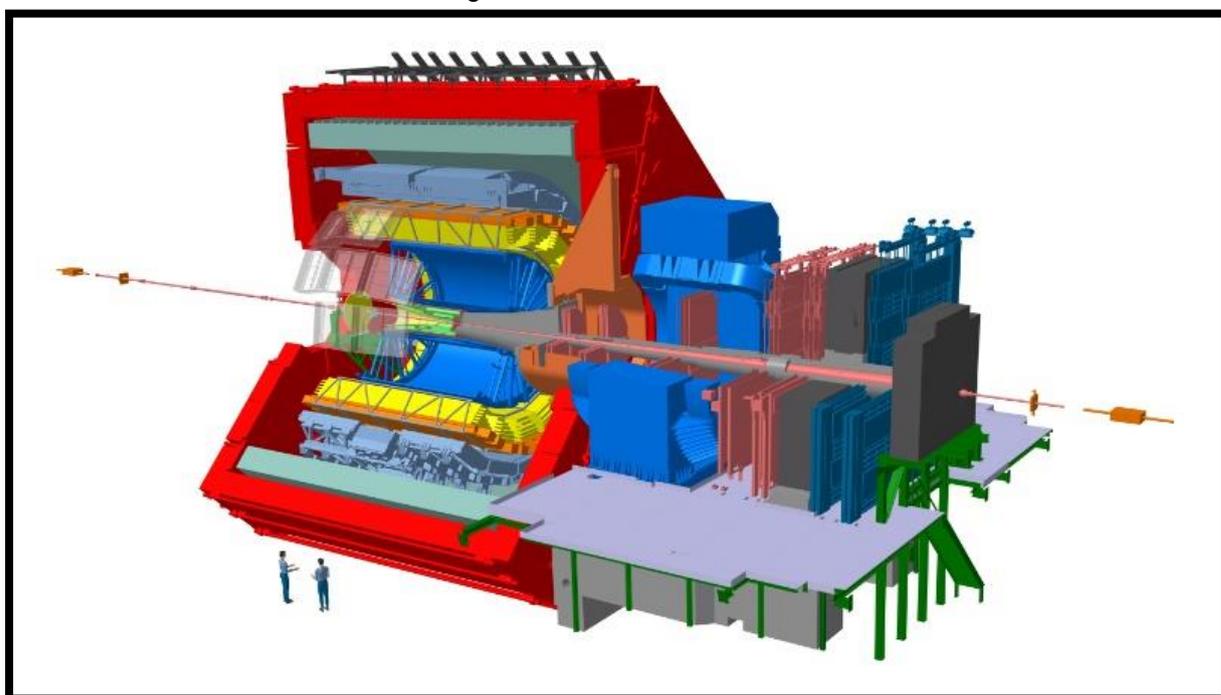
Figura 38 - François Englert e Peter Higgs



Fonte: <https://home.cern/news/news/physics/cern-congratulates-englert-and-higgs-nobel-physics>

O ALICE (A Large Ion Collision Experiment) (Figura 39) é um detector de 10.000 toneladas, 26 m de comprimento, 16 m de altura e 16 m de largura, ele é utilizado para análise de colisões de íons pesados no LHC. Projetado para estudar as propriedades do chamado plasma quark-glúon, estado da matéria que existiu logo após o Big Bang, antes dos prótons e nêutrons se formarem. Sabemos que os prótons e nêutrons são hádrons feitos de quarks e unidos por glúons, sendo que estes nunca foram observados isoladamente, ou seja, estão confinados dentro dos hádrons, porém sob condições de temperaturas e densidades muito altas, deixam de ficar confinados.

Figura 39 - Detector ALICE



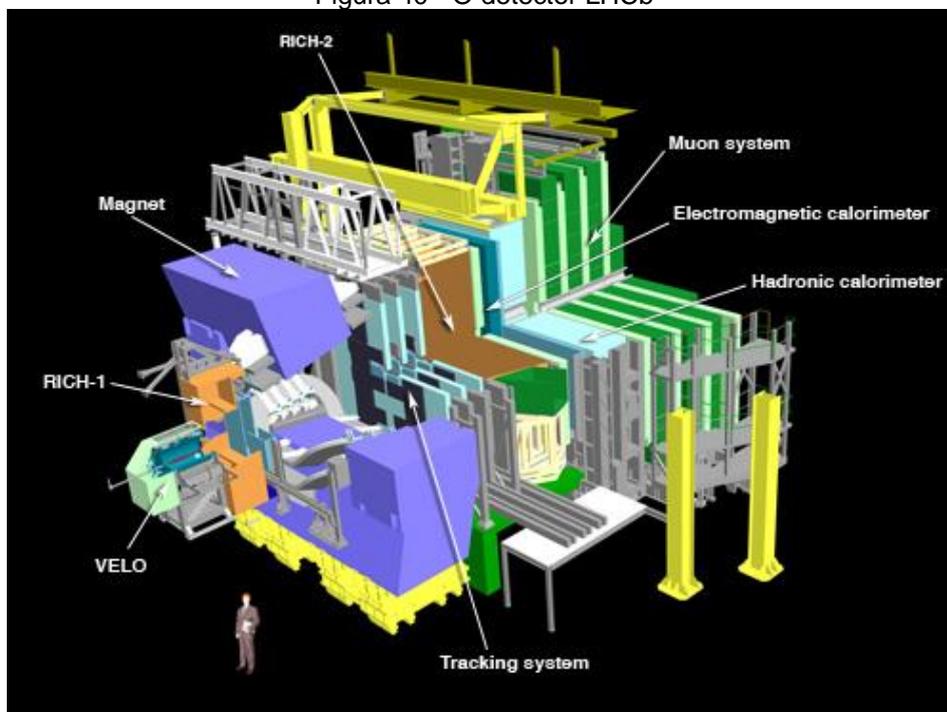
Fonte: <http://cds.cern.ch/record/2263642>

Durante parte de cada ano, o LHC fornece colisões entre íons de chumbo, gerando nessas colisões temperaturas mais de cem mil vezes mais altas do que o centro do sol, criando, assim, condições semelhantes àquelas logo após o Big Bang. O experimento ALICE estuda, então, o plasma quark-glúon conforme ele se expande e esfria, examinando como ele progressivamente dá origem as partículas que constituem a matéria do nosso universo hoje.

A colaboração ALICE conta com mais de mil cientistas de mais de cem institutos de física em trinta países.

O LHCb (Large Hadron Collider beauty experimente) (Figura 40), foi criado para estudar as diferenças mais sutis entre matéria e antimatéria, que ocorre nas interações do quark beauty, também chamado de quark bottom. Sendo que esse estudo pode responder à questão: o que aconteceu após o Big Bang que permitiu que a matéria sobrevivesse e construísse o Universo que habitamos hoje?

Figura 40 - O detector LHCb



Fonte: <https://lhcb-public.web.cern.ch/en/Detector/Detector-en.html>

Cada um dos sub-detectores do LHCb é especializada em medir uma característica diferente das partículas produzidas na colisão, reunindo informações sobre trajetória, momento e energia das partículas geradas.

A colaboração LHCb conta com mais de 650 membros provenientes de 47 instituições de 14 países, e seu detector, apesar de sensível, tem 21m de comprimento, 10 m de largura, 10 m de altura e 5.600 toneladas.

Além dos quatro detectores citados o LHC possui outros detectores menores, TOTEM, LHCf E MoEDAL.

Desde o átomo de Demócrito até o Modelo Padrão a ciência fez um grande progresso, avanços teóricos, técnicas matemáticas e equipamento de medidas cada vez mais sofisticados a fim de responder à pergunta: do que são feitas todas as coisas? Embora o Modelo Padrão seja atualmente a melhor descrição que existe do mundo subatômico, e descreva com precisão os fenômenos dentro de seu domínio, ele ainda está incompleto, pois existem alguns limites para essa teoria, dentre os quais, podemos citar a teoria da gravitação de Einstein.

Talvez , assim como no final do século XIX, onde acreditava-se que a Física Clássica era capaz de explicar todos os fenômenos físicos, e o que restavam eram poucos problemas a resolver, cuja resolução culminou na Física Quântica, o Modelo Padrão seja apenas uma parte de um quadro maior que inclui a nova Física que transformará radicalmente o nosso modo de pensar e finalmente responda à pergunta: do que são feitas todas as coisas?

6. METODOLOGIA

Neste capítulo apresentamos os procedimentos metodológicos seguidos nesta pesquisa. Sendo este trabalho uma pesquisa quali-quantitativa, por meio da qual será investigada a utilização de uma UEPS para ensinar a estrutura da matéria, visando a aprendizagem significativa dos alunos do terceiro ano do Ensino Médio.

6.1 OS SUJEITOS DA PESQUISA

Realizamos a pesquisa na EEEFM “Ceciliano Abel de Almeida”, localizada no norte do estado do Espírito Santo, na cidade de São Mateus, que apesar de ser uma escola com vinte salas de aula, não conta com uma boa estrutura. As salas de aula não são climatizadas, o laboratório, além de pequeno, só possui bancadas, e embora conte com duas salas de informática, os computadores só podem ser utilizados pelo curso técnico de informática que funciona no horário noturno, sendo que nos outros turnos as salas de informática são utilizadas como sala de multimídia, sendo complexa sua utilização, pois além de precisar deslocar os alunos, conseguir vaga para a sua utilização se torna uma tarefa difícil, pois a escola possui 18 turmas.

Participaram da pesquisa duas turmas de terceira série do turno matutino, num total de sessenta e dois alunos. As turmas escolhidas foram o 3M02 e 3M04, pois as aulas nessas turmas não eram nem as primeiras, nem as últimas, haja vista que as primeiras e últimas aulas são as mais prejudicadas. As primeiras, pois os alunos costumam chegar atrasados e as últimas, pois quando tem reuniões os alunos são liberados.

6.2 TIPO DE PESQUISA

Segundo Marconi e Lakatos (2002), a pesquisa sempre parte de um tipo de problema ou fenômeno e sua finalidade é esclarecer, mediante a aplicação de métodos científicos, estas questões. Pesquisar é sobretudo utilizar métodos específicos para obter respostas sobre um determinado tema.

Lembrando que o foco da nossa pesquisa é o ensino, logo, nosso objetivo é a aprendizagem. "..., o ensino tem sempre como objetivo a aprendizagem e, como tal, perde significado se for tratado isoladamente." (MOREIRA, 2011, P.15).

Segundo Santos e Candeloro (2006), a pesquisa qualitativa permite levantar dados peculiares do universo investigado, levando em conta a ideia de processo, de visão sistêmica e os significados e experiências das pessoas envolvidas no estudo, para analisar de modo indutivo as informações levantadas pelo pesquisador. Nessa perspectiva, podemos dizer que a pesquisa qualitativa é basicamente interpretativa e cabe ao pesquisador analisar os significados dados pelas pessoas ao objeto estudado.

Quanto a pesquisa quantitativa, conforme Moreira (2011) é caracterizada por medições objetivas, análises quantitativas e utilização e controle objetivo de variáveis. Este tipo de abordagem baseia-se, geralmente, no modelo científico.

Nossa pesquisa utiliza métodos inerentes as duas abordagens citadas. A qualitativa, devido ao uso de questões abertas, que propiciam que o sujeito da pesquisa se expresse com seu vocabulário, e de atividades, tais como, mapa conceitual, jogos, que necessitam de interpretação. Quantitativa, pelo uso de questões fechadas, que caracteriza esse tipo de pesquisa. Portanto, atribuímos à nossa pesquisa a abordagem quali-quantitativa.

Souza e Kerbauy (2017), afirmam que não há contradição metodológica entre as abordagens qualitativa e quantitativa, sendo que o uso de uma não exclui o uso da outra. Tendo em vista que alguns fenômenos investigados são formados por vários elementos e aspectos, o uso das duas abordagens pode ser necessário.

6.3 ETAPAS E DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

Uma vez que nossa pesquisa tem com um dos objetivos verificar indícios de aprendizagem significativa, os materiais e atividades utilizados foram pensados de forma a proporcionar a busca por esses indícios.

Para isso foi desenvolvida uma sequência didática fundamentada na Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel segundo a proposta didática elaborada por Marco Antônio Moreira. Essa sequência didática é proposta como sendo uma UEPS, que é definida por Carlos (2016, p. 76) como: "...uma sequência didática na qual os conhecimentos prévios relevantes na aquisição para o novo conhecimento que será apresentado foram levados em consideração na hora de planejar as atividades, tornando assim essa sequência potencialmente significativa".

Antes da elaboração da UEPS foram realizadas algumas ações, sendo a primeira delas a divisão dos grupos em sala de aula. Para isso foi aplicado no início do ano letivo de 2019 um teste diagnóstico (APÊNDICE A) sobre conceitos básicos de física, sendo que esse teste é obrigatório na escola e visa avaliar o nível de cada turma, sendo que todas as turmas do terceiro ano tiveram como resultado, abaixo do básico, os resultados das turmas (3M02 e 3M04) estão no APÊNDICE B. No início de março/2019 foi aplicado um questionário intitulado "conhecendo você" (APÊNDICE C) com o intuito de obter informações sobre as habilidades de cada aluno.

De posse do teste diagnóstico e do questionário, eles foram analisados e a partir dos resultados foram formados cinco grupos em cada turma, de forma que cada grupo ficasse bem heterogêneo.

Para Oliveira, Araujo e Veit (2016) o trabalho em pequenos grupos propicia dinamismo nos debates e a exposição de diferentes percepções, o que pode conduzir a soluções significativamente melhores, favorecendo o ensino e a comunicação entre alunos e professores.

Portanto, o objetivo desses grupos é favorecer o ensino e a comunicação entre alunos e professor.

Salientamos que esses grupos foram mantidos com os mesmos componentes durante o ano de 2019, mesmo antes da aplicação da UEPS e que o número de participantes variou entre 6 e 7. A formação desses grupos tem como objetivo desenvolver a confiança e o comprometimento entre seus membros, além de desenvolver uma das

competências gerais da BNCC, conforme Brasil (2018,p.9): “Agir pessoal e coletivamente com autonomia, responsabilidade, flexibilidade, resiliência e determinação, tomando decisões com base em princípios éticos, democráticos, inclusivos, sustentáveis e solidários.”

A segunda ação foi pedir o consentimento livre e esclarecido aos pais dos alunos (APÊNDICE D).

Finalizadas essas ações, começamos a produção da UEPS, que, como já relatado, são compostas por oito passos que servem como guia para sua elaboração, os quais abordaremos a seguir.

A sequência didática:

Passo 1: Definir o tópico específico a ser abordado. (Moreira, 2011).

Escolhemos para a nossa pesquisa o tópico de Física relacionado com a estrutura da matéria, e a nossa motivação, como já exposto, foi a carência de trabalhos sobre o tema e a participação, em 2014, da Escola de Física em Língua Portuguesa no CERN, na Suíça.

Passo 2: Criar/propor situação(ões) que levem o aluno a externalizar seu conhecimento prévio. (Moreira, 2011).

No início de abril/2019 aplicamos um teste inicial (APÊNDICE E) contendo dez questões sobre a estrutura da matéria, com objetivo de identificar os conhecimentos prévios dos alunos sobre o tema.

No teste cada questão está em uma folha para não influenciar as respostas, e os alunos foram orientados a responder as questões na ordem, não podendo adiantar questões e nem voltar nas questões anteriores.

Terminado o teste os alunos já se mostraram curiosos para saber algumas respostas, porém foi dito que elas só seriam respondidas em aulas futuras.

Em seguida, os dados obtidos foram analisados e resultou na escrita de uma sequência didática baseada em uma UEPS, visando a aprendizagem significativa sobre a estrutura da matéria.

Os passos seguintes relatam como foi a aplicação dessa sequência.

Passo 3: Propor situação-problema, em nível bem introdutório. (Moreira, 2011).

Essa etapa foi realizada em duas aulas e teve como objetivo mostrar que um modelo científico é uma construção humana.

Começamos a aula perguntando aos alunos se os modelos seguidos pela ciência são cem por cento verdadeiros e imutáveis. Nas duas turmas os alunos responderam que não, mas não sabiam dar exemplos.

Então demos prosseguimento a aula através de uma aula expositiva, usando Datashow, explicando o que é um modelo científico, exemplificando através do modelo geocêntrico e heliocêntrico. (Slides das aulas – APÊNDICE F).

Logo em seguida a turma foi dividida em grupos e foi entregue para cada grupo uma “caixa misteriosa” (Figura 41), que nada mais é que uma caixa vedada contendo vários objetos e os alunos têm a missão de elaborar hipóteses para o que tem no interior da caixa, respondendo as questões: quantos objetos tem dentro da caixa e quais são os objetos?

Essa atividade tem como objetivos reconhecer as causas de incerteza na ciência e ilustrar formas não-visuais de se obter informação.

Figura 41– Caixa Misteriosa



Fonte: Produzida pela autora

A turma toda participou com grande empolgação e curiosidade (Figura 42). Logo em seguida, as respostas foram socializadas, o que gerou muitos risos.

Figura 42 Foto dos alunos fazendo a atividade da caixa misteriosa



Fonte: Produzida pela autora

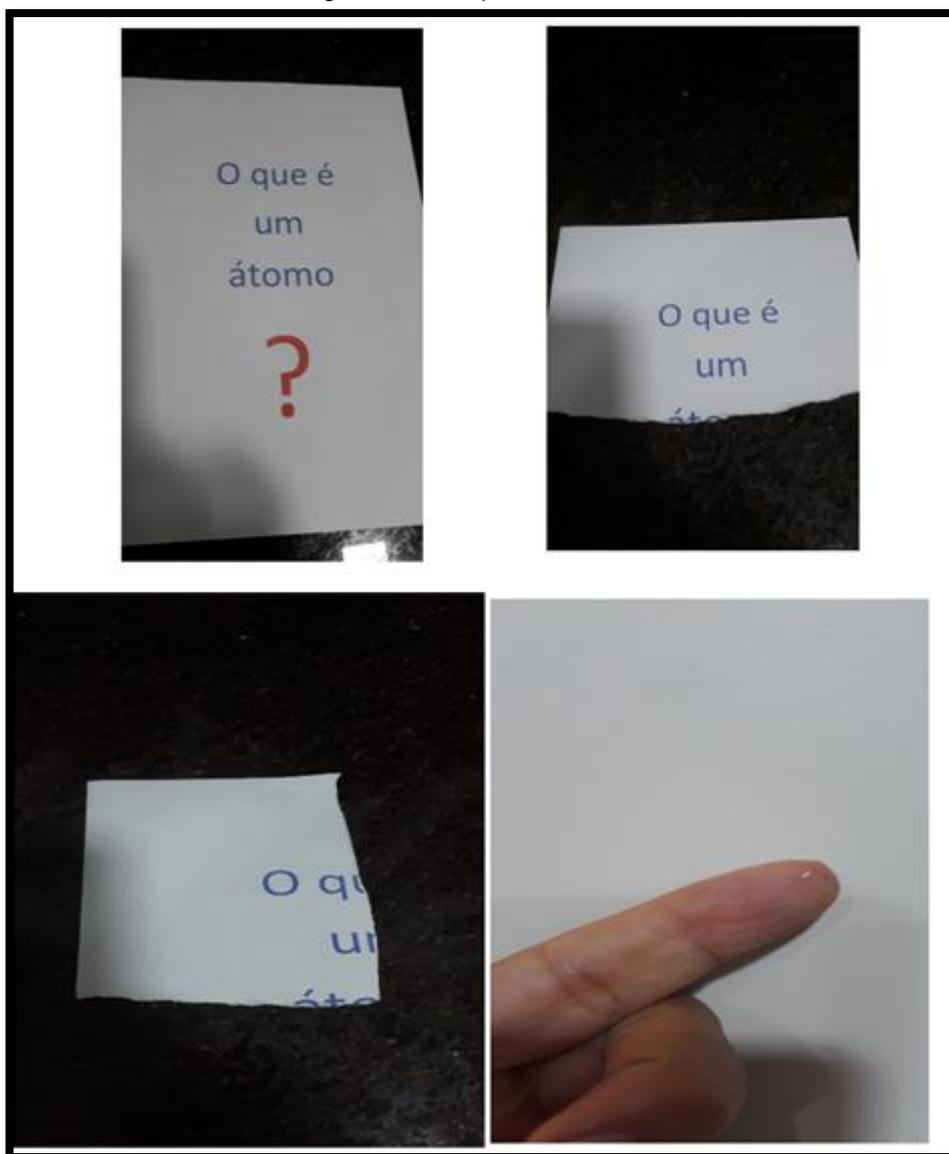
Finalizamos a aula dizendo que da mesma forma que eles elaboraram um modelo para os itens da caixa, os cientistas também constroem modelos para explicar os fenômenos da natureza, porém com a desvantagem de nunca poder “abrir a caixa” e nunca descobrir a realidade, e sim formular hipóteses através da observação e experimentação.

A caixa não foi aberta para os alunos verificarem se seus “modelos” estavam corretos, o que gerou muitos protestos e curiosidade.

A segunda aula iniciou com os alunos perguntando sobre a abertura da “caixa misteriosa” e respondemos que ainda não era o momento de abri-la. Em seguida pedimos para se organizarem em grupos (lembrando que são sempre os mesmos componentes) e começamos a tarefa que tem o objetivo de entender o átomo de Demócrito.

Com os grupos sentados em círculos, entregamos para cada grupo uma folha escrita: o que é um átomo? (Figura 43). Logo depois foi explicado o procedimento a ser adotado: O primeiro aluno divide a folha mais ou menos ao meio e passa uma metade para o segundo aluno e a outra joga fora, os próximos alunos farão o mesmo processo, ou seja, dividirão o pedaço recebido ao meio passando uma metade para o próximo aluno e a outra metade jogando fora. O processo é repetido até os alunos não conseguirem mais dividir o papel. Para essa atividade foi oferecido como prêmio um simples pirulito para cada aluno dos grupos que fosse o último a dividir o papel, o que foi suficiente para gerar muita disputa, tornando a aula muito divertida e participativa, pois cada aluno queria dividir mais e mais o papel. Terminamos a atividade perguntando se daria para dividir o papel indefinidamente, e os alunos responderam prontamente que não e fizeram associação com o átomo, dizendo que o átomo é a menor parte da matéria.

Figura 43 – O que é um átomo?



Fonte: Produzida pela autora

Pedimos os alunos para voltarem para as filas e logo em seguida perguntamos: o átomo é formado por quais partículas? E a resposta obtida foi: prótons, nêutrons e elétrons.

Então perguntamos: Como o átomo sendo o menor constituinte da matéria, pode ser formado por outras partículas?

Após algumas discussões os próprios alunos chegaram à conclusão de que o átomo não é o menor constituinte da matéria. Então perguntamos: Quais são então os menores constituintes da matéria? E eles responderam: Prótons, nêutrons e elétrons.

Como resposta nós dizemos que não, e que eles conheceriam os menores constituintes da matéria nas próximas aulas.

Em seguida foi apresentado, através de aula expositiva, o átomo de Demócrito (Slides das aulas – APÊNDICE F) e no final da aula foi entregue aos alunos o texto: A evolução dos modelos atômicos (APÊNDICE G) para a leitura e foi avisado que na próxima aula fariam um teste sobre o assunto.

Passo 4: Uma vez trabalhadas as situações iniciais, apresentar o conhecimento a ser aprendido/ensinado, levando em conta a diferenciação progressiva. (Moreira, 2011).

Essa etapa foi realizada em duas aulas e teve como objetivo entender a evolução dos modelos atômicos.

Iniciamos a terceira aula com aplicação de um teste com questões conceituais sobre a evolução dos modelos atômicos (APÊNDICE H), sendo que o texto sobre o assunto foi entregue aos alunos na aula passada. Essa atividade foi baseada no método TBL – Aprendizagem Baseada em Equipes, no qual os alunos respondem o teste individualmente (TPi) e depois em equipe (TPe).

Ainda nessa aula, relembramos o átomo de Demócrito, e em seguida foi apresentado, através de aula expositiva (Slides das aulas – APÊNDICE F), os modelos atômicos de Dalton, Thomson e Rutherford, apresentando as limitações de cada modelo e porque um foi sendo substituído pelo outro, mostrando assim a necessidade de pesquisas para a evolução da ciência.

Finalizamos a aula pedindo a cada grupo que na próxima aula trouxessem maquetes dos modelos atômicos estudados.

Iniciamos a quarta aula com uma atividade intitulada “Uma partida de atomobol” (APÊNDICE I), que tem como objetivo a compreensão e visualização das dimensões atômicas por meio de comparação com as medidas cotidianas.

Nessa atividade os alunos deveriam “desenhar” um joguinho de futebol de botão, onde o núcleo do átomo corresponda a uma bolinha de gude (0,01m de raio), e o campo de “atomobol” corresponda ao tamanho do átomo inteiro. Foi fornecido para cada grupo os procedimentos, que continham também as dimensões do átomo e no final foi perguntado: É possível desenhar em escala numa folha de papel tal campo de “atomobol”?

Os alunos ficaram surpresos ao descobrirem que o átomo é um imenso vazio e entenderam o porquê da maioria das partículas α atravessarem a lâmina de ouro na experiência de Rutherford.

Na aula anterior pedimos aos grupos a construção de maquetes sobre os modelos atômicos e foi dito que nessa aula seria sorteado um grupo para apresentar as suas maquetes para turma, com uma breve explicação sobre cada modelo. Assim, demos continuidade a aula com a apresentação e explicação das maquetes dos modelos atômicos (Figura 44). Frisamos que todos os grupos fizeram as maquetes, mas apenas um foi sorteado para apresentar, porém todos acabaram participando acrescentando algo na apresentação.

Figura 44 – Maquetes dos modelos atômicos



Fonte: Produzida pela autora

Na mesma aula realizamos uma experiência bem simples (APÊNDICE J), intitulada “brincando com cargas elétricas” (Figura 45), na qual os alunos tiveram a oportunidade de verificar a existência da carga elétrica, propriedade esta que permitiu Thomson desenvolver seu modelo atômico.

Para essa atividade cada grupo recebeu uma flanela, uma bola de soprar, uma régua e pedacinhos de papel picado e uma folha com os procedimentos. E por mais simples que pareça essa atividade, os alunos ficaram empolgados e todos participaram.

Figura 45 - Brincando com cargas elétricas



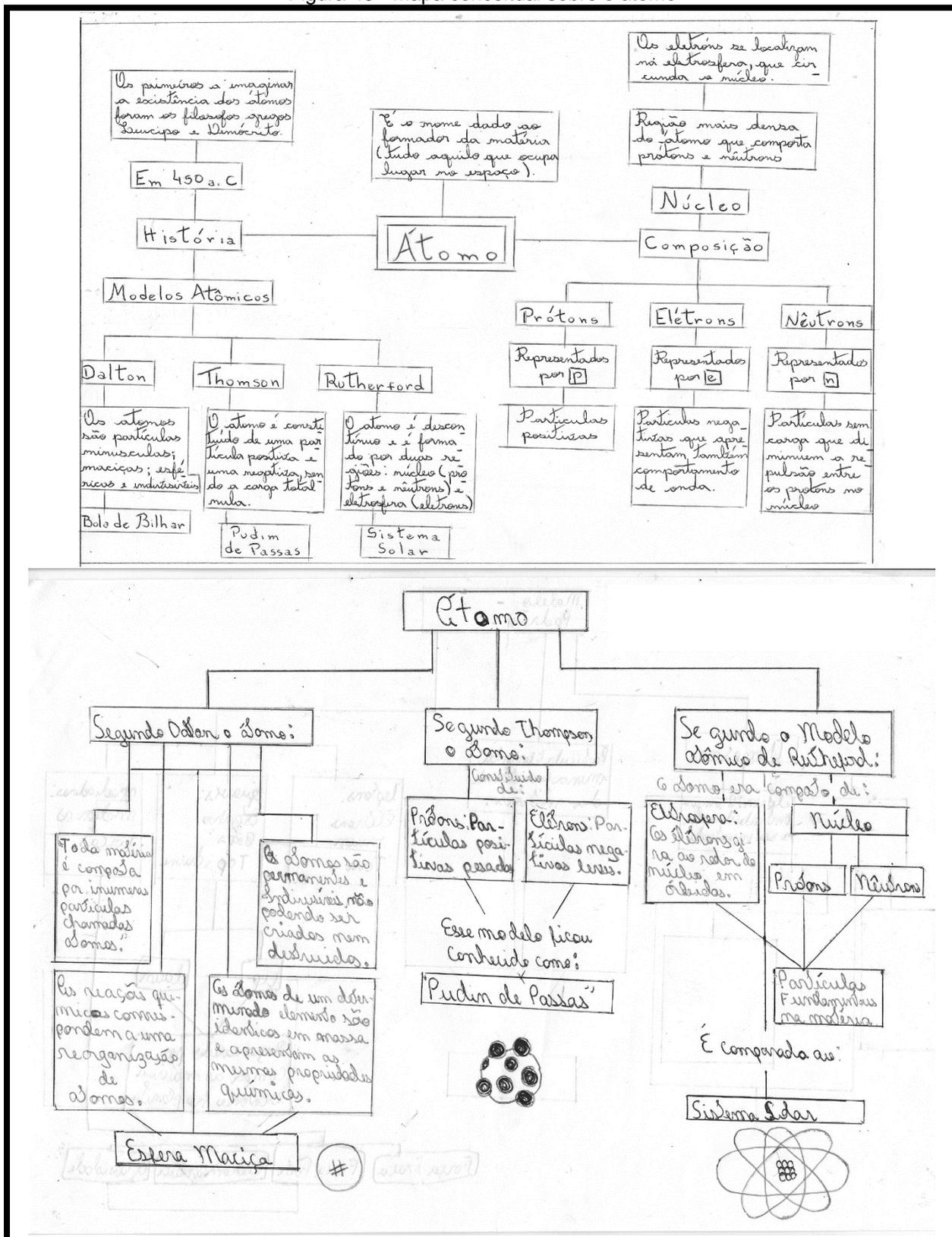
Fonte: Produzido pela autora

Passo 5 – Retornar os aspectos mais gerais, estruturantes do conteúdo da unidade de ensino, em nossa apresentação, porém em nível mais alto de complexidade em relação a primeira apresentação, as situações problemas devem ser propostas em níveis crescentes de complexidade. (Moreira, 2011).

Essa etapa foi realizada em quatro aulas e teve como objetivos aprofundar o conhecimento sobre os modelos atômicos, e aprofundar o conhecimento sobre a estrutura da matéria.

Iniciamos a quinta aula com a construção de um mapa conceitual sobre o átomo (Figura 46).

Figura 46 - Mapa conceitual sobre o átomo



Fonte: Produzida pela autora

Após a análise da foto pelos grupos as respostas foram socializadas, momento este com muitas risadas. Todos acertaram o número de objetos, entretanto, mesmo com a foto os grupos não acertaram todos os elementos da caixa e mais uma vez os alunos ficaram super curiosos para saber o que tem dentro da caixa.

Demos continuidade a aula mostrando parte do filme “Anjos e Demônios” disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=1TOnz71uDak>> acessado no dia 15/ago/2019 e discutimos o que é ciência e o que é ficção. Finalizamos a aula falando sobre o CERN (Slides das aulas – APÊNDICE F) e um pouco sobre a minha viagem (Figura 48) a esse centro de pesquisa.

Figura 48 - Visitando o CERN



Fonte: Produzida pela autora

Na sétima aula explanamos sobre o LHC e seus detectores (Slides das aulas – APÊNDICE F), e mostramos uma simulação das partículas colidindo no LHC – disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Ko_eDMhe5z8> acessado no dia 15/08/2019, narrando o que acontece dentro do acelerador. Finalizamos abrindo, finalmente, a caixa misteriosa, mostrando que para termos certeza do que ela é composta temos que abri-la, já os cientistas para melhorarem o conhecimento sobre

a estrutura da matéria eles “abrem” a partícula no acelerador de partículas, lembrando que eles constroem modelos baseados em teorias e experiências e que esses modelos podem mudar com a evolução da tecnologia e da própria ciência.

Finalizamos a aula entregando para cada aluno um artigo científico intitulado “Sobre o discreto charme das partículas elementares”, disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol6/Num1/charme.pdf>> acessado em 20/08/2019. Os alunos foram orientados a fazer a leitura e resumo do artigo em casa.

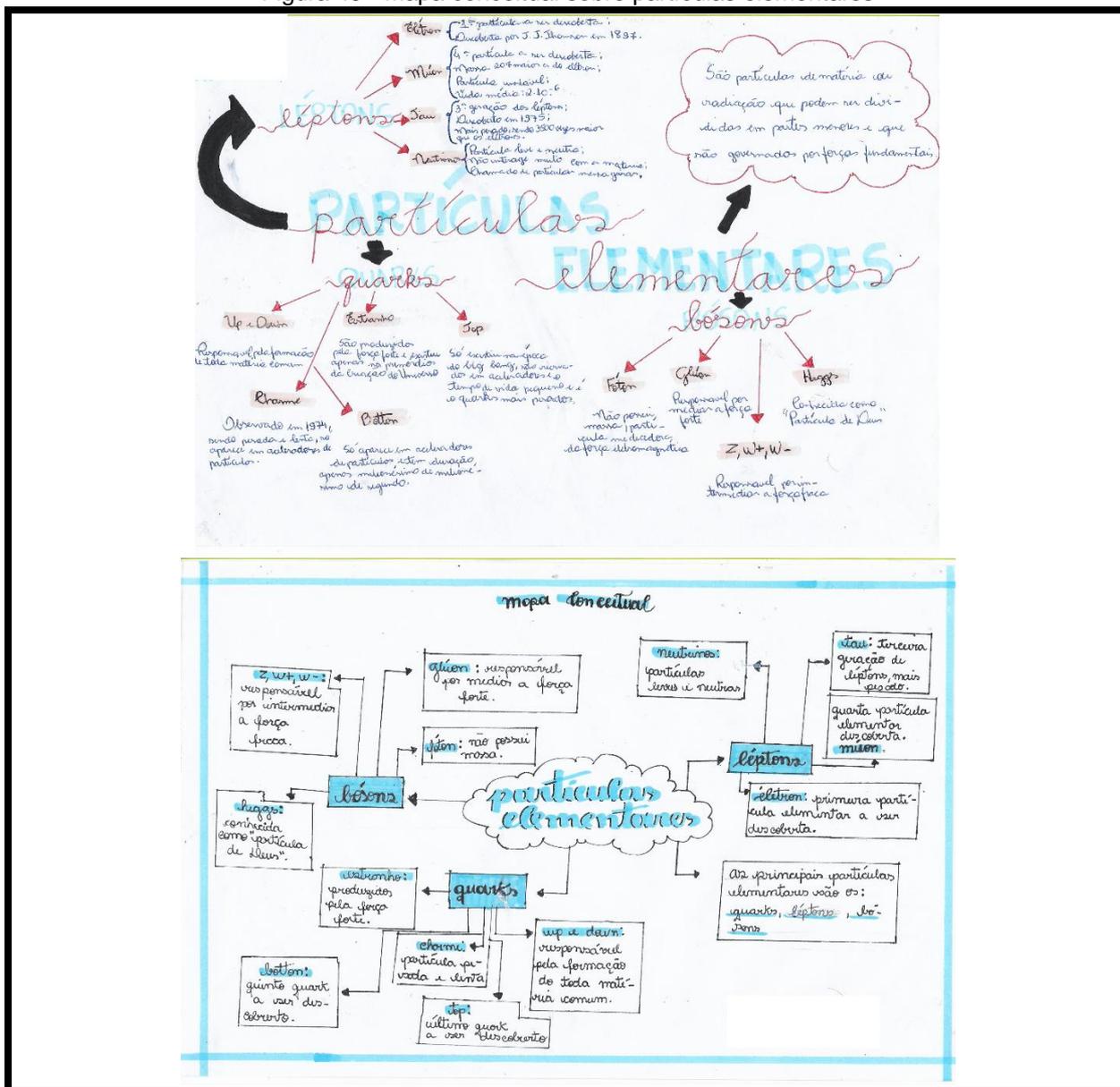
Iniciamos a oitava aula perguntando sobre o que os alunos acharam do texto “sobre o discreto charme das partículas elementares”. Eles relataram que nunca tinham lido um artigo e que acharam a primeira leitura difícil, mas que a partir da segunda leitura conseguiram entender mais. Então demos prosseguimento a aula apresentando o modelo padrão, com suas partículas elementares (Slides das aulas – APÊNDICE F).

Passo 6: Dar prosseguimento ao processo de diferenciação progressiva retomando as características mais relevantes do conteúdo em questão, porém de uma perspectiva integradora, ou seja, buscando a reconciliação integrativa. Moreira (2011).

Essa etapa foi composta por quatro aulas, e teve como objetivo fixar o conhecimento sobre a estrutura da matéria.

Começamos a nona aula construindo um mapa conceitual sobre as partículas elementares (Figura 49).

Figura 49 - Mapa conceitual sobre partículas elementares



Fonte: Produzida pela autora

Finalizamos assistindo o filme: O discreto charme das partículas elementares, produzido pela TV Cultura. Do filme assistimos as partes: I, II e IV, que tem a duração de aproximadamente 30min, os vídeos estão disponíveis no Youtube <<https://www.youtube.com/watch?v=1usRjTXkN14>>, <<https://www.youtube.com/watch?v=ZaqvplyEKfw>> e <<https://www.youtube.com/watch?v=gludWMvptg8>> e foram acessados no dia 20/08/2019.

No final da aula entregamos aos alunos um folder (APÊNDICE L) sobre as partículas elementares, pedindo para que estudassem em casa, pois na próxima aula teria um jogo sobre elas.

Com os alunos já organizados em grupo, começamos a décima aula explicando o funcionamento do jogo: do que são feitas todas as coisas. O jogo consiste em um baralho que tem o objetivo de familiarizar os alunos com os nomes das partículas elementares. No APÊNDICE M tem o modo de jogar e no APÊNDICE N as cartas do baralho.

Nessa aula os alunos podem consultar o folder sobre as partículas elementares para jogar. A aula é finalizada, avisando aos alunos que nas próximas duas aulas terá um campeonato, sendo que em uma aula o campeonato vai ser entre os alunos do grupo, e o vencedor de cada grupo ganhará um ponto extra e passará para a próxima etapa. Nessa etapa os vencedores de cada grupo vão competir entre si, e o vencedor ganhará um ponto extra para todo o seu grupo e uma caixa de bombons.

Então na décima primeira aula começou o campeonato. Na Figura (50) temos fotos desse momento.

Figura 50 - Alunos jogando



Fonte: Produzida pela autora

Na décima segunda aula fomos para o refeitório da escola onde ocorreu o campeonato final (Figura 51). Os alunos que não estavam jogando ficaram na torcida e confeccionaram cartazes (Figura 52) para seu competidor usando o nome das partículas.

Figura 51 - Campeonato final



Fonte: Produzida pela autora

Figura 52 - cartazes usando o nome das partículas



Fonte: produzida pela autora

Passo 7: A avaliação da aprendizagem através da UEPS deve ser feita ao longo de sua implementação, registrando tudo que possa ser considerado evidência de aprendizagem significativa do conteúdo trabalhado. Moreira (2011)

Essa etapa consiste na avaliação, que ocorreu em todo o processo de implementação da UEPS e teve como objetivo verificar indícios de aprendizagem significativa.

A avaliação ocorreu através da análise: da participação dos alunos, dos mapas conceituais, teste TBL e teste final.

O teste final (APÊNDICE O) foi aplicado na décima terceira aula, logo após ao sexto passo, e contou com doze questões sobre a estrutura da matéria.

Ainda nessa aula os alunos responderam uma pesquisa de opinião (APÊNDICE P) sobre a aplicação da UEPS, sendo informados que não precisavam se identificar e que fossem sinceros na avaliação. Nesse momento eles ficaram sozinhos na sala de aula.

O Quadro (11) resume todos os passos da implementação da UEPS.

Quadro 11 - Resumo da implementação da UEPS

PASSOS	NÚMERO DE AULAS	ATIVIDADES
1	-	Escolha do tópico – estrutura da matéria
2	20min	Teste inicial
3	2	Aula 1: Aula expositiva - modelo científico Caixa misteriosa Aula 2: O que é um átomo? Aula expositiva – átomo de Demócrito Entrega do texto: A evolução dos modelos atômicos
4	2	Aula 3: Nessa aula foi utilizado a metodologia TBL Teste individual sobre modelos atômicos Teste coletivo sobre modelos atômicos Aula expositiva – Modelos atômicos de Dalton, Thomson e Rutherford Aula 4: Atividade : Uma partida de atomobol Apresentação e discussão das maquetes dos modelos atômicos Atividade: Brincando com cargas elétrica
5	4	Aula 5: Mapa conceitual sobre os modelos atômicos

		<p>Aula expositiva: A crise na Física Clássica e o Modelo de Bohr Entrega do texto: Vendo sobre a pele – a descoberta do raio x Aula 6: “raio x” da caixa misteriosa Parte do filme “Anjos e demônios” Apresentação sobre o CERN Aula 7: Aula expositiva – LHC e seus detectores Simulação de partículas colidindo no LHC Abertura da caixa misteriosa Entrega do artigo: O discreto charme das partículas elementares Aula 8: Aula expositiva – Modelo Padrão</p>
6	4	<p>Aula 9: Mapa conceitual sobre partículas elementares Filme: O discreto charme das partículas elementares Entrega do folder sobre partículas elementares Aulas 10,11 e 12: Jogo : “Do que são feitas todas as coisas” – com consulta Jogo : “Do que são feitas todas as coisas” – campeonato entre os alunos do grupo Jogo : “Do que são feitas todas as coisas” – campeonato entre os vencedores de cada grupo</p>
7	1	<p>Aula 13: Esse passo foi realizado durante todo o processo, terminando com a aplicação de um teste final e com uma pesquisa de opinião</p>

Fonte: Produzida pela autora

Essa sequência didática foi aplicada em treze aulas, que a princípio parece ser um número excessivo de aulas, mas que se justifica, pois foi abordado grande parte da Física Moderna que se estuda na terceira série do ensino médio. Sendo sua utilização também possível em menos aulas com a exclusão de algumas atividades e pode ainda ser utilizada em escolas de tempo integral como aula eletiva.

Passo 8: A aprendizagem significativa é progressiva, logo o êxito da UEPS só pode ser considerado se a avaliação de desempenho dos alunos, durante todo processo, fornecer evidências de aprendizagem significativa (captação de significados, compreensão, capacidade de explicar, de aplicar o conhecimento para resolver situações-problema). (Moreira, 2011).

Esse passo será realizado no próximo capítulo – Análise e Resultados.

7. ANÁLISE E RESULTADOS

Neste capítulo apresentamos inicialmente os resultados obtidos no teste inicial. Em seguida foram analisados os mapas conceituais, o teste do TBL, o jogo sobre as partículas elementares e por último o teste final e a pesquisa de opinião.

Para coleta de dados dessa pesquisa, utilizamos várias atividades e recursos, tais como, teste inicial, diário de bordo, mapa conceitual, experiências, jogo e teste final.

Vale salientar que todas as aulas, ao longo da intervenção, foram anotadas em um diário de bordo, o qual muito contribuiu para análise desta pesquisa. Como bem relata Barros (2003, p. 18):

... Diários de Bordo nos ajudam a construir uma metodologia de registro de aulas, onde o acaso tem presença reconhecida. Toda aula envolve como que uma viagem, onde o ir é tão importante quanto o chegar. O conjunto de aulas reunidas são como uma viagem de longo curso, uma exploração diante de mares e continentes desconhecidos pois, nesses momentos, alunos e professores dividem um "barco" em primeira viagem onde o conhecimento é novo e estranho.

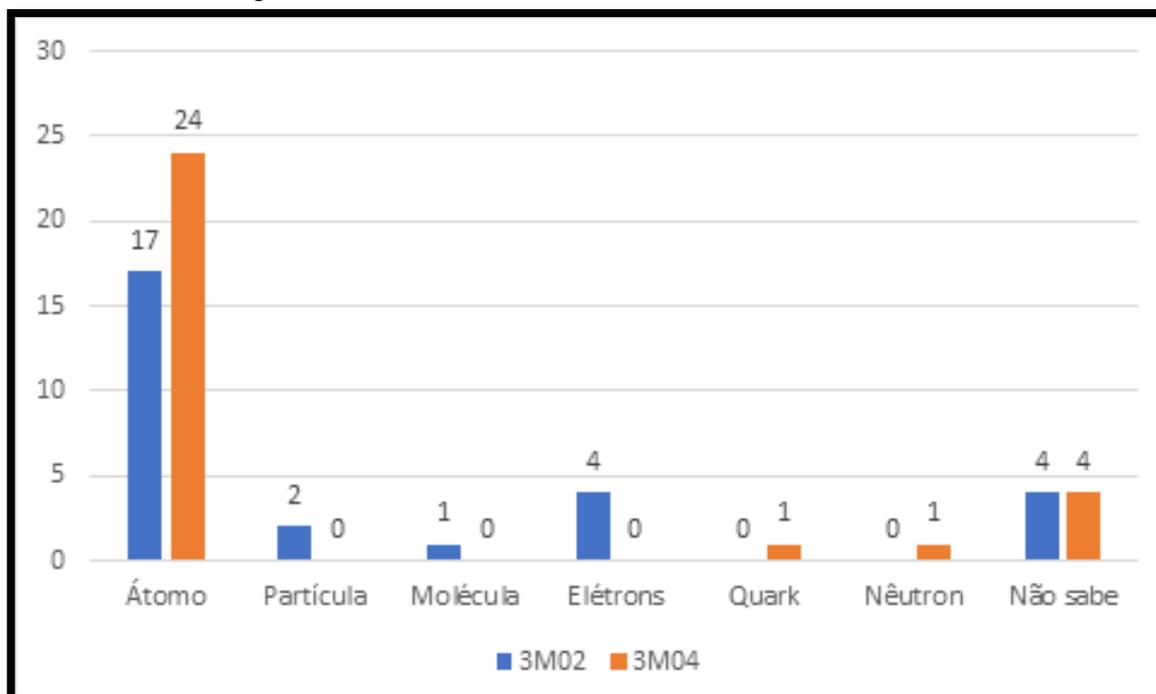
Parte da pesquisa se deu a partir da leitura e releitura do diário de bordo, que foi como folhear um álbum de fotografias de uma viagem inesquecível.

7.1 TESTE INICIAL

A análise do teste inicial tem o objetivo de levantar os conhecimentos prévios dos alunos.

As questões foram pensadas de forma que o aluno pudesse expressar, com suas palavras, seu conhecimento sobre a estrutura da matéria. Participaram desse teste 28 alunos do 3M02 e 30 alunos do 3M04. As Figuras (53-62) apresentam os gráficos das respostas dos alunos.

Figura 53 - Questão 1: Qual o menor constituinte da matéria?



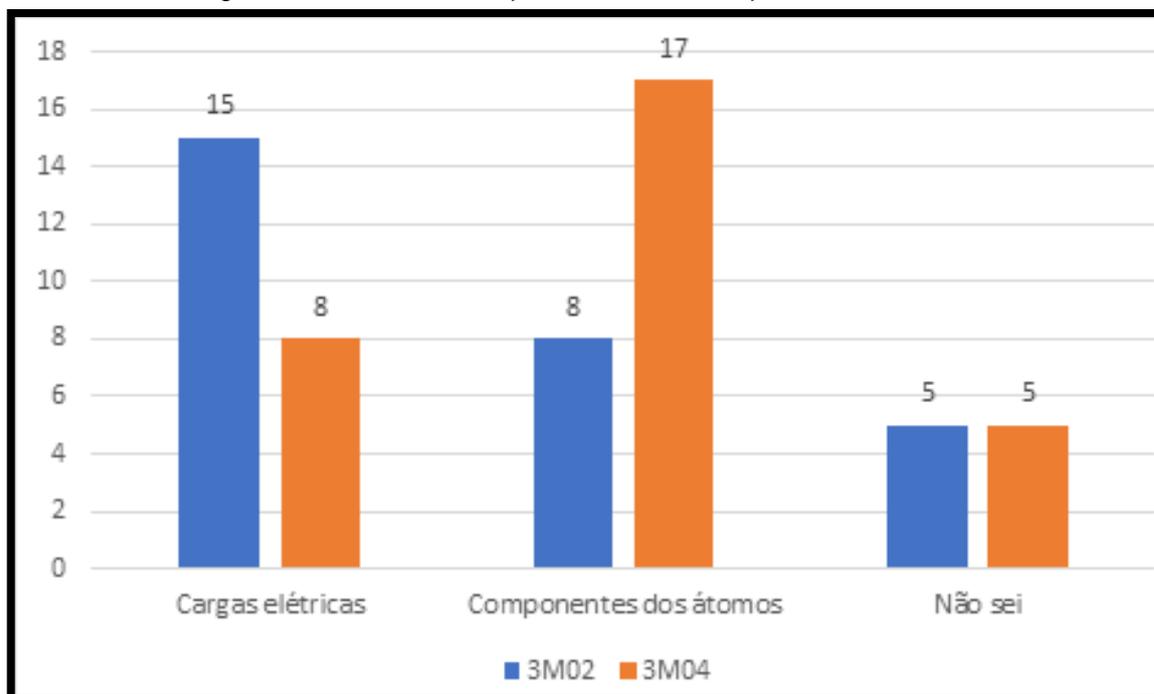
Fonte: Produzida pela autora

Podemos observar que a maioria dos alunos têm a ideia de átomo, mesmo que ela seja errônea, ela serve como conhecimento prévio para o início do estudo da estrutura da matéria.

Com base nesse conhecimento, iniciamos nossa sequência didática com a definição de modelo científico e para isso além de aula expositiva, realizamos a atividade “caixa misteriosa” e a atividade “o que é um átomo”.

Ambas as atividades são realizadas em grupo e envolvem manipulação de objetos, que é um tipo de embelezamento motivacional, que contribui para o envolvimento dos alunos nas atividades e por ser realizada em grupo propicia desenvolver a habilidade de trabalho colaborativo.

Figura 54 - Questão 2: O que são os elétrons, prótons e nêutrons?

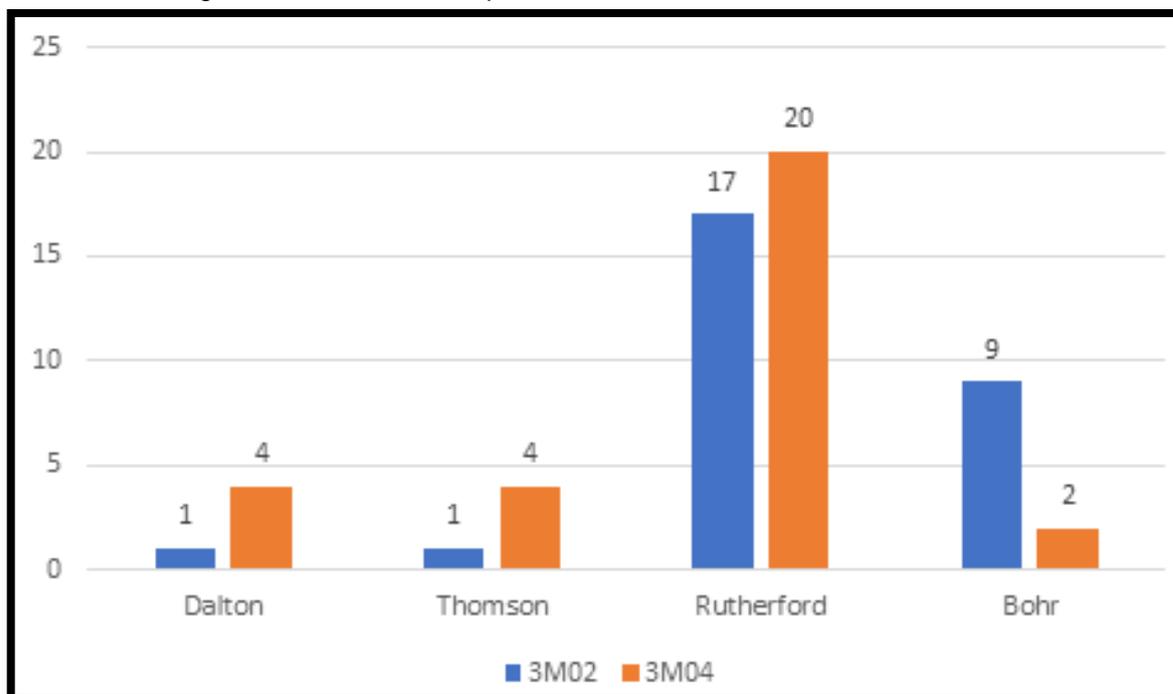


Fonte: Produzida pela autora

Neste gráfico, podemos concluir que os alunos, mesmo achando que o átomo é o menor constituinte da matéria, reconhecem que o átomo é formado por outros componentes. Usamos esse fato para criar um conflito cognitivo: como o átomo sendo a menor parte da matéria, pode ser composto por três partículas?

Lembramos que o conflito cognitivo é uma estratégia que contribui para o envolvimento do aluno nas atividades de aprendizagem.

Figura 55 - Questão 3: Represente, através de um desenho, um átomo.

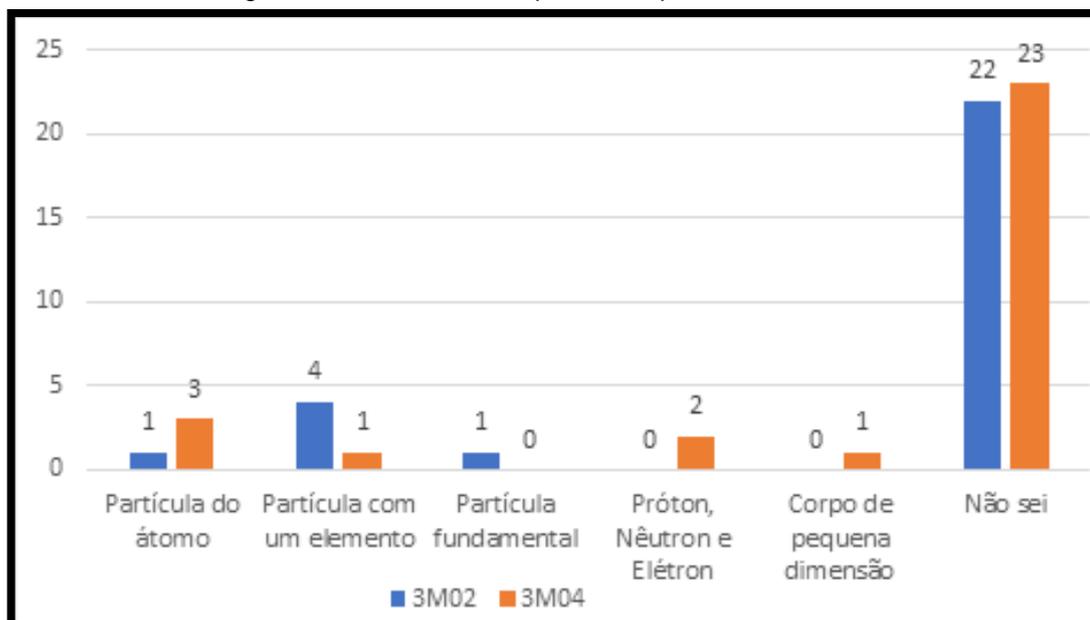


Fonte: Produzida pela autora

A maioria dos alunos que responderam ao teste desenharam o modelo de Rutherford. Conversando com o professor de química, chegamos à conclusão de que esse resultado se deve ao fato desse modelo ser o mais estudado no Ensino Médio e também é relevante dizer que esse modelo é o que mais aparece em livros e internet.

Com base nesse resultado, decidimos construir uma sequência didática que revise os modelos atômicos citados, com a finalidade do aluno perceber que a ciência é uma construção humana e que em diferentes épocas e com as tecnologias disponíveis os cientistas melhoram os modelos para explicar um fenômeno. Entre outras habilidades, essa sequência ajudará a desenvolver a habilidade EM13CNT201 da BNCC.

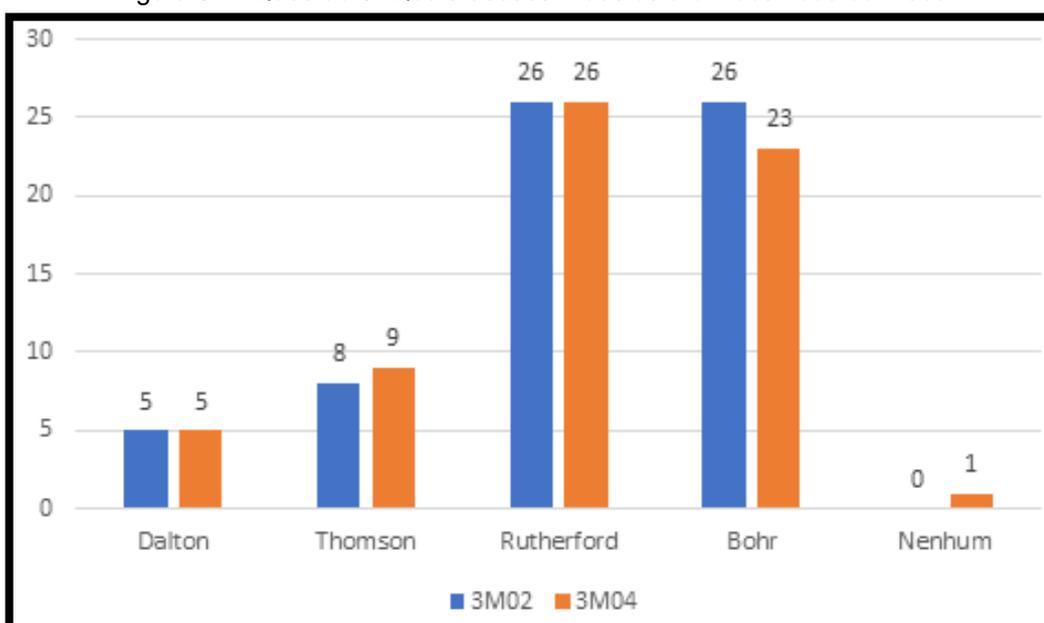
Figura 56 - Questão 4: O que é uma partícula elementar?



Fonte: Produzida pela autora

Podemos notar que a maioria não sabe o que é uma partícula elementar, mas ao chegar nessa parte da sequência os alunos já terão estudado os modelos atômicos, que permitirá, desde que o material a ser aprendido seja incorporável à estrutura cognitiva do aprendiz, que o aluno já tenha subsunçores adequados.

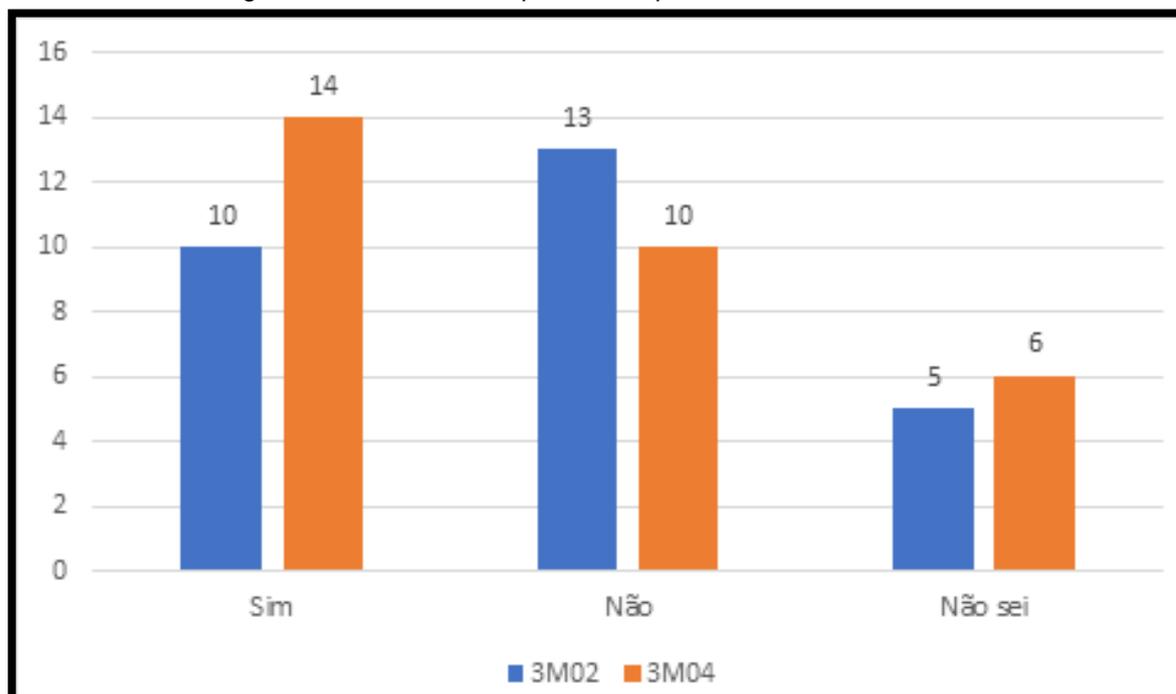
Figura 57 - Questão 5: Quais desses modelos atômicos você conhece?



Fonte: Produzida pela autora

Nessa pergunta foi apresentado a figura de cada modelo, e assim com na questão 3, a maioria marcou o modelo de Rutherford, porém o modelo de Bohr também é bem conhecido, haja vista que é o último modelo que eles estudam na química.

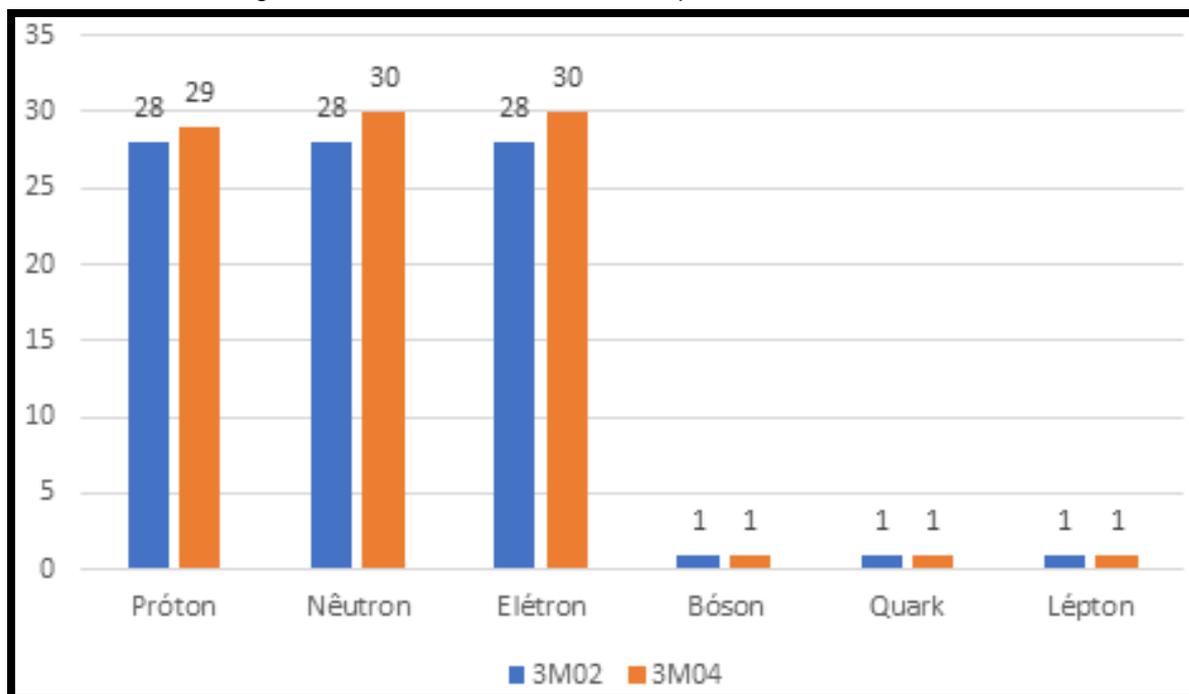
Figura 58 - Questão 6: É possível separar os elétrons do átomo?



Fonte: Produzida pela autora

Para sanar essa dúvida, introduzimos em nossa sequência didática uma experiência bem simples de eletrização como estratégia de ensino, que denominamos “brincando com cargas elétricas”, levamos novamente em conta que a manipulação de objetos é um tipo de embelezamento motivacional, que contribui para o envolvimento dos alunos nas atividades.

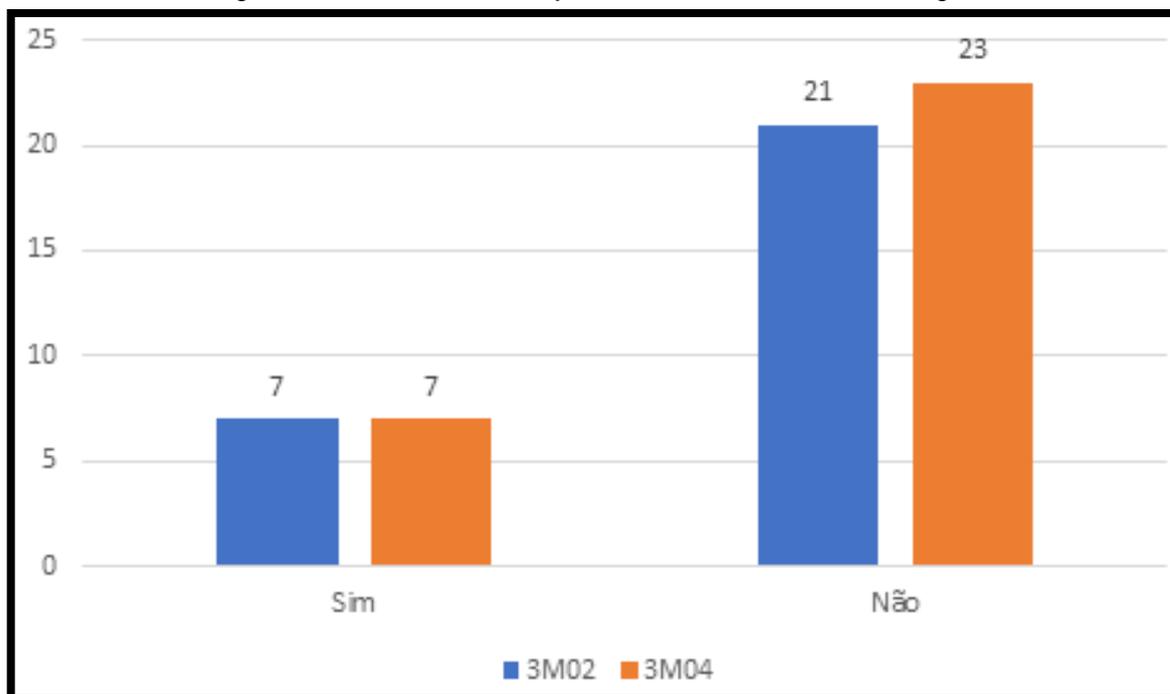
Figura 59 - Questão 7: Quais dessas partículas você conhece?



Fonte: Produzida pela autora

Como esperado, a maioria dos alunos não tem familiaridade com os nomes das partículas elementares, tendo em vista que a maioria dos livros e professores dos anos iniciais apresentam apenas como partículas do átomo, os prótons, nêutrons e elétrons. Usando essas partículas que eles já conhecem como ideia-âncora, apresentaremos as outras partículas realmente elementares.

Figura 60 - Questão 8: Você já viu esse desenho em outro lugar?

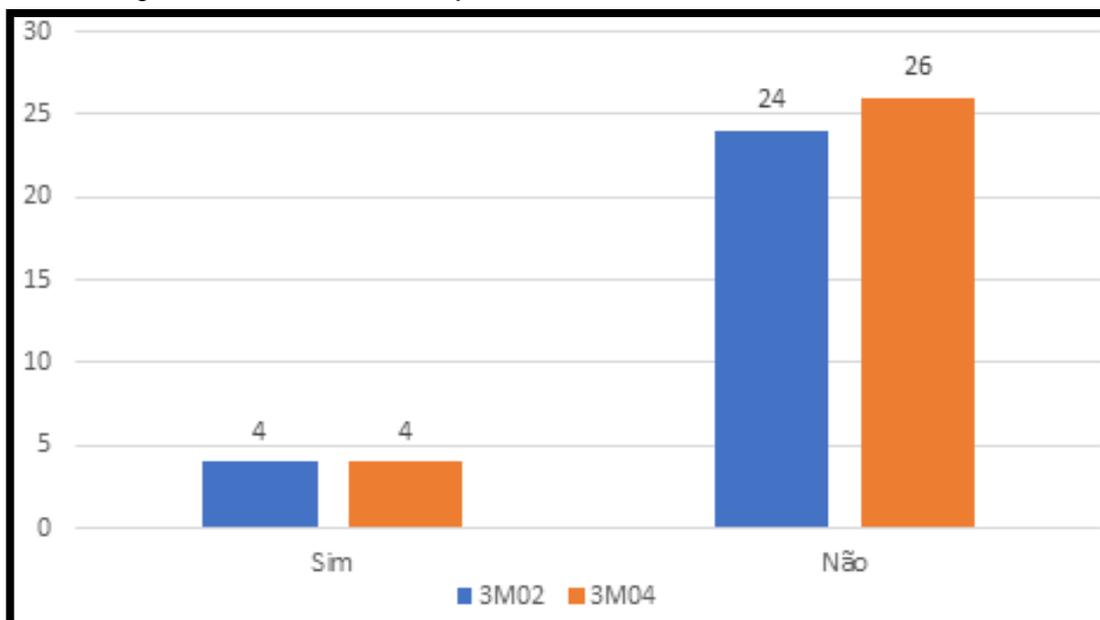


Fonte: Produzida pela autora

O desenho em questão é o Modelo Padrão. Notamos que a maioria nunca viu o desenho e os que disseram que já viram, confundiram com a tabela periódica.

Por se tratar de um modelo, acreditamos que como os alunos já têm em sua estrutura cognitiva a ideia de modelo, esse conhecimento sirva de subsunçor que viabilize a aprendizagem significativa do Modelo Padrão. Neste ponto ressaltamos, mais uma vez, a necessidade de abordar historicamente os modelos atômicos, visando condições de aprendizagem significativa, através da diferenciação progressiva, reconciliação integrativa, organização sequencial e consolidação.

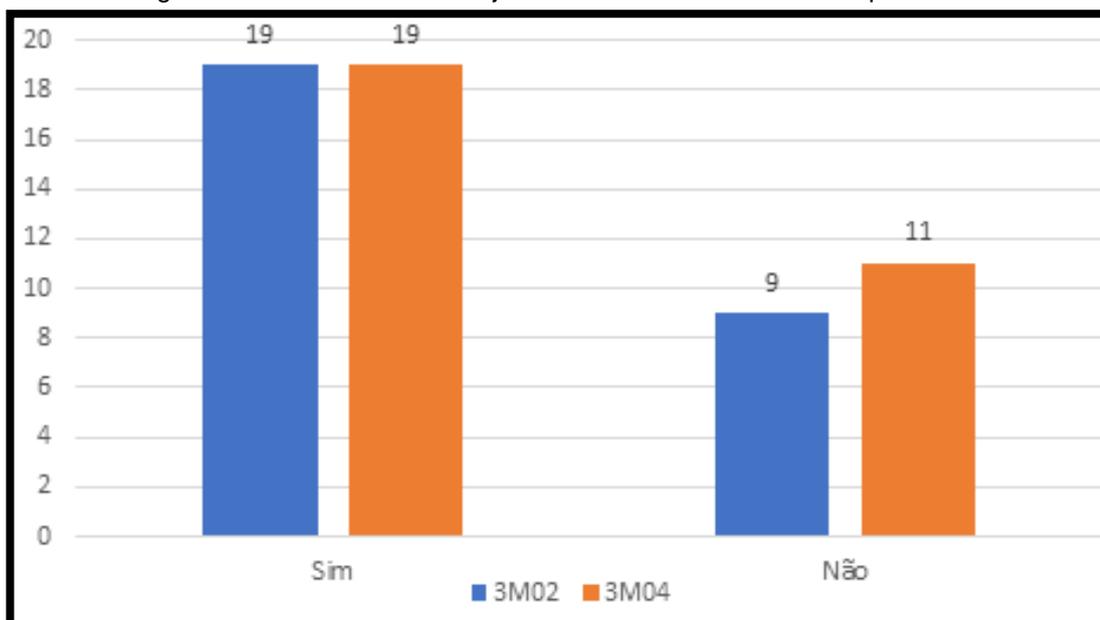
Figura 61 - Questão 9: Você já ouviu falar em Modelo Padrão de Partículas?



Fonte: Produzida pela autora

Essa questão só vem a corroborar com a anterior. Lembrando que os alunos que disseram sim, não sabem o que significa.

Figura 62 - Questão 10: Você já ouviu falar em acelerador de partículas?



Fonte: Produzida pela autora

Notamos, que a maioria dos alunos já ouviu falar sobre acelerador de partículas, o que mostra que nossos alunos estão atentos as mídias. Entretanto, os que já ouviram falar não sabem ao certo para que serve um acelerador de partículas.

Para esse assunto usamos várias estratégias de ensino, tais como: filme, simulação e mapas conceituais, que permitem a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa com os outros métodos usados por cientistas ao formularem seus modelos atômicos.

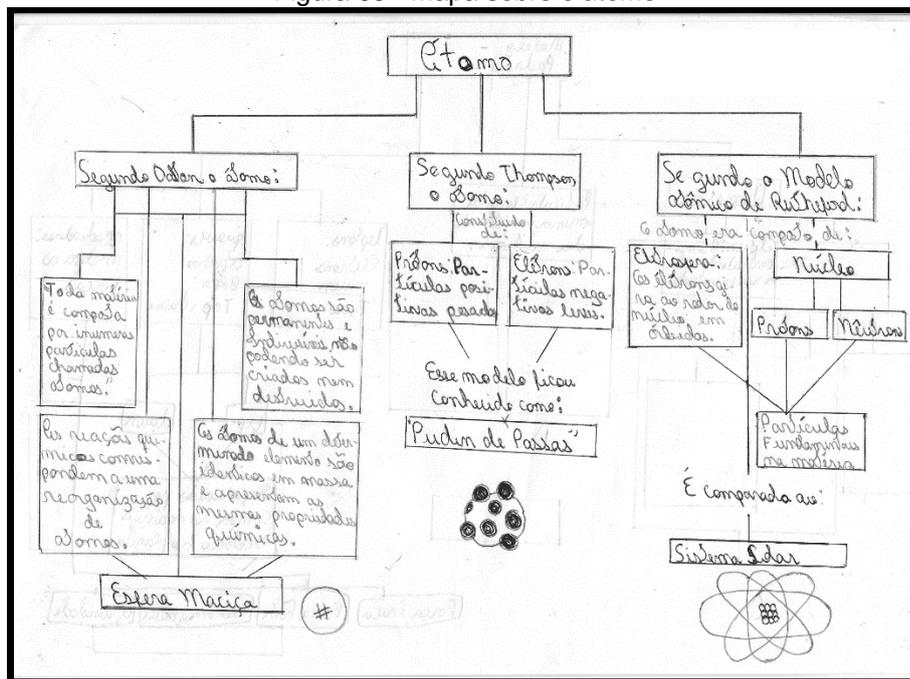
Através da análise do teste inicial elaboramos nossa sequência didática, que denominamos UEPS, construída com os oito passos sugeridos por Moreira (2011) e baseada na Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel na visão de Moreira. Também levamos em consideração a BNCC.

7.2 MAPAS CONCEITUAIS

A análise dos mapas conceituais, foi fundamentada na organização e representação do conhecimento, e como eles não são autoexplicativos, foi solicitado aos grupos a explicação das relações entre os conceitos.

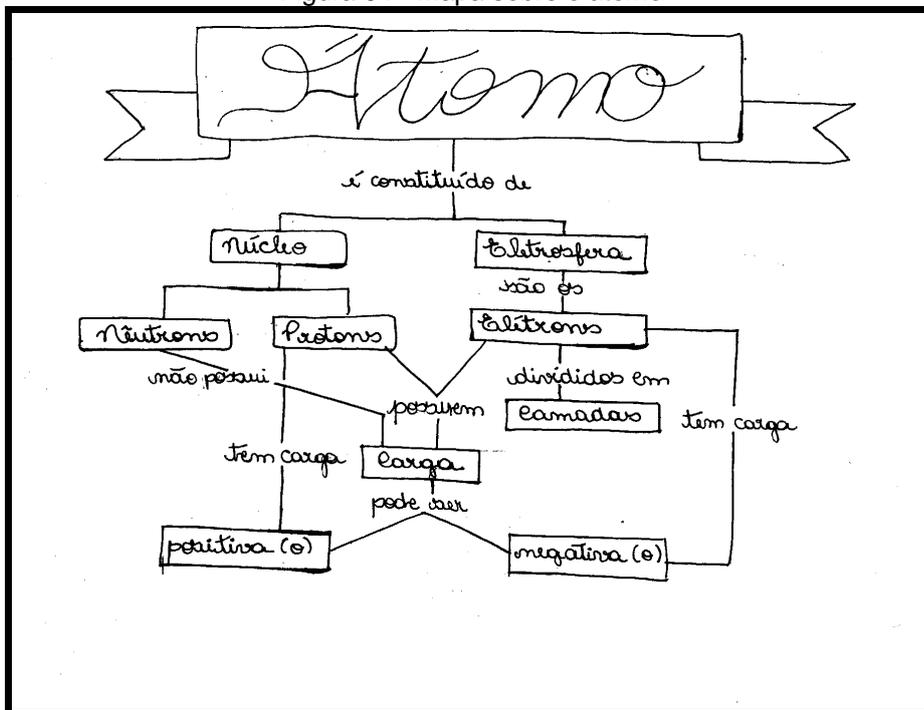
Analisamos primeiramente os mapas que tratam do conhecimento sobre os átomos Figuras (63-66). Em seguida analisamos os mapas conceituais que abordam o conceito de partícula elementar, figuras(67-70).

Figura 63 - Mapa sobre o átomo



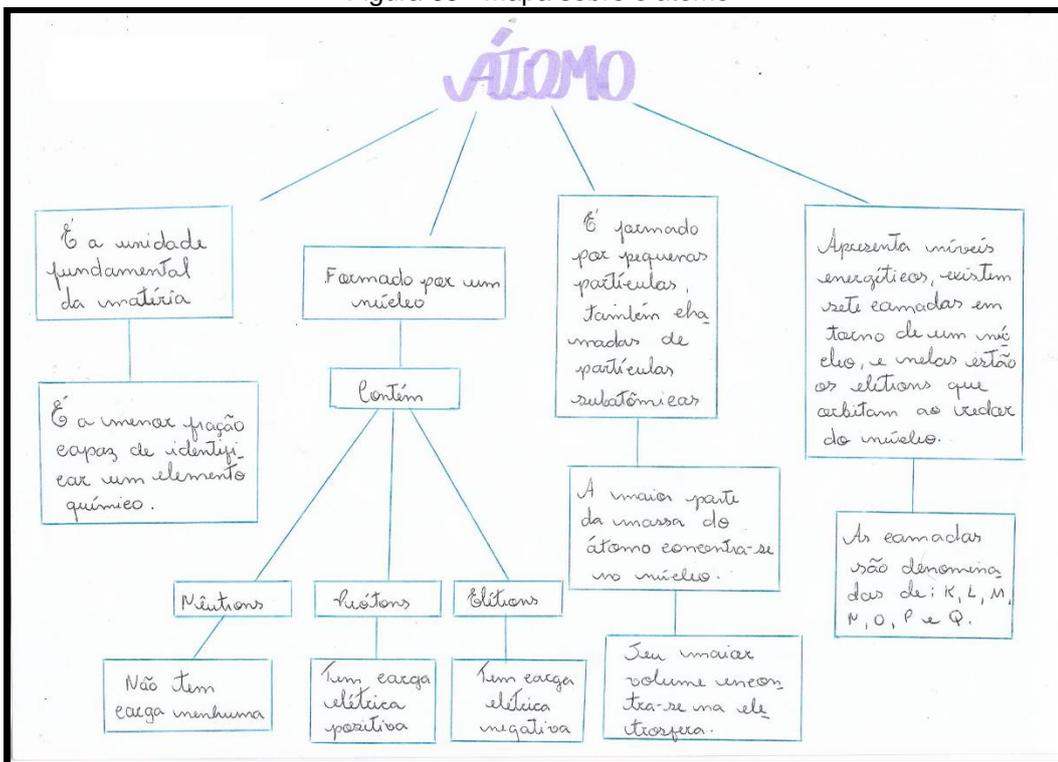
Fonte: Produzida pela autora

Figura 64 - Mapa sobre o átomo



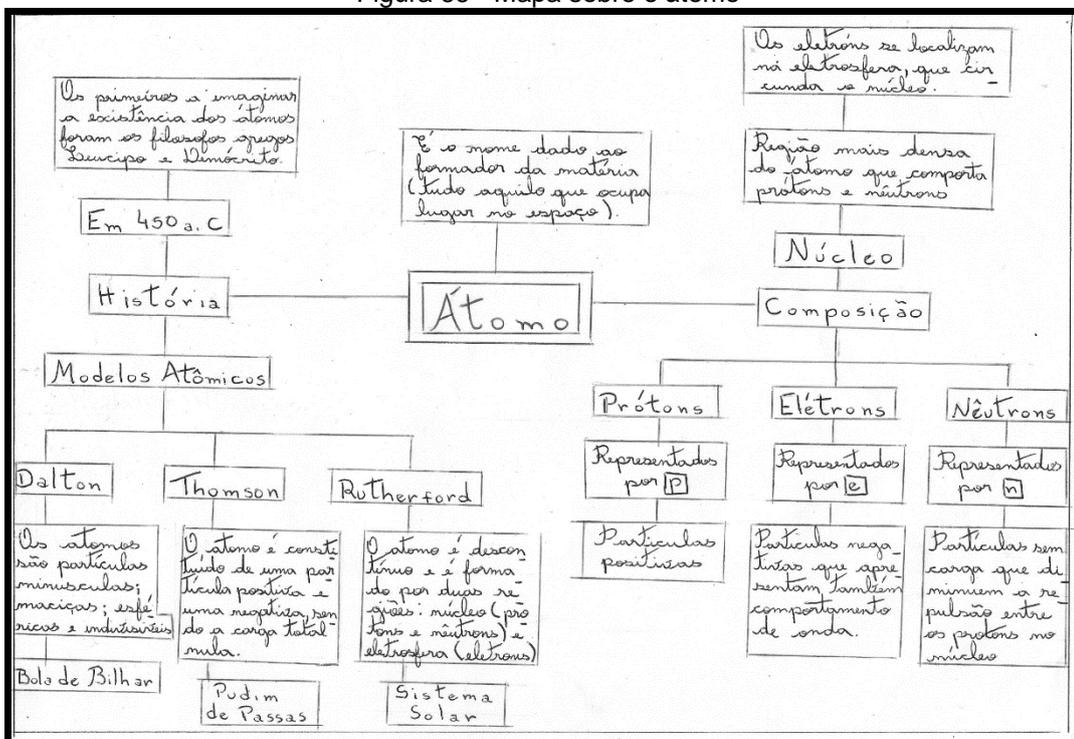
Fonte: Produzida pela autora

Figura 65 - Mapa sobre o átomo



Fonte: Produzida pela autora

Figura 66 - Mapa sobre o átomo



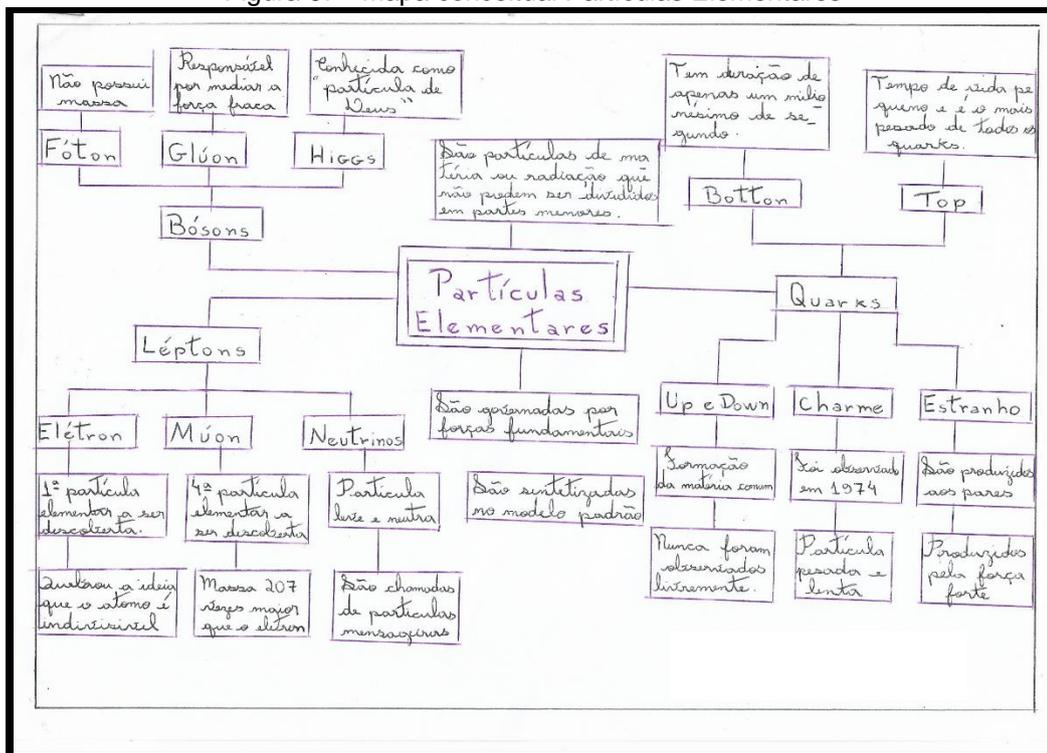
Fonte: Produzida pela autora

Sabemos que não existem mapas conceituais corretos, e sim, alguns mais ricos conceitualmente do que os outros. Na construção dos mapas conceituais pelos grupos notamos que os grupos seguiram duas linhas de raciocínio. Uns representando apenas as partículas dos átomos e outros tratando da evolução dos modelos atômicos.

Podemos notar que os mapas conceituais das Figuras (63 e 66), fizeram a organização dos conceitos através da evolução dos modelos atômicos, sendo que o mapa da figura (66) é mais rico conceitualmente, apesar de que na parte da composição esteja confuso para quem vê o mapa, na explicação do mesmo os alunos mostraram o conhecimento correto, dizendo que o átomo é composto por núcleo e eletrosfera, sendo que no núcleo estão os prótons e os nêutrons e os elétrons estão na eletrosfera.

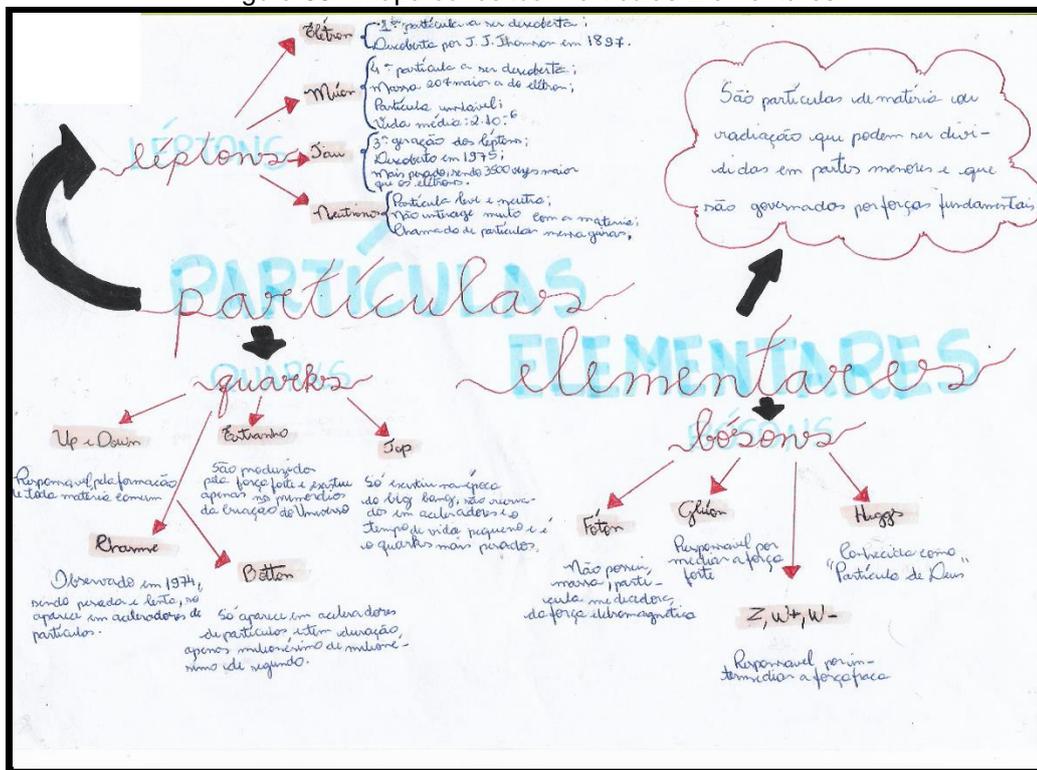
Já os mapas conceituais das Figuras (64 e 65) fizeram a organização dos conceitos através da composição do átomo. Notamos que o mapa da Figura (65) afirma que o átomo é uma partícula fundamental da matéria, mas logo depois é explicado que é a menor fração capaz de identificar um elemento químico, na explicação do mapa perguntamos o que é fundamental, o grupo respondeu que é importante, essencial. Expliquei que na física de partícula a palavra fundamental significa que o elemento é composto apenas por ele mesmo e como o átomo é composto por outras partículas ele não é fundamental.

Figura 67 - Mapa conceitual Partículas Elementares



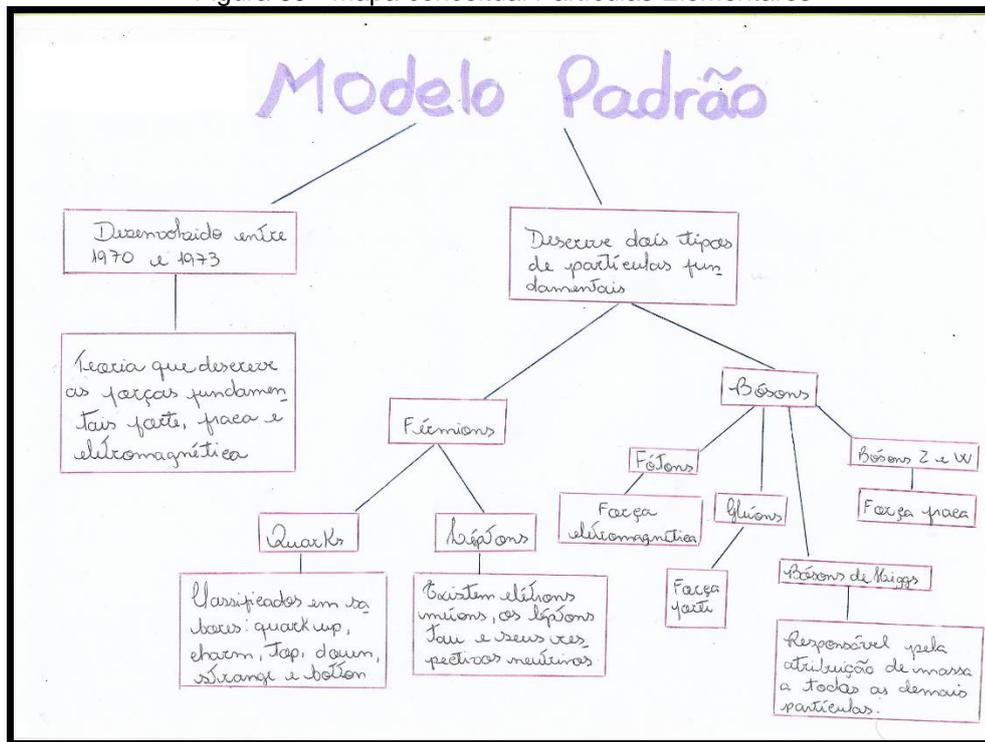
Fonte: Produzida pela autora

Figura 68 - Mapa conceitual Partículas Elementares



Fonte: Produzida pela autora

Figura 69 - Mapa conceitual Partículas Elementares



Fonte: Produzida pela autora

Figura 70 - Mapa conceitual Partículas Elementares



Fonte: Produzida pela autora

Quanto a análise dos mapas conceituais sobre as Partículas Elementares, apesar dos grupos dos mapas das Figuras (68 e 70) não terem usado os diagramas para enfatizar a relação entre os conceitos, eles foram capazes, na explicação do mapa, de evidenciar os significados atribuídos aos conceitos. Foi também argumentado aos grupos se neutrino era apenas um lépton, e todos, apesar de não terem evidenciado nos mapas, sabem que existem três neutrinos (elétron, múon, tau).

Podemos observar através dos mapas conceituais e de sua explicação pelos grupos, a organização e a hierarquização do conhecimento sobre os átomos e partículas elementares

Cabe também ressaltar que durante a construção dos mapas pelos grupos, a professora atuou como mediadora, negociando significados e permitindo que modificações fossem realizadas nos mapas conceituais.

7.3 TESTE TBL

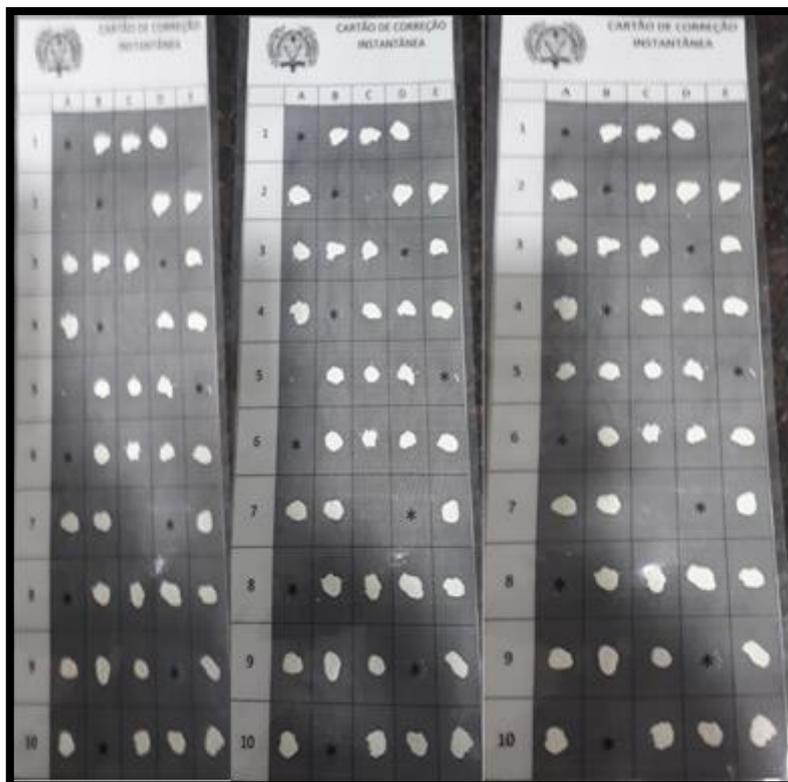
O teste foi composto de 10 questões sobre os modelos atômicos, sendo que cada questão vale 1 (um) ponto, destacamos que essas questões já foram validadas por vestibulares e concursos.

No teste individual, a média de acertos do 3M02 foi de 6,5 (seis vírgula cinco) e no 3M04 foi de 7,2 (sete vírgula dois). No teste coletivo essa nota subiu no terceiro 3M02 para 8,7 (oito vírgula sete) e no 3M04 para 9,2 (nove vírgula dois).

Lembramos que no teste coletivo o aluno raspa a alternativa no cartão de correção instantânea após consenso entre o grupo, caso a resposta esteja certa aparecerá um asterisco, caso esteja errada o grupo debate para marcar outra alternativa, sendo que cada alternativa errada o grupo perde 0,25 da pontuação.

Na Figura (71) temos alguns cartões de respostas instantâneas.

Figura 71 - Cartões de respostas instantâneas (raspadinha)



Fonte: Produzida pela autora

Através do teste TBL os alunos tiveram a oportunidade de debater as questões e chegar a um consenso, o que promoveu a habilidade de trabalho colaborativo e tornou o aluno protagonista do seu aprendizado, além de um aumento significativo nas notas.

7.4 O JOGO

O jogo sobre as partículas elementares foi uma estratégia motivadora para os alunos. Isso pode ser observado durante o jogo, pelos resultados do teste final e relatos feitos na pesquisa de opinião. Na Figura (72) temos alguns desses relatos.

Figura 72 - Relatos dos alunos sobre o jogo

Deixe aqui suas sugestões, críticas ou elogios?	Os temas do jogo deveriam ser melhor explorados ou passado mais vezes, mas apesar disso, o jogo é muito bom.
Deixe aqui suas sugestões, críticas ou elogios?	Gostei dos métodos. Não houve aquela pressão de aprender tudo do dia para a noite, foi um processo gradual e natural. Toda a sequência fez um pouco da nossa lógica principalmente o do baralho onde pra jogar tinha que conhecer as partículas, tudo nos levou ao conhecimento. Gostei dos desenhos.
Deixe aqui suas sugestões, críticas ou elogios?	O jogo com os cartões sobre as partículas elementares me ajudaram muito a lembrar e aprender mais, assim como os outros métodos utilizados.
Deixe aqui suas sugestões, críticas ou elogios?	Aplauso o jogo dos cartimhos, foi muito bom, aulas de cartões tem que ser assim, mais dinâmica.
Deixe aqui suas sugestões, críticas ou elogios?	Eu adorei o uso didático do baralho sobre as partículas elementares, achei bastante dinâmico e deu para compreender muito bem a relação das partículas e suas respectivas características. Parabéns!
Deixe aqui suas sugestões, críticas ou elogios?	Gostei do jogo sobre partículas elementares, pois foi uma forma mais dinâmica de aprender.

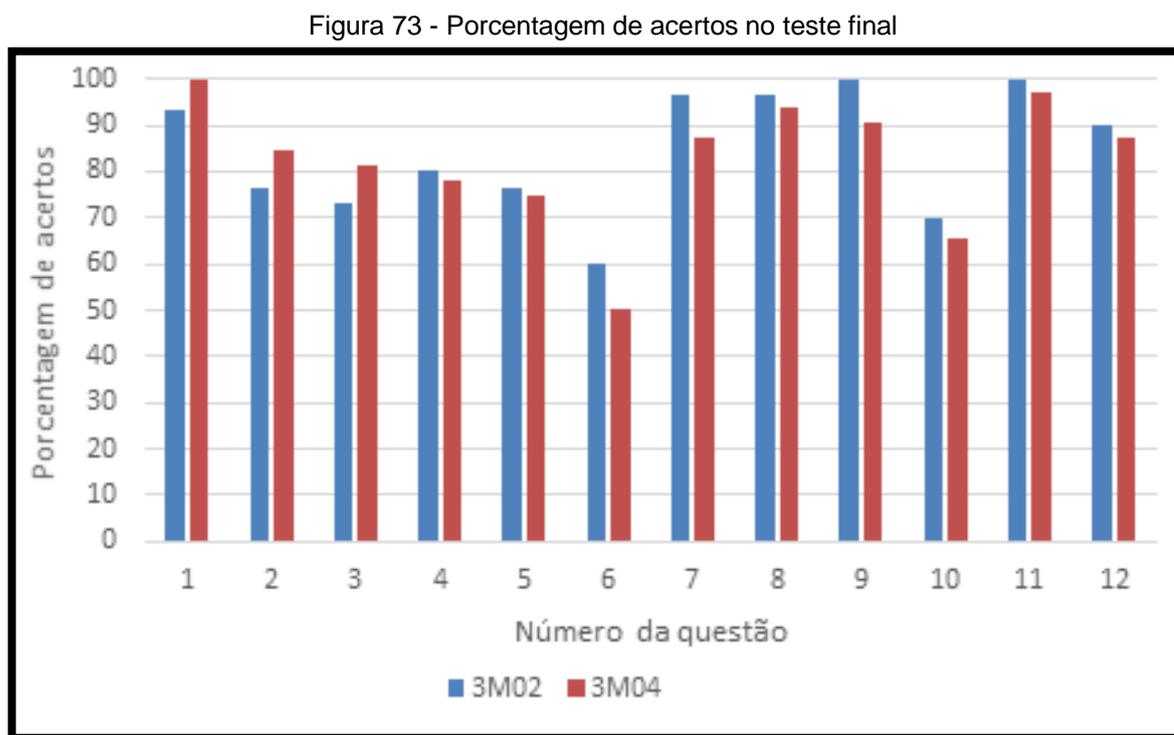
Fonte: Produzida pela autora

7.5 TESTE FINAL

O teste final foi composto por doze questões sobre o modelo padrão e as partículas elementares. Participaram do teste final 30 alunos do 3M02 e 32 alunos do 3M04.

Cada questão valeu 0,5 ponto, totalizando 6 pontos, sendo que a média do 3M02 foi de 5,25 (cinco vírgula vinte cinco) e a do 3M04 foi de 5,20 (cinco vírgula vinte). Vale ressaltar que nenhum aluno tirou nota abaixo da média, ou seja, menor que sessenta por cento.

Na Figura (73) temos um gráfico que mostra a porcentagem de acertos de cada turma.



Fonte: Produzida pela autora

Analisando o gráfico e a média da nota de cada turma podemos observar que os resultados das duas turmas foram similares, sendo que em todas as questões, exceto a questão 6, as porcentagens de acertos foram maiores que 60% (sessenta por cento), dando indícios de aprendizagem. Na questão número 6 os alunos tinham que relacionar a coluna com o nome das partículas com a coluna das forças mediadoras,

ao conversarmos com os alunos sobre a quantidade de erros nesta questão, eles se justificaram dizendo que eram muitos nomes diferentes e que eles acabaram confundindo. Também evidenciamos que consideramos só os alunos que acertaram a coluna inteira, sendo que muitos (Figura 74) acertaram algumas letras da coluna.

Figura 74 - Questão 6 do teste final

Questão 6: Relacione as colunas:

a) Fóton	(A) Bóson responsável por dar massa as partículas
b) Glúon	(C) Bóson responsável por mediar a força fraca
c) W+, W-, z	(B) Bóson responsável por mediar a força eletromagnética
d) Higgs	(D) Bóson responsável por mediar a força forte

Questão 6: Relacione as colunas:

a) Fóton	(A) Bóson responsável por dar massa as partículas
b) Glúon	(C) Bóson responsável por mediar a força fraca
c) W+, W-, z	(D) Bóson responsável por mediar a força eletromagnética
d) Higgs	(B) Bóson responsável por mediar a força forte

Questão 6: Relacione as colunas:

a) Fóton	(d) Bóson responsável por dar massa as partículas
b) Glúon	(e) Bóson responsável por mediar a força fraca
c) W+, W-, z	(a) Bóson responsável por mediar a força eletromagnética
d) Higgs	(b) Bóson responsável por mediar a força forte

Fonte: Produzida pela autora

7.6 PESQUISA DE OPINIÃO

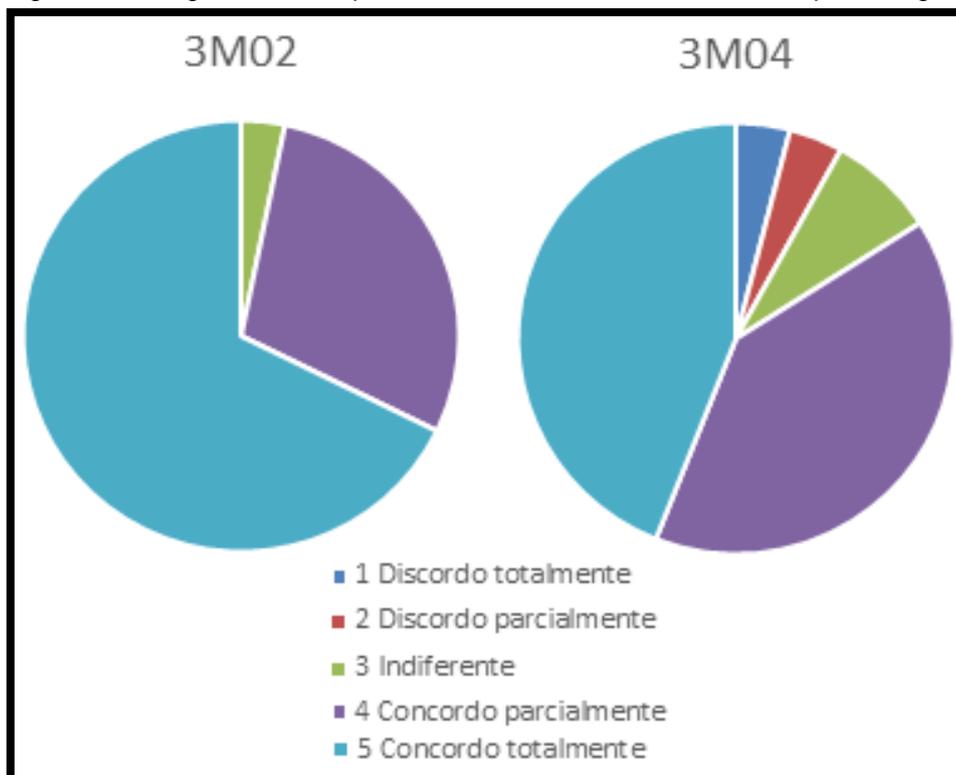
A pesquisa de opinião foi realizada após a conclusão da UEPS e participaram 62 alunos, sendo 30 alunos do 3M02 e 32 alunos do 3M04.

Nessa pesquisa de opinião os alunos deveriam assinalar:

- 1 – Discordo totalmente
- 2 – Discordo parcialmente
- 3 – Indiferente
- 4 – Concordo parcialmente
- 5 – Concordo totalmente

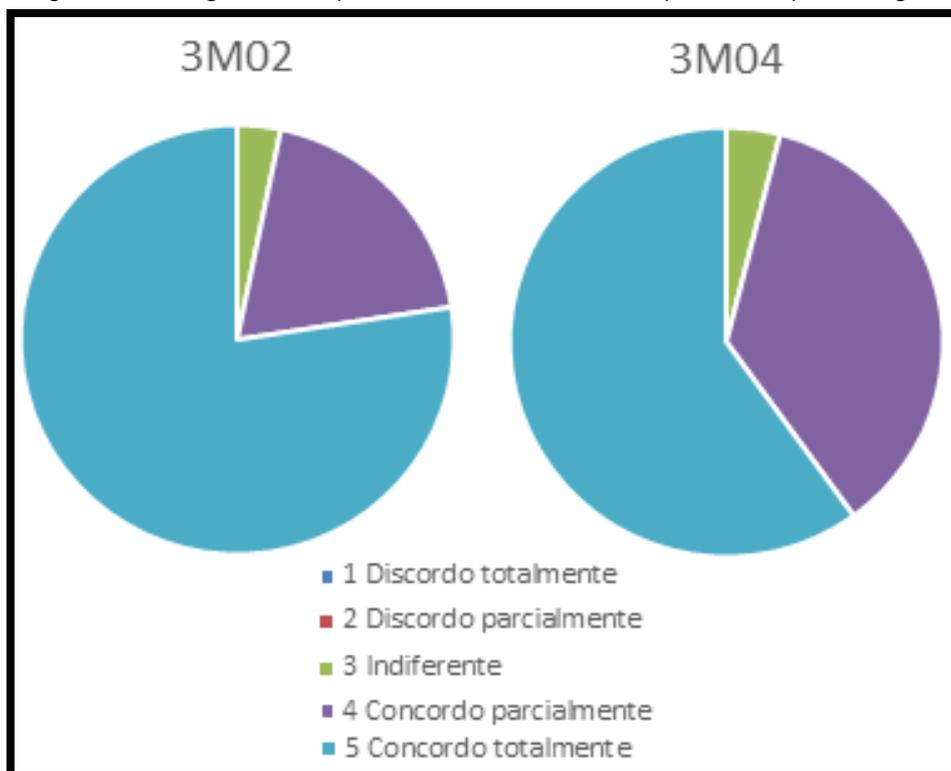
Segue os gráficos com as perguntas e as respostas dos alunos (Figuras 75 – 80).

Figura 75 - Pergunta 1: A sequência didática utilizada facilitou sua aprendizagem?



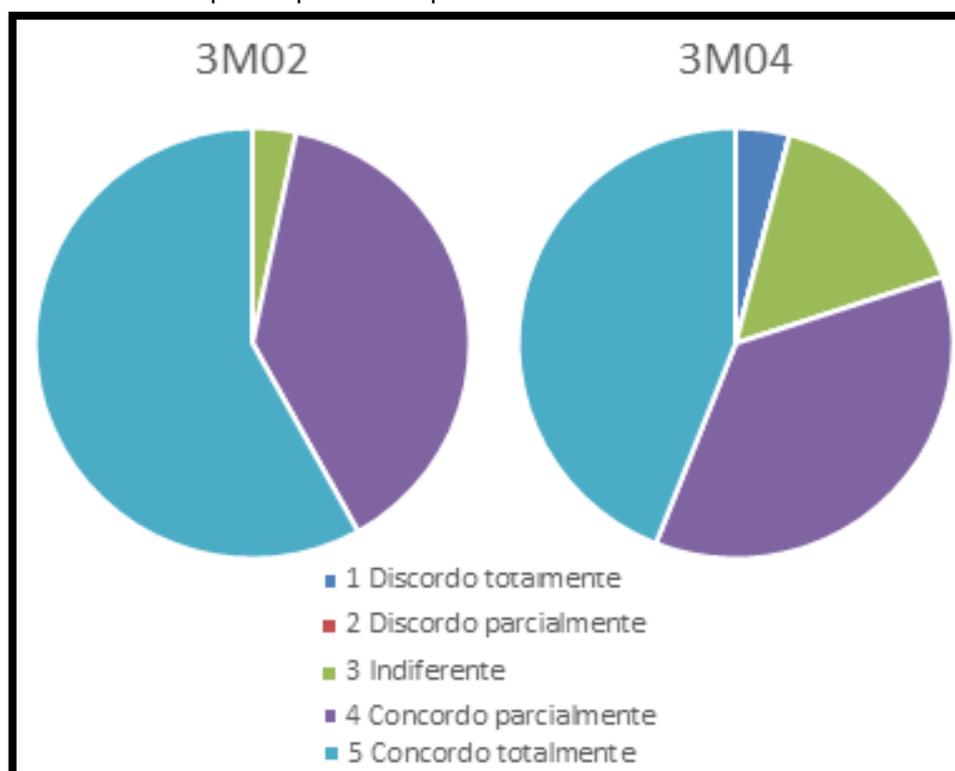
Fonte: Produzida pela autora

Figura 76 - Pergunta 2: O produto utilizado contribuiu para sua aprendizagem?



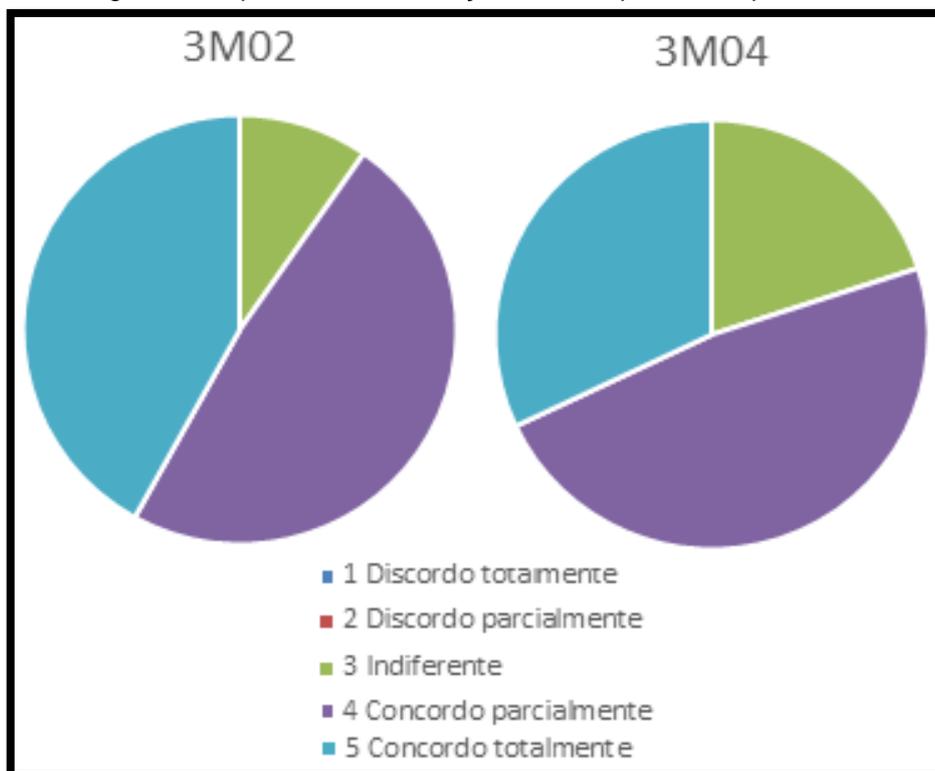
Fonte: Produzida pela autora

Figura 77 - Pergunta 3: A linguagem utilizada e o grau de profundidade da abordagem foram adequados para a compreensão da Física de Partículas?



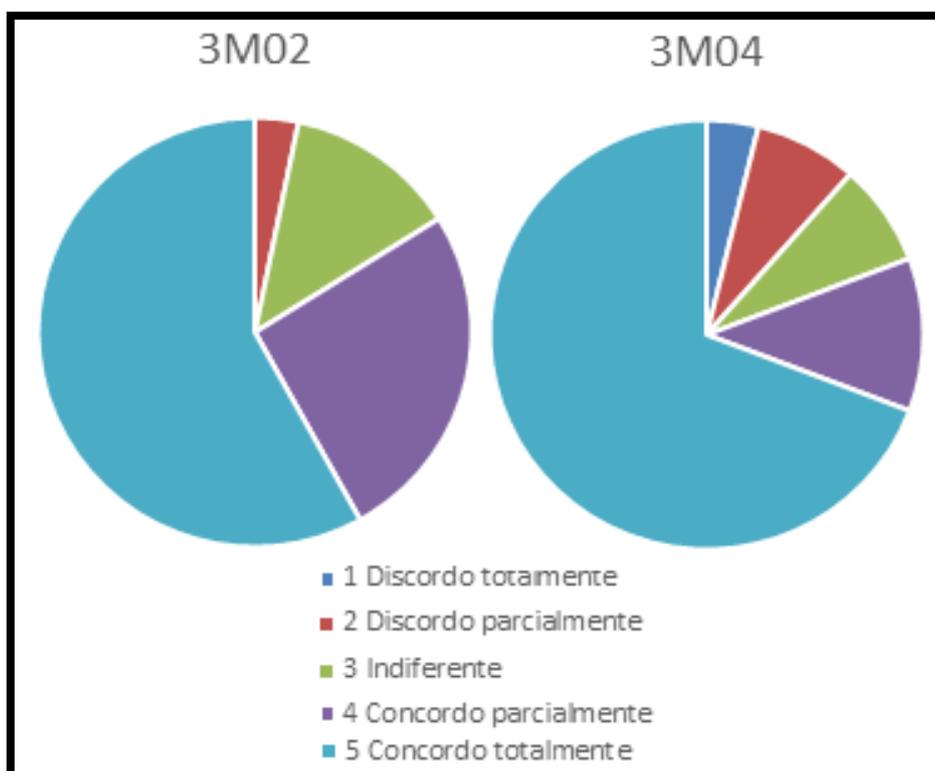
Fonte: Produzida pela autora

Figura 78 - Pergunta 4: O processo de avaliação utilizado permitiu superar suas dificuldades?



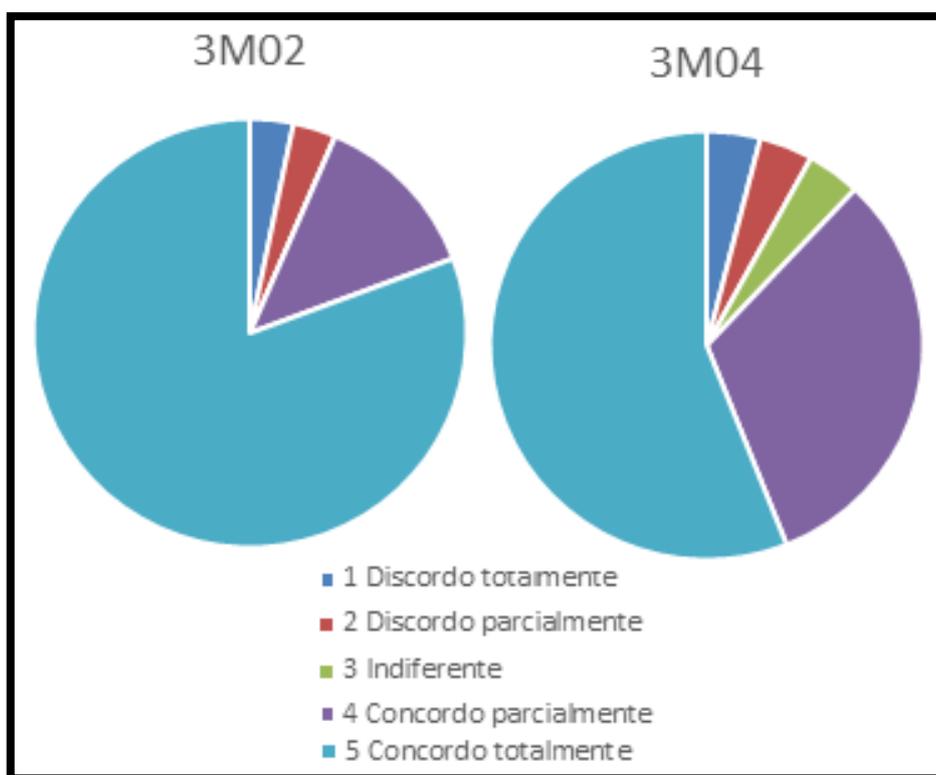
Fonte: Produzida pela autora

Figura 79 – Pergunta 5: Você concorda que temas de Física Moderna devem fazer parte do currículo do ensino médio?



Fonte: Produzida pela autora

Figura 79 - Pergunta 6: Você sugeriria a outro professor de Física o método que foi empregado para que ele utilizasse em suas aulas?



Fonte: Produzida pela autora

Analisando os gráficos podemos observar que o produto educacional foi bem aceito pelos alunos, tendo também facilitado e contribuído para a aprendizagem do conteúdo.

A última questão da pesquisa de opinião pedia para deixar sugestões, críticas e elogios (Figura 81).

Figura 81 – Pesquisa de opinião

<p>Deixe aqui suas sugestões, críticas ou elogios?</p> <p>AS AULAS FORAM BEM MAIS PRODUTIVAS E DINAMICAS, COM OTIMOS PLANEJAMENTOS, FACILITANDO ASSIM A APRENDIZAGEM EM QUESTÃO</p>
<p>Deixe aqui suas sugestões, críticas ou elogios?</p> <p>Ami as coisas feitas em sala de aula, foi dinâmico, principalmente a ultima das cartas. Eu que tenho dificuldade em física, para memorizar, facilitou muito.</p>
<p>Deixe aqui suas sugestões, críticas ou elogios?</p> <p>Eu gostei muito das aulas, facilitou a aprendizagem despertou curiosidades.</p>
<p>Deixe aqui suas sugestões, críticas ou elogios?</p> <p>Interessante o jogo relacionado a materia da prova.</p>
<p>Deixe aqui suas sugestões, críticas ou elogios?</p> <p>Gostei muito do jogo relacionado de unirar, esse jogo facilitou muito para quem tem dificuldade. Acho que todos professores devem adotar uma ideia.</p>
<p>Deixe aqui suas sugestões, críticas ou elogios?</p> <p>Gostei muito da caixa misteriosa gostei muito do jogo de cartas e aprendi muito</p>

Fonte: Produzida pela autora

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como já mencionamos, o objetivo principal do nosso trabalho foi o de encontrar indícios de aprendizagem significativa sobre a estrutura da matéria, através da aplicação de uma sequência didática baseada numa UEPS.

Considerando:

- a utilização de diferentes estratégias de ensino, o que oportunizou diferentes caminhos para que o aluno fosse reformulando e diferenciando os conceitos sobre a estrutura da matéria;
- que a utilização dessas estratégias promoveu, ao despertar a curiosidade, a participação e motivação dos alunos em aprender;
- as análises e resultados das atividades utilizadas na UEPS, em especial a análise qualitativa dos mapas conceituais, jogo e outras atividades, que nos permitiu notar a apropriação, pelos alunos, dos conceitos trabalhados;

pudemos perceber indícios de aprendizagem significativa.

Além disso, durante o desenvolvimento de toda sequência didática, pudemos constatar que as estratégias adotadas promoveram bons resultados, o que nos faz concluir que a sequência utilizada pode ser considerada uma UEPS.

Verificamos, também, que as estratégias utilizadas, permitiram aos alunos se tornarem protagonistas do processo ensino e aprendizagem. O ponto alto da nossa intervenção foi a participação, interação e interesse dos alunos.

Nossa maior dificuldade foi a falta de recursos da escola, pois tivemos que levar nosso próprio Datashow e as cópias dos textos, bem como a produção do baralho sobre as Partículas elementares, foram realizadas com recursos da professora. Salientamos que a escola possui Datashow, mas a maioria está com defeito, quanto as cópias, temos uma cota por trimestre que mal dá para a tiragem das provas.

Por último, mas não menos importante, gostaria de frisar a mudança da minha postura como professora durante o processo. Passei a interagir mais com os alunos e redescobri o prazer de ensinar e aprender.

Esperamos que esse trabalho venha contribuir para o ensino de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A astronomia e os espectros. **if-ufrg**. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/cref/camiladebom/Aulas/Pages/3.html>>. Acesso em: 20 set 2020.

ABDALLA, M. C. B. **BOHR - O arquiteto do átomo**. 2. ed. São Paulo: Odysseus Editora, v. 1, 2006.

ABDALLA, M. C. B. **O discreto charme da partículas elementares**. 2. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2016.

ALICE. **CERN**. Disponível em: <<http://cds.cern.ch/record/2263642>>. Acesso em: 23 set 2020.

ATKINS, P.; JONES, L.; LAVERMAN, L. **PRINCÍPIOS DA QUÍMICA - QUESTIONANDO A VIDA MODERNA E O MEIO AMBIENTE**. 7. ed. Porto Alegre: Bookman, 2018.

ATLAS. **CERN**. Disponível em: <<https://atlas.cern/discover/detector>>. Acesso em: 23 set 2020.

ATLAS. **CERN**. Disponível em: <<https://cds.cern.ch/record/1505342?ln=en>>. Acesso em: 23 set 2020.

ÁTOMO. **Manual da Química**. Disponível em: <<https://www.manualdaquimica.com/quimica-geral/atomo.htm>>. Acesso em: 20 set 2020.

BARROS, A. M. D. **Breves Notas ao Ensino de História da Educação**. Rio de Janeiro: E-papers Serviços Editoriais Ltda, 2003.

BIEHL, L. V. **A ciência ontem, hoje e sempre**. 1. ed. São Paulo: ULBRA, 2003.

BRASIL. LEI Nº 9.394, DE 20 DE DEZEMBRO DE 1996. **Presidência da República**, 20 dez 1996. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9394.htm>. Acesso em: 19 out 2019.

BRASIL. Base Nacional Comum Curricular (BNCC). **MEC**, 2018. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/wp-content/uploads/2018/11/7._Orienta%C3%A7%C3%B5es_aos_Conselhos.pdf>. Acesso em: 14 out 2019.

BZUNECK, J. A.; GUIMARÃES, S. E. D. **Motivação para Aprender**: Aplicações no contexto educativo. 2. ed. Petrópolis: Editora Vozes, 2010.

CARLOS, P. R. D. O. **Produto educacional de mestrado profissicono - Avaliações Externas de Grande Escala: Possíveis contribuições para o Ensino de Física**. Universidade Federal de Juiz de Fora Instituto de Ciências Exatas - Programa de Pós Graduação em Física. Juiz de Fora, p. 127. 2016.

CATÁSTROFE do ultravioleta. **Wikipédia**. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Mec%C3%A2nica_cl%C3%A1ssica>. Acesso em: 20 set 2020.

CERN. **CERN**. Disponível em: <<https://home.cern/>>. Acesso em: 23 set 2020.

CERN - Aerial 1. **Wikimedia**. Disponível em: <<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=22544329>>. Acesso em: 23 set 2020.

CHANG, R. **Química Geral - conceitos essenciais**. 4. ed. Porto Alegre: AMGH, v. 1, 2010.

CHANG, R.; GOLDSBY, K. A. **Química**. 11. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.

CHESMAN, C.; ANDRÉ, C.; MACÊDO AUGUSTO. **Física Moderna**: Experimental e Aplicada. 1. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2004.

CMS. **CERN**. Disponível em: <<https://cms.cern/news/cms-detector-design>>. Acesso em: 23 set 2020.

COELHO, B. O. Aulas de Física. **Aulas de Física Professor Sidney Maia Araújo**, 2013. Disponível em: <<http://sidneymaiaaraujo.blogspot.com/>>. Acesso em: 06 ago. 2020.

EFEITO fotoelétrico. **modelo atômico**. Disponível em: <<http://modeloatomico3.blogspot.com/2011/04/efeito-fotoeletrico.html>>. Acesso em: 20 set 2020.

EISBERG, R.; RESNICK, R. **Física Quântica: Átomos, Sólidos, Núcleos e Partículas**. Rio de Janeiro: Elsevier, 1979.

ESPECTROSCOPIA. **if - ufrg**. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/fis02001/aulas/aula_espec.htm>. Acesso em: 20 set 2020.

ESPÍRITO SANTO (ESTADO). Secretaria Estadual de Educação. **Sedu.es**. Disponível em: <<https://sedu.es.gov.br/curriculo-base-da-rede-estadual>>. Acesso em: 13 out 2020.

EXPERIMENTO Stern-Gerlach. **Física Cuântica**. Disponível em: <http://www.fisicacuantica.es/experimento_stern-gerlach/>.

FATOS e números sobre o LHC. **CERN**. Disponível em: <<https://home.cern/resources/faqs>>. Acesso em: 23 set 2020.

FÍSICA Geral - SLAC. **Phys.org**, 2012. Disponível em: <<https://phys.org/news/2012-09-slac-taus-bottom-quarks-standard.html>>. Acesso em: 21 set 2020.

FÍSICA Quântica. **Filofima**. Disponível em: <<https://www.filofima.com.br/fisica/quantica/5c-hidrogenoides.html>>. Acesso em: 20 set 2020.

FOGAÇA, J. R. V. Modelo Atômico de Thomson. **Manual da Química**. Disponível em: <<https://www.manualdaquimica.com/quimica-geral/modelo-atomico-thomson.htm>>.

Acesso em: 20 set 2020.

GALERIA de imagens do LHC. **CERN**. Disponível em: <<https://home.cern/resources/image/accelerators/lhc-images-gallery>>. Acesso em: 23 set 2020.

GLEISER, M. **A ilha do conhecimento**: Os limites da ciência e a busca por sentido. 1. ed. Rio de Janeiro: Record, 2014.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de física 4 - Ótica e física moderna**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1995.

JJ Thomson Crookes Tube Replica. **Wipédia**. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:JJ_Thomson_Crookes_Tube_Replica.jpg#/media/Ficheiro:JJ_Thomson_Crookes_Tube_Replica.jpg>. Acesso em: 21 set 2020.

LABORATÓRIO Nacional de Luz Síncrotron. **Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM)**. Disponível em: <<https://cnpem.br/portfolio-item/geral-lns/>>. Acesso em: 21 set 2020.

LATTES, C. **Descobrimo a estrutura do universo**. São Paulo: UNESP, 2001.

LAZAROVICI, DUSTIN & OLDOFREDI, ANDREA & ESFELD, M. Observables and unobservables in quantum. **Research Gate**, 2018. Disponível em: <https://www.researchgate.net/figure/Pattern-created-by-a-ray-of-silver-atomes-in-the-original-Stern-Gerlach-experiment-left_fig1_325217695>. Acesso em: 06 Out 2020.

LHCB. **CERN**. Disponível em: <<https://lhcb-public.web.cern.ch/en/Detector/Detector-en.html>>. Acesso em: 23 set 2020.

MARCONI, M. D. A.; LAKATOS, E. M. **Técnicas de pesquisa**: Planejamento e execução de pesquisas, amostragens e técnicas de pesquisas, elaboração, análise e interpretação de dados. 5. ed. São Paulo: Atlas S.A., 2002.

MARQUES, G. D. C. **Física**: Tendências e Perspectivas. São Paulo: Livraria da Física, 2005.

MARQUES, G. D. C. **Do que tudo é feito?** São Paulo: edusp, 2010.

MÉDIO", U. R. B. S. A. Á. D. P.". M. E. C. N. E. http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol5/n1/v5_n1_a2.htm. **if.ufrg**, 2000. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol5/n1/v5_n1_a2.htm>. Acesso em: 02 ago. 2019.

MODELO atômico atual. **Explicatorium**. Disponível em: <<http://www.explicatorium.com/cfq-9/modelo-nuvem-eletronica.html>>. Acesso em: 06 out 2020.

MODELO atômico de Rutherford. **Modelos atômicos**. Disponível em: <<http://modelosatomicos101.blogspot.com/2018/04/modeloatomico-de-rutherford-este-modelo.html>>. Acesso em: 20 set 2020.

MODELO atômico Rutherford-Bohr. **Manual da Química**. Disponível em: <<https://www.manualdaquimica.com/quimica-geral/modelo-atomico-rutherford-bohr.htm>>. Acesso em: 20 set 2020.

MODELO padrão das partículas elementares. **Wikiwand**. Disponível em: <https://www.wikiwand.com/pt/B%C3%B3son_de_calibre>. Acesso em: 21 set 2020.

MORA, J. F. **Dicionário de Filosofia**. 2. ed. São Paulo: Edições Loyola, 2004.

MOREIRA, A. Unidades de Ensino Potencialmente Significativas. **Instituto de Física - UFRGS**, 2011. Disponível em: <<https://www.if.ufrgs.br/~moreira/UEPSport.pdf>>. Acesso em: 20 jul 2019.

MOREIRA, M. A. **Mapas Conceituais e Aprendizagem Significativa**. 1. ed. São Paulo: Centauro, 2010.

MOREIRA, M. A. **Física de Partículas: uma abordagem conceitual & epistemológica**. 1. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2011.

MOREIRA, M. A. O QUE É AFINAL APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA. **Instituto de Física - UFRGS**, 2012. Disponível em: <<http://moreira.if.ufrgs.br/oqueeafinal.pdf>>. Acesso em: 07 jul 2020.

MOREIRA, M. A. **Teorias de Aprendizagem**. 2. ed. São Paulo: E.P.U., 2017.

MOREIRA, M. A. Uma análise crítica do ensino de Física. **USP - Estudos Avançados**, São Paulo, v. 32, n. 94, p. 73-80, dez 2018. ISSN 0103-4014.

NOTÍCIAS. **CERN**. Disponível em: <<https://home.cern/news/news/physics/cern-congratulates-englert-and-higgs-nobel-physics>>. Acesso em: 23 set 2020.

O detector LHCb. **CERN**. Disponível em: <<https://lhcb-public.web.cern.ch/en/Detector/Detector-en.html>>. Acesso em: 23 set 2020.

OLIVEIRA, T. E.; ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. Aprendizagem Baseada em Equipes (Team-Based Learning): um método ativo para o Ensino de Física. **Instituto de Física - UFSC**, 2016. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2016v33n3p962/33015>>. Acesso em: 19 out 2019.

OLIVEIRA, T. S. D.; ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. Aprendizagem Baseada em Equipes (Team- Based Learning): um método ativo para o Ensino de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, São Paulo, v. 33, p. 962-986, dezembro 2016. ISSN 3.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE A ÁREA DE PESQUISA "FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA NO ENSINO

MÉDIO". **if.ufrgs**, 2000. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol5/n1/v5_n1_a2.htm>. Acesso em: 08 jun. 2019.

PERUZZO, J. **Fronteiras da Física: Tópicos de Física Moderna e Contemporânea**. Irani/SC: Jucimar Peruzzo, v. 3, 2012.

PERUZZO, J. **Fundamentos de Energia Nuclear**. 1. ed. Santa Catarina: [s.n.], 2012.

PIRES, A. S. T. **Evolução das ideias da Física**. 1. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2008.

PIRES, A. S. T.; CARVALHO, P. D. **Por dentro do átomo: Física de partículas para leigos**. 1. ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2014.

ROCHA, J. F. M. **Origens e evolução das ideias da física**. 1. ed. Salvador: EDUFBA, v. 1, 2002.

ROSENFELD, R. **O cern da matéria: A aventura científica que levou à descoberta do bóson de Higgs**. São Paulo: Companhia das Letras, 2013.

ROZENBERG, I. M. **Química Geral**. 1. ed. São Paulo: Edgard Blucher, v. 1, 2002.

SANTOS, V. D.; CANDELORO, R. J. **Trabalhos acadêmicos: Uma orientação para a pesquisa e normas técnicas**. Porto alegre: [s.n.], 2006.

SOUZA, R.; KERBAUY, M. T. M. Abordagem quanti-qualitativa: superação da dicotomia quantitativa-qualitativa na pesquisa em educação. **Educação e Filosofia**, Uberlândia, v. 31, p. 21-44, Fev-Abr 2017. ISSN issn 0102-6801.

TEVATRON. **Physics4me**. Disponível em: <<https://physicsforme.com/tag/tevatron/>>. Acesso em: 21 set 2020.

THE CERN accelerator complex. **CERN**. Disponível em: <<http://cds.cern.ch/images/OPEN-PHO-ACCEL-2013-056-1>>. Acesso em: 23 set 2020.

APÊNDICE A – TESTE DIAGNÓSTICO



ESCOLA ESTADUAL DE ENSINO MÉDIO “CECILIANO ABEL DE ALMEIDA”

TESTE DIAGNÓSTICO

Data: ___/___/___	Professor(a): Edna de Souza da Silva		
FÍSICA	Número:	Série: 3	Trimestre: 3
Nome:			

1) Raquel saiu de casa às 13h 45min, caminhando até o curso de inglês que fica a 15 minutos de sua casa, e chegou na hora da aula cuja duração é de uma hora e meia. A que horas terminará a aula de inglês?

- a) 14h b) 14h 30min c) 15h 15min d) 15h 30min e) 15h 45min

2) Fernando trabalha 2 h 20 min todos os dias numa empresa, quantas minutos ele trabalha durante um mês inteiro de 30 dias.

- a) 420 b) 4200 c) 42000 d) 4,20 e) 42,00

3) Muitos remédios são tomados em doses menores que o mg. Um comprimido de certo remédio tem 0,025 mg de uma certa substância. Com 1 kg desta substância, quantos comprimidos podem ser feitos?

- a) menos de um b) 40 c) 40.000 d) 40.000.000

4) Fui colocar gasolina no meu carro, que estava com o tanque pela metade. Coloquei 35 litros e enchi o tanque. Qual é a capacidade do tanque em m³?

- a) 0,07 m³ b) 17,5 m³ c) 70 m³ d) 17.500 m³

5) Um programa de televisão começou às 13 horas, 15 minutos e 20 segundos, e terminou às 15 horas, 5 minutos e 40 segundos. Quanto tempo este programa durou, em segundos?

- a) 6620 s b) 6680 s c) 6740 s d) 10220 s

6) Preciso colocar arame farpado em volta de um terreno retangular que mede 0,2 km de largura e 0,3 km de comprimento. Quantos metros de arame farpado devo usar?

- a) 500 m b) 600 m c) 1.000 m d) 60.000 m

7) A atleta brasileira Fabiana Murer alcançou a marca de 4,60 m no salto com vara, nos Jogos Pan-americanos realizados no Rio de Janeiro em 2007. Sua melhor marca é de 4,80 m, recorde sul-americano na categoria. Qual é a diferença, em centímetro, entre essas duas marcas?

- a) 20. b) 0,2. c) 2. d) 200.

8) Um passo de Pedro equivale a 0,5 m. Para dar uma volta em torno do quarteirão, ele contou 420 passos. Quantos metros tem o contorno desse quarteirão?

- a) 840. b) 84. c) 2100. d) 210

9) Comprei 12 m de tecido por R\$ 30,00. Quanto custa 80 cm do mesmo tecido?

- a) R\$ 0,20. b) R\$ 2,50. c) R\$ 2,00. d) R\$ 0,25

10) Um adulto humano saudável abriga cerca de 100 bilhões de bactérias, somente em seu trato digestivo. Esse número de bactérias pode ser escrito como:

- a) 10^9 b) 10^{10} c) 10^{11} d) 10^{12} e) 10^{13}

APÊNDICE B – RESULTADO DO TESTE DIAGNÓSTICO

3 M02

QUANTITATIVO DE ALUNOS POR PROFICIÊNCIA		
LEGENDA		
AB	ABAIXO DO BÁSICO (0 a 59% acertos)	22
B	BÁSICO (60% a 69% acertos)	3
P	PROFICIENTE (70% a 89% acertos)	5
A	AVANÇADO (90% a 100% acertos)	0

3M04

QUANTITATIVO DE ALUNOS POR PROFICIÊNCIA		
LEGENDA		
AB	ABAIXO DO BÁSICO (0 a 59% acertos)	20
B	BÁSICO (60% a 69% acertos)	5
P	PROFICIENTE (70% a 89% acertos)	6
A	AVANÇADO (90% a 100% acertos)	1

APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO CONHECENDO VOCÊ



ESCOLA ESTADUAL DE ENSINO MÉDIO “CECILIANO ABEL DE ALMEIDA”

Conhecendo você!

Nome completo: _____

Idade: _____ Sexo: () masculino () feminino Turma: _____

1. Você concluiu algum curso técnico ou outro curso? Se sim, qual(is)?

2. Você possui experiência profissional no mercado de trabalho? Especifique.

3. Você gosta de trabalhar em grupos em sala de aula?
() sim, muito. () sim, pouco.

() não.
4. Quais os aspectos que você julga fundamentais para que o trabalho em grupo se desenvolva bem?

5. Você participa de grupos de estudos? Se sim, com que frequência?
Descrever brevemente alguma experiência que tenha tido.

6. Você é parente, amigo(a) de longa data, namorado(a) ou similar de alguém nesta turma?

7. Com que frequência você costuma estudar na semana?
() 1 dia () 2 dias
() 3 dias () 4 dias
() 5 dias () todos os dias
() apenas antes das provas.

8. Tem algo sobre você que é, provavelmente, um diferencial perante os demais colegas? (por exemplo, uma experiência diferente, um hobby, alguma habilidade ou interesse)
9. Você julga que possui alguma(s) dificuldade(s) para aprender Física? Se sim, qual(is)?
10. Você tem mais afinidade em que área da Física? (Física teórica, Física experimental, cálculos.)
11. O que você pretende fazer depois de terminar o ensino médio?
12. Este espaço está livre para que escreva qualquer coisa que ache necessário sobre você
(opcional)

APÊNDICE D – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

DO QUE SÃO FEITAS TODAS AS COISAS: UMA ABORDAGEM DE DEMÓCRITO ATÉ O MODELO PADRÃO DE PARTÍCULAS

Eu, _____, CPF _____

declaro que li, ou que me foi lido, as informações contidas neste documento. Dou meu consentimento livre e esclarecido para o aluno (a) _____ participar como voluntário do estudo intitulado “Do que são feitas todas as coisas: uma abordagem de Demócrito até o Modelo Padrão de Partículas”, que está sendo desenvolvido sob a responsabilidade do Professora Edna de Souza da Silva, sob a supervisão do Prof. Dr. Flávio Gimenes Alvarenga.

- Este estudo tem como principal objetivo avaliar qualitativamente as dificuldades nos conceitos de partículas elementares, apresentadas pelos alunos do ensino médio;
- Durante este estudo será aplicado teste diagnóstico e atividades de verificação de aprendizagem;
- Obtive todas as informações necessárias para poder decidir conscientemente sobre a minha participação no referido estudo;
- Estou livre para interromper, a qualquer momento, minha participação na pesquisa sem sofrer qualquer forma de retaliação;
- Meus dados pessoais e outras informações que possam me identificar serão mantidos em sigilo;
- Os resultados gerais obtidos nesta pesquisa serão utilizados apenas para alcançar os objetivos propostos, incluída sua publicação em congresso, em revista científica especializada e/ou na dissertação.

São Mateus, ____ de maio de 2019

Assinatura do voluntário ou responsável legal

APÊNDICE E – TESTE INICIAL**TESTE INICIAL**

 Nome: _____

 Turma: _____ Idade: _____

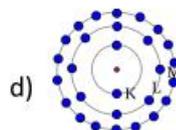
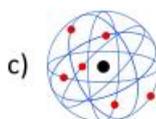
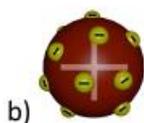
Questão 1: Qual o menor constituinte da matéria?

Questão 2: O que são os elétrons, prótons e nêutrons?

Questão 3: Represente, através de um desenho, um átomo.

Questão 4: O que é uma partícula elementar?

Questão 5: Quais desses modelos atômicos você conhece?



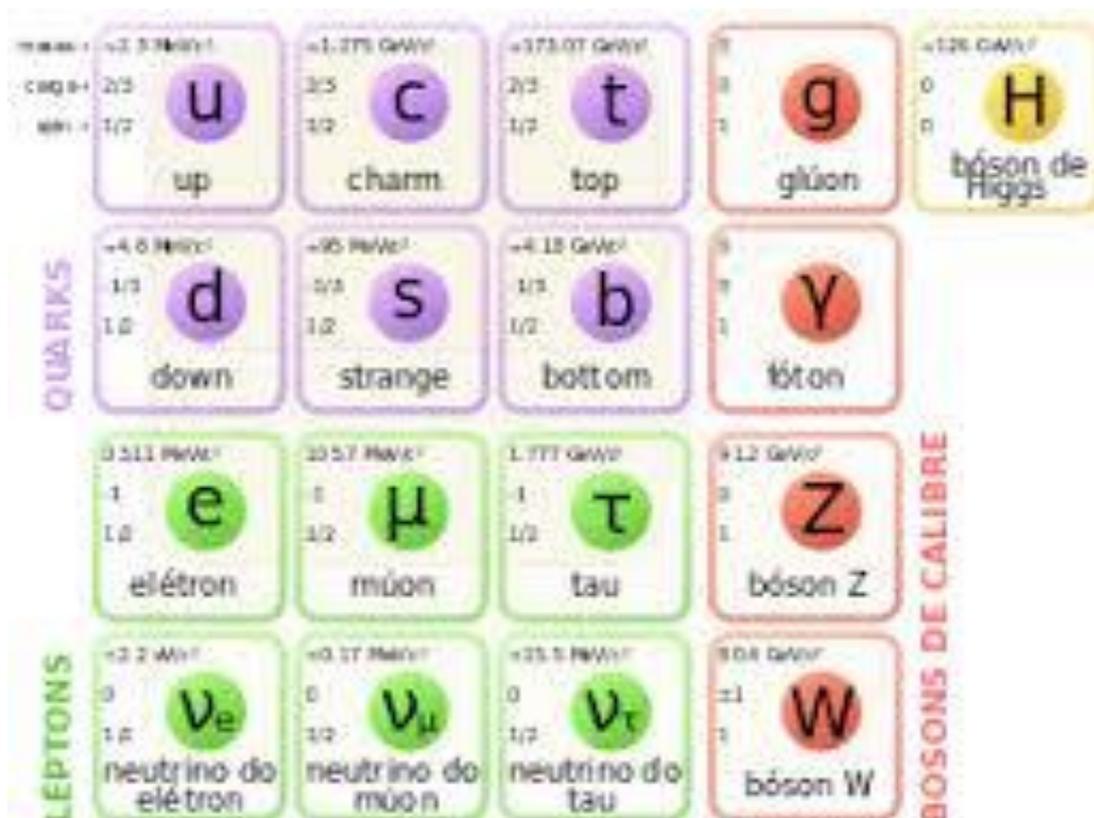
e) nenhum

Questão 6: É possível separar os elétrons do átomo?

Questão 7: Quais dessas partículas você conhece? Marque todas que você conhece

a) Prótons b) Nêutrons c) Elétrons d) Bósons e) Quarks f) Léptons

Questão 8: Você já viu esse desenho em outro lugar?



Se sim, sabe o que ele significa?

Questão 9: Você já ouviu falar em modelo padrão de partículas?

() sim () não

Se sim:

Onde?

Para que ele serve?

Questão 10: Você já ouviu falar em acelerador de partículas?

() Sim () Não

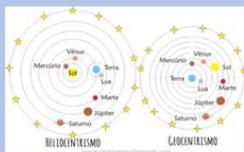
Se sim, sabe para que ele serve?

APÊNDICE F – SLIDES DAS AULAS

MODELO CIENTÍFICO:

Modelo científico é uma representação para explicar um fato ou simplesmente uma observação. Os cientistas criaram os modelos para facilitar os seus estudos e é também uma maneira de descrever um fenômeno.

Ex.: Modelo geocêntrico, modelo heliocêntrico



Título: O modelo geocêntrico de Ptolomeu. Publicado por Kóler, Sotoca, em 26/12/2017. URL: <https://www.objetividadeemciencia.com/2017/12/26/entendendo-o-modelo-geocentrico-de-ptolomeu.html>

MÉTODO CIENTÍFICO:



DO QUE SÃO FEITAS AS COISAS?



Filósofo grego Empédocles (490-430 a.C)



ÁTOMO



<http://entendendoquimica.blogspot.com/2012/06/modelo-atomico-de-democrito.html>



<http://entendendoquimica.blogspot.com/2012/06/modelo-atomico-de-democrito.html>

ÁTOMO DE DEMÓCRITO

- Sec. V (a.C.)
- O filósofo grego Demócrito afirmava que o mundo material era constituído de pequenas partículas indivisíveis.
- Modelo baseado apenas na intuição lógica.



DEMÓCRITO

Átomo = Indivisível

EVOLUÇÃO DOS MODELOS ATÔMICOS

MODELO ATÔMICO DE DALTON

• Modelo proposto por John Dalton em 1808.

• O átomo era uma esfera:

- Maciça
- Indivisível
- Indestrutível
- Sem carga



Modelo atômico da bola de bilhar

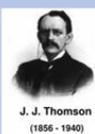
• Os átomos do mesmo elemento são iguais entre si – mesma massa.

FALHA DO MODELO

O modelo de Dalton não explica alguns fenômenos como:

- Corrente elétrica,
- Eletrização por atrito,
- Formação de íons
- Descargas elétricas em gases.

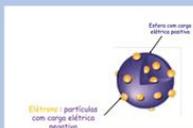
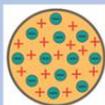
MODELO ATÔMICO DE THOMSON



J. J. Thomson
(1856 - 1940)

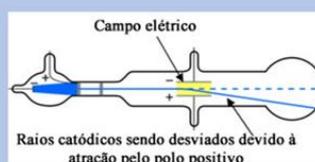
• Em 1903 ao realizar uma série de experiências utilizando um tubo de raios catódicos, Thomson propôs um novo modelo atômico, o qual chamou de elétrons. provou que os elétrons eram corpúsculos, dotados de carga elétrica e de massa, que fazem parte de toda matéria.

Modelo "Pudim de passas"



<https://www.manualdaquimica.com/quimica-geral/evolucao-dos-modelos-atomicos.htm>

A DESCOBERTA DO ELÉTRON



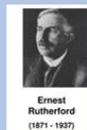
<https://www.manualdaquimica.com/quimica-geral/modelo-atomico-thomson.htm>

FALHA DO MODELO:

O modelo de Thomson não explica:

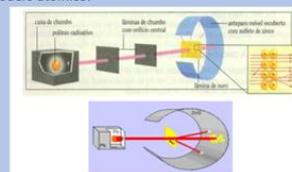
- A estabilidade eletrostática do átomo, uma vez que um número muito grande de partículas negativas próximas umas das outras levaria a uma repulsão eletrostática elevada.

A DESCOBERTA DO PRÓTON



Ernest Rutherford
(1871 - 1937)

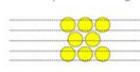
Em 1908 Ernest Rutherford realizou uma experiência que lhe permitiu propor um novo modelo atômico.



<https://www.slideserve.com/munin/o-que-s-o-tomos-de-que-s-o-feitos>

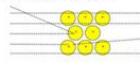
Experiência de Rutherford

Resultados previstos segundo o modelo de Thomson:



As partículas α (+) deveriam atravessar as folhas de ouro sem sofrer desvios.

Resultados obtidos:



A maior parte das partículas α comportava-se como esperado, mas um significativo número delas sofria desvios acentuados.

Rutherford concluiu que existe, no interior do átomo, uma região central positiva – o núcleo, que exerce fortes forças repulsivas sobre as partículas α .

<https://www.slideserve.com/munin/o-que-s-o-tomos-de-que-s-o-feitos>

MODELO ATÔMICO DE RUTHERFORD

Em 1911 Rutherford propõe que o átomo é uma estrutura praticamente vazia, constituído por:

- Núcleo muito pequeno com carga positiva, onde se concentra quase toda a massa do átomo.
- Elétrons com carga negativa movendo-se em volta do núcleo.



MODELO ATÔMICO PLANETÁRIO

Elétrons giram ao redor do núcleo, podendo ocupar qualquer órbita existente.

A DESCOBERTA DO NÊUTRON

• Rutherford admitiu que existia no núcleo partículas semelhantes aos prótons, porém sem carga elétrica.

- Em 1932 Chadwick descobriu o nêutrons
- Os nêutrons eram responsáveis por diminuir a repulsão entre os prótons (maior estabilidade no núcleo).

FALHA DO MODELO:

O modelo proposto por Rutherford também não explicava a estabilidade do átomo uma vez que, de acordo com a eletrodinâmica clássica, partículas carregadas em movimento emitem radiação e, portanto, o elétron deveria colapsar no núcleo.

ÁTOMO

- Dalton**
 - Esfera maciça
 - Indivisível
 - Indestrutível
- Thomson**
 - Descobriu o elétron.
- Rutherford**
 - Descobriu o núcleo
 - Átomo imenso vazio
 - Núcleo 10.000 x menor que o átomo

A CRISE NA FÍSICA NO FINAL DO SÉC. XIX

CORPO NEGRO

CATÁSTROFE DO ULTRA-VIOLETA

O FIM DA FÍSICA???

- Em 1900 alguns físicos pensavam que a física estava praticamente completa.
- Lord Kelvin recomendou que os jovens não se dedicassem à física, pois só faltavam alguns detalhes pouco interessantes, como o refinamento de medidas.

"A beleza e clareza da teoria dinâmica, que afirma que o calor e a luz são tipos de movimentos, é atualmente obscurecida por duas nuvens. 1. A primeira surge com a teoria ondulatória da luz e tem sido tratada por Fresnel e o Dr. Thomas Young; tem a ver com a questão de como pode a Terra mover-se através de um meio elástico sólido, como é essencialmente o éter luminoso? 2. A segunda é a doutrina de Maxwell-Boltzmann em relação à partição de energia."

DISPERSANDO AS NUUVENS ...

resultados do experimento de Michelson e Morley → **TEORIA DA RELATIVIDADE**

radiação de um corpo negro → **MECÂNICA QUÂNTICA**

DESCOBERTAS EXPERIMENTAIS A ESPECTROSCOPIA

- Descobriu-se que cada elemento químico emite (ou absorve) luz com um espectro descontínuo de raios. A espectroscopia se tornou um importante método de identificação de elementos.

Mas qual era a causa dessas raios?

carbono

hélio

O SURGIMENTO DO QUANTA

- A teoria quântica surgiu da tentativa de compreender os problemas de interação da radiação com a matéria e solucionar alguns desses problemas.
- O primeiro passo no desenvolvimento da teoria quântica foi dado por Max Planck.
- Planck formulou a hipótese de que a radiação só podia ser emitida em pacotes, que denominou, **quanta** (no singular, **quantum**). Postulou ainda que a frequência da radiação em cada **quantum** seria proporcional à energia nele contida, resolvendo assim o problema da radiação de corpo negro.

$E = h \nu$

O MODELO ATÔMICO DE BOHR

- Niels Bohr trabalhou com Thomson e Rutherford e em 1913 aperfeiçoou o modelo atômico de Rutherford.
- Bohr aplicou a teoria da quantização de Planck ao modelo atômico de Rutherford.

$\Delta E = h\nu$

Modelo Atômico de Bohr

1º Postulado: A eletrosfera do átomo está dividida em regiões denominadas níveis ou camadas, onde os elétrons descrevem órbitas circulares estacionárias, de modo a ter uma energia constante, ou seja, **sem emitirem nem absorverem energia.**

2º Postulado: Fornecendo energia (térmica, elétrica,...) a um átomo, um ou mais elétrons a absorvem e saltam para níveis mais afastados do núcleo (mais energéticos). Ao voltarem às suas órbitas originais, devolvem a energia absorvida em forma de luz (**fóton**).

Fogos de artifício

energia crescente

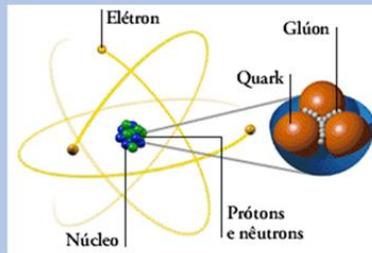
núcleo

energia

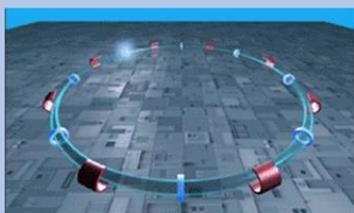
onda eletromagnética (luz)

FALHA DO MODELO:

- Funciona somente para os átomos de um elétron
- Não consegue explicar a ligação dos átomos para formar moléculas
- Não consegue calcular a estrutura fina das linhas espectrais



ACELERADORES DE PARTÍCULAS



Modelo padrão de partículas elementares

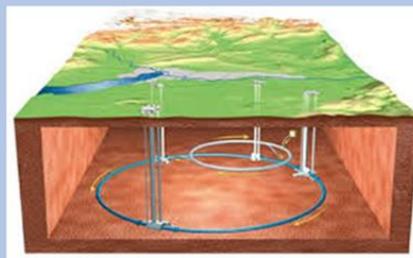
	Férmions			Bósons
massa →	2.4 MeV/c ²	12.27 GeV/c ²	173.2 GeV/c ²	0
spin →	1/2	1/2	1/2	1
quark →	u	c	t	γ
	up	charm	top	photon
quark →	d	s	b	g
	down	strange	bottom	gluon
lepton →	ν _e	ν _μ	ν _τ	Z ⁰
	neutrino electrónico	neutrino muónico	neutrino tauónico	Z boson
lepton →	e	μ	τ	W [±]
	elétron	muon	tau	W boson
3 gerações de matéria (férmions)	I	II	III	



Centro Europeu de Pesquisas Nucleares



VISITANDO O CERN EM 2014



DETECTORES

Como?

Com aceleradores e detectores de partículas

DETECTORES

ATLAS EXPERIMENT

Run Number: 348197, Event Number: 562578

Date: 2018-04-17 13:05:13 CEST

- Bósons de Higgs
- Partículas supersimétricas
- Partículas que podem forma a matéria escura
- 1 bilhão de colisões por segundo.

44m

25m

Tile calorimeters (Ar hadronic end-cap and forward calorimeters)

Pile-up detector

Transition radiation tracker

AR electromagnetic calorimeters

Solenoid magnet

Muon chambers

Toroid magnets

Semiconductor tracker

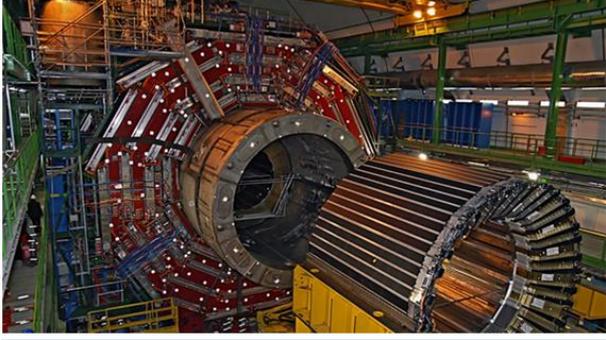
A Large Ion Collider Experiment

ALICE

A Large Ion Collider Experiment

ALICE

- Estudar o estado de fase da matéria chamada de plasma de quarks e glúons. Acredita-se que nosso universo tenha estado em tal estado primordial pelos primeiros milionésimos de segundo após o Big Bang.



CMS DETECTOR – COMPACT MUON SOLENOID

- Detector de uso geral
- Estudar o modelo padrão
- Procurar dimensões extras
- Partículas que podem compor a matéria escura

Key:

- Muon
- Electron
- Charged Hadron (e.g. Pion)
- Neutral Hadron (e.g. Neutron)
- Photon

Transverse slice through CMS

Silicon Tracker

Electromagnetic Calorimeter

Hadron Calorimeter

Superconducting Solenoid

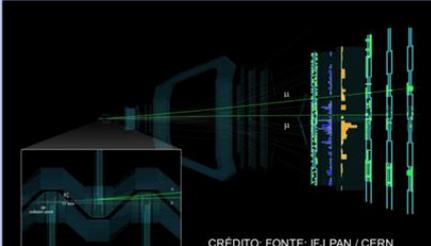
Non return yoke interspersed with Muon Chambers



LHCb

LARGE HADRON COLLIDER BEAUTY

MESON B_S EXTREMAMENTE RARO DECAEM EM DOIS MÚONS, REGISTRADOS EM 2016 NO DETECTOR LHCb CRÉDITO: FONTE: IFJ PAN / CERN / THE LHCb COLLABORATION

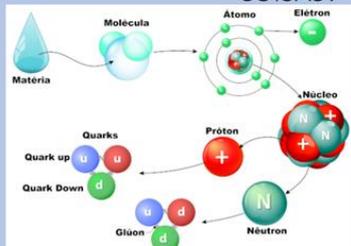


- Violação de simetria CP
- Decaimento raro de Méson com quark b

CRÉDITO: FONTE: IFJ PAN / CERN



DO QUE SÃO FEITAS TODAS AS COISAS?



Fonte: <https://www.manualdaquimica.com/quimica-geral/atomos.htm>

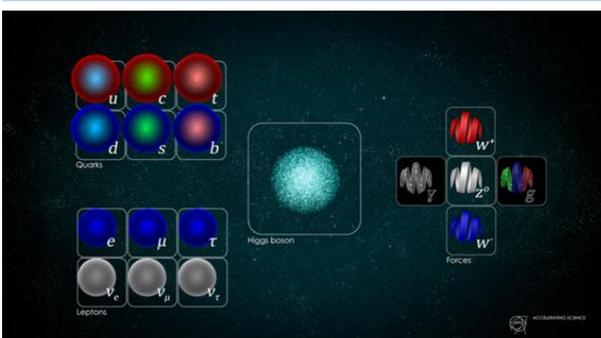
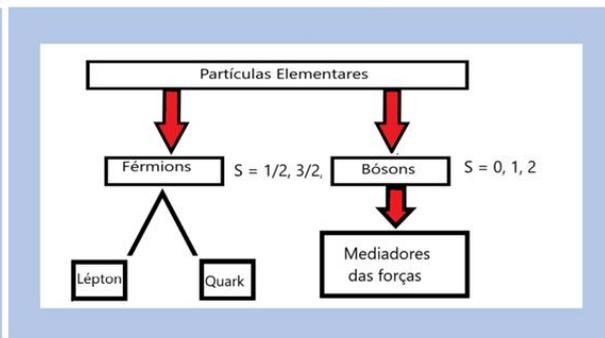
PARTÍCULAS ELEMENTARES

- São partículas de matéria ou radiação que não podem ser divididas em partes menores e que são governadas por forças fundamentais.
- Estão sintetizadas no modelo padrão.



os blocos básicos

leptons quarks transportadores de força



LÉPTONS



ELÉTRON

- Primeira partícula elementar a ser descoberta.
- Descoberta por J. J. Thomson em 1897
- Quebrou a ideia que o átomo é indivisível
- Carga elétrica: -1
- Spin: ½
- Férmion
- Lépton



MÚON

- Quarta partícula elementar a ser descoberta
- Spin = ½
- Lépton
- Massa 207 vezes maior que a do elétron
- Partícula instável
- Vida média: 2.10-6 s

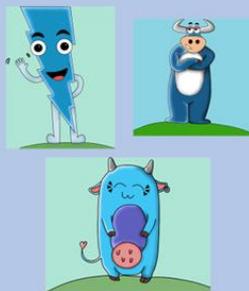
TAU

- Faz parte da terceira geração de léptons
- Descoberto em 1975
- É o lépton mais pesado
- Sua massa é cerca de 3500 vezes maior que a do elétron



NEUTRINOS

- Partícula leve e neutra
- Raramente interage com a matéria
- Muito difícil de detectar
- São chamadas de partículas mensageiras



QUARKS

UP E DOWN

- Quarks
- Responsável pela formação de toda matéria comum
- Nunca foram observados livremente
- Só existem em estados ligados formando as partículas



ESTRANHO

- São produzidas aos pares
- É um quark
- São produzidos pela força forte
- Existiu apenas nos primórdios da criação do Universo



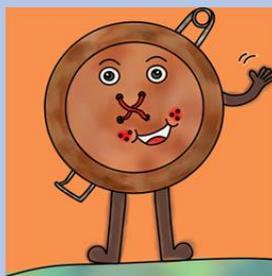
CHARME

- Foi o quarto quark a ser proposto
- Foi observado em 1974
- Partícula pesada e lenta
- Só aparece em aceleradores de partículas



BOTTON

- Quinto quark a ser descoberto
- Só aparece em aceleradores de partículas
- Tem duração de apenas um milionésimo de milionésimo de segundo.



TOP

- Último quark a ser descoberto em 1995
- Só existiu em condições naturais na época do big bang
- São recriados em aceleradores de partículas que atinjam altas energias
- Tempo e vida pequeno
- É o mais pesado de todos os quarks



BÓSONS

FÓTON

- Segunda partícula elementar a ser descoberta
- Não possui massa
- Spin = 1
- Bóson
- Partícula mediadora da força eletromagnética



GLÚON

- Bóson
- Responsável por mediar a força forte



Z, W+, W-

- Bóson
- Responsáveis por intermediar a força fraca
- Alteram a partícula com a qual interagem

HIGGS

- Última partícula elementar a ser encontrada
- Conhecida como "Partícula de Deus"
- Bóson



DO QUE SÃO
FEITAS TODAS
AS COISAS?

APÊNDICE G – TEXTO: A EVOLUÇÃO DOS MODELOS ATÔMICOS

EVOLUÇÃO DOS MODELOS ATÔMICOS:

Visto que não é possível visualizar um átomo isoladamente, os cientistas, com o passar do tempo, criaram modelos atômicos, ou seja, imagens que servem para explicar a constituição, propriedades e comportamento dos átomos. Esses modelos explicam o que diz a teoria, mas isso não quer dizer que fisicamente o átomo seja igual ao seu modelo.

Os primeiros que imaginaram a existência dos átomos foram os filósofos gregos Leucipo e Demócrito em, aproximadamente, 450 a.C. Segundo eles, tudo seria formado por minúsculas partículas indivisíveis. Daí a origem do nome “átomo”, que vem do grego *a* (não) e *tomo* (partes).

No entanto, essas ideias não puderam ser comprovadas na época, constituindo-se apenas como hipóteses. Assim, outras teorias tomaram o seu lugar, e o pensamento de que tudo seria composto por átomos ficou esquecido durante uma boa parte da história da humanidade.

Mas, no século XIX, alguns cientistas passaram a realizar testes experimentais cada vez mais precisos graças aos avanços tecnológicos. Com isso, não só se descobriu que tudo era realmente formado por minúsculas partículas, mas também foi possível entender cada vez mais sobre a estrutura atômica.

Os cientistas usaram as informações descobertas por outros estudiosos para desenvolver o modelo atômico. Dessa forma, as descobertas de um cientista eram substituídas pelas de outros. Os conceitos que estavam corretos permaneciam, mas os que comprovadamente não eram reais passavam a ser abandonados. Assim, novos modelos atômicos foram criados. Essa série de descobertas da estrutura atômica até se chegar aos modelos aceitos hoje ficou conhecida como a evolução do modelo atômico.

São quatro as principais teorias atômicas estudadas nessa evolução. Vejamos cada uma resumidamente:

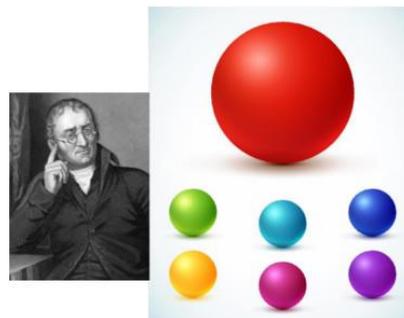
Modelo atômico de Dalton

Em 1803, Dalton retomou as ideias de Leucipo e Demócrito e propôs o seguinte:

“ A matéria é formada por átomos, que são partículas minúsculas, maciças, esféricas e indivisíveis.”

Esse modelo fazia uma analogia à estrutura de uma bola de bilhar. Todos os átomos seriam assim, diferenciando-se somente pela massa, tamanho e propriedades para formar elementos químicos diferentes.

O modelo atômico de Dalton baseava na estrutura de uma bola de bilhar

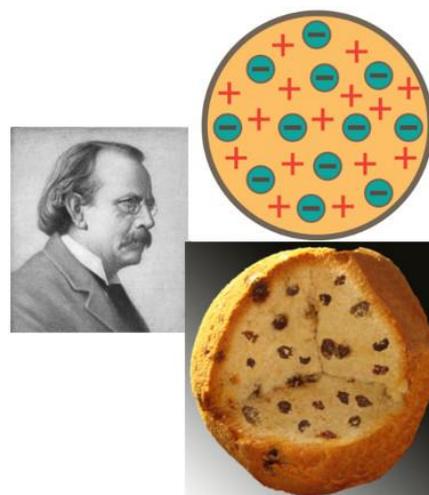


Modelo atômico de Thomson

Por meio de um experimento com uma ampola de Crookes (um tubo de vidro fechado com um eletrodo positivo e um negativo onde se colocavam gases em pressões baixíssimas e submetidos a altas voltagens), Thomson descobriu que existiam partículas negativas que compunham a matéria. Isso significava que o modelo de Dalton estava errado porque o átomo seria divisível, tendo em vista que ele teria partículas ainda menores negativas chamadas de elétrons.

Visto que o átomo é neutro, cargas positivas também deveriam existir. Assim, J. J. Thomson propôs o seguinte em 1898:

“ O átomo é constituído de uma partícula esférica de carga positiva, não maciça, incrustada de elétrons (negativos), de modo que sua carga elétrica total é nula.”



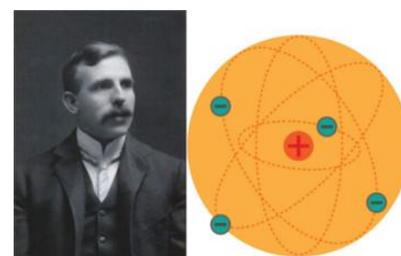
O modelo atômico de Thomson parecia com um pudim ou bolo de passas.

Modelo atômico de Rutherford

Em 1911, o físico neozelandês Ernest Rutherford realizou um experimento em que ele bombardeou uma finíssima lâmina de ouro com partículas alfa (α) emitidas por uma amostra de polônio (material radioativo) que ficava dentro de um bloco de chumbo com um pequeno orifício pelo qual as partículas passavam.

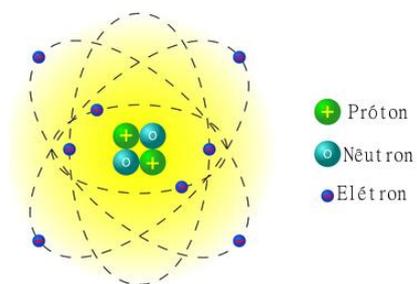
Por meio dos resultados desse experimento, Rutherford percebeu que, na verdade, o átomo não seria maciço como propôs os modelos de Dalton e Thomson. Veja o que ele propôs:

“ O átomo é descontínuo e é formado por duas regiões: o núcleo e a eletrosfera. O núcleo é denso e tem carga positiva, ou seja, é constituído de prótons. A eletrosfera é uma grande região vazia onde os elétrons ficam girando ao redor do núcleo.”



O modelo atômico de Rutherford fazia uma analogia ao sistema solar

Em 1932, o cientista Chadwick descobriu a terceira partícula subatômica, o nêutron. Dessa forma, o modelo de Rutherford passou a ter os nêutrons no núcleo junto aos prótons, ficando assim:



Modelo atômico de Rutherford incluindo os nêutrons no núcleo

Por Jennifer Fogaça
Graduada em Química

Disponível em:

<https://www.manualdaquimica.com/quimica-geral/evolucao-dos-modelos-atomicos.htm> (acesso em 22/05/2019)

APÊNDICE H – TESTE DE PREPARAÇÃO (INDIVIDUAL E EM EQUIPE)



ESCOLA ESTADUAL DE ENSINO MÉDIO "CECILIANO ABEL DE ALMEIDA" AVALIAÇÃO DE FÍSICA

<i>Aluno(a):</i>		<i>Professor(a):</i> Edna de Souza da Silva	
<i>Conteúdo: Evolução dos modelos atômicos</i>		<i>Número:</i>	<i>Série:</i>
<i>Instruções:</i> <ul style="list-style-type: none"> ▪A prova deverá ser feita à caneta PRETA ou AZUL; ▪PROIBIDO o uso de calculadoras, celulares e acessórios eletrônicos; ▪REVISE a prova antes de entregá-la 		<i>Trimestre:</i>	TESTE DE PREPARAÇÃO INDIVIDUAL
		<i>Data:</i>	

1 questão: (ESPM-SP) O átomo de Rutherford (1911) foi comparado ao sistema planetário (o núcleo atômico representa o sol e a eletrosfera, os planetas). Eletrosfera é a região do átomo que:

- a) contém as partículas de carga elétrica negativa.
- b) contém as partículas de carga elétrica positiva.
- c) contém nêutrons.
- d) concentra praticamente toda a massa do átomo.
- e) contém prótons e nêutrons.

2. questão: (ETFSP) "O espaço entre as moléculas atômicas está ocupado por partículas de carga negativa". Esta é uma afirmação feita por:

- a) Dalton;
- b) Thomson;
- c) Rutherford;
- d) Richter;
- e) Proust.

3. questão: (ETFSP) No fim do século XIX começaram a aparecer evidências de que o átomo não era a menor partícula constituinte da matéria. Em 1897 tornou-se pública a demonstração da existência de partículas negativas, por um inglês de nome:

- a) Dalton;
- b) Rutherford;
- c) Bohr;
- d) Thomson;
- e) Proust.

4. questão: (Puc - RS) O átomo, na visão de Thomson, é constituído de:

- a) níveis e subníveis de energia.
- b) cargas positivas e negativas.
- c) núcleo e eletrosfera.
- d) grandes espaços vazios.
- e) orbitais.

5. questão: (Ita-99) Em 1803, John Dalton propôs um modelo de teoria atômica. Considere que sobre a base conceitual desse modelo sejam feitas as seguintes afirmações:

I - O átomo apresenta a configuração de uma esfera rígida.

II - Os átomos caracterizam os elementos químicos e somente os átomos de um mesmo elemento são idênticos em todos os aspectos.

III - As transformações químicas consistem de combinação, separação e/ou rearranjo de átomos.

IV - Compostos químicos são formados de átomos de dois ou mais elementos unidos em uma razão fixa.

Qual das opções a seguir estão CORRETAS?

- a) I e IV
- b) II e III
- c) II e IV
- d) II, III e IV
- e) I, II, III e IV.

6. questão: (UEL – 1998) "O átomo contém um núcleo positivo, muito pequeno e denso, com todos os prótons, que concentra praticamente toda a massa. Os elétrons devem estar distribuídos em algum lugar do volume restante do átomo".

Esta afirmação é devida a:

- a) Rutherford
- b) Millikan
- c) Thomson
- d) Bohr
- e) Faraday

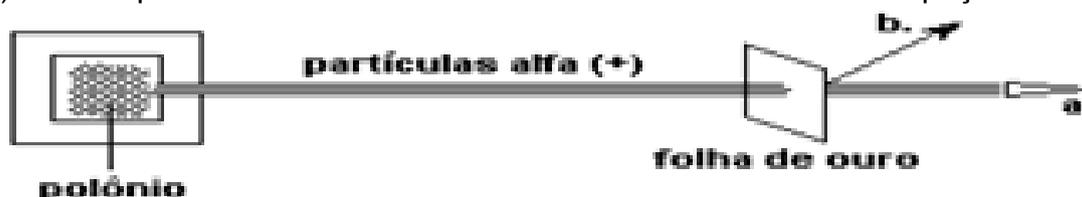
7. questão: O bombardeamento da folha de ouro com partículas alfa, no experimento de Rutherford, mostra que algumas dessas partículas sofrem desvio acentuado do seu trajeto, o que é devido ao fato de que as partículas alfa:

Chocam-se com as moléculas de ouro.

- a) Têm carga negativa e são repelidas pelo núcleo.
- b) São muito lentas e qualquer obstáculo as desvia.
- c) Têm carga positiva e são repelidas pelo núcleo.
- d) Não podem atravessar a lâmina de ouro.

8. questão: (Pucmg 2007) Observe atentamente a representação a seguir sobre um experimento clássico realizado por Rutherford. Rutherford concluiu que:

- a) o núcleo de um átomo é positivamente carregado.
- b) os átomos de ouro são muito volumosos.
- c) os elétrons em um átomo estão dentro do núcleo.
- d) a maior parte do volume total um átomo é constituído de um espaço vazio.



9. questão: (Pucmg 2007) Assinale a afirmativa que descreve ADEQUADAMENTE a teoria atômica de Dalton. Toda matéria é constituída de átomos:

- a) os quais são formados por partículas positivas e negativas.
- b) os quais são formados por um núcleo positivo e por elétrons que gravitam livremente em torno desse núcleo.
- c) os quais são formados por um núcleo positivo e por elétrons que gravitam em diferentes camadas eletrônicas.
- d) e todos os átomos de um mesmo elemento são idênticos.

10. questão: (UFJF-MG) Associe as afirmações a seus respectivos responsáveis:

- I- O átomo não é indivisível e a matéria possui propriedades elétricas (1897).
- II- O átomo é uma esfera maciça (1808).
- III- O átomo é formado por duas regiões denominadas núcleo e eletrosfera (1911).

- a) I - Dalton, II - Rutherford, III - Thomson.
- b) I - Thomson, II - Dalton, III - Rutherford.
- c) I - Dalton, II - Thomson, III - Rutherford.
- d) I - Rutherford, II - Thomson, III - Dalton.
- e) I - Thomson, II - Rutherford, III - Dalton.



ESCOLA ESTADUAL DE ENSINO MÉDIO "CECILIANO ABEL DE ALMEIDA"
AVALIAÇÃO DE FÍSICA

Aluno(a):		Professor(a): Edna de Souza da Silva	
Conteúdo: <i>Evolução dos modelos atômicos</i>		Número:	Série:
Instruções: ▪A prova deverá ser feita à caneta PRETA ou AZUL ; ▪ PROIBIDO o uso de calculadoras, celulares e acessórios eletrônicos; ▪ REVISE a prova antes de entregá-la		Trimestre:	TESTE DE PREPARAÇÃO INDIVIDUAL
		Data:	

1. questão: (ESPM-SP) O átomo de Rutherford (1911) foi comparado ao sistema planetário (o núcleo atômico representa o sol e a eletrosfera, os planetas). Eletrosfera é a região do átomo que:

- a) contém as partículas de carga elétrica negativa.
- b) contém as partículas de carga elétrica positiva.
- c) contém nêutrons.
- d) concentra praticamente toda a massa do átomo.
- e) contém prótons e nêutrons.

2. questão: (ETFSP) "O espaço entre as moléculas atômicas está ocupado por partículas de carga negativa". Esta é uma afirmação feita por:

- a) Dalton;
- b) Thomson;
- c) Rutherford;
- d) Richter;
- e) Proust.

3. questão: (ETFSP) No fim do século XIX começaram a aparecer evidências de que o átomo não era a menor partícula constituinte da matéria. Em 1897 tornou-se pública a demonstração da existência de partículas negativas, por um inglês de nome:

- a) Dalton;
- b) Rutherford;
- c) Bohr;
- d) Thomson;
- e) Proust.

4. questão: (Puc - RS) O átomo, na visão de Thomson, é constituído de:

- a) níveis e subníveis de energia.
- b) cargas positivas e negativas.
- c) núcleo e eletrosfera.
- d) grandes espaços vazios.
- e) orbitais.

5. questão: (Ita-99) Em 1803, John Dalton propôs um modelo de teoria atômica. Considere que sobre a base conceitual desse modelo sejam feitas as seguintes afirmações:

I - O átomo apresenta a configuração de uma esfera rígida.

II - Os átomos caracterizam os elementos químicos e somente os átomos de um mesmo elemento são idênticos em todos os aspectos.

III - As transformações químicas consistem de combinação, separação e/ou rearranjo de átomos.

IV - Compostos químicos são formados de átomos de dois ou mais elementos unidos em uma razão fixa.

Qual das opções a seguir estão CORRETAS?

a) I e IV

b) II e III

c) II e IV

d) II, III e IV

e) I, II, III e IV.

6. questão: (UEL – 1998) "O átomo contém um núcleo positivo, muito pequeno e denso, com todos os prótons, que concentra praticamente toda a massa. Os elétrons devem estar distribuídos em algum lugar do volume restante do átomo".

Esta afirmação é devida a

a) Rutherford

b) Millikan

c) Thomson

d) Bohr

e) Faraday

7. questão: O bombardeamento da folha de ouro com partículas alfa, no experimento de Rutherford, mostra que algumas dessas partículas sofrem desvio acentuado do seu trajeto, o que é devido ao fato de que as partículas alfa:

Chocam-se com as moléculas de ouro.

a) Têm carga negativa e são repelidas pelo núcleo.

b) São muito lentas e qualquer obstáculo as desvia.

c) Têm carga positiva e são repelidas pelo núcleo.

d) Não podem atravessar a lâmina de ouro.

8 questão: (Pucmg 2007) Observe atentamente a representação a seguir sobre um experimento clássico realizado por Rutherford. Rutherford concluiu que:

a) o núcleo de um átomo é positivamente carregado.

b) os átomos de ouro são muito volumosos.

c) os elétrons em um átomo estão dentro do núcleo.

d) a maior parte do volume total um átomo é constituído de um espaço vazio.



9. questão: (Pucmg 2007) Assinale a afirmativa que descreve ADEQUADAMENTE a teoria atômica de Dalton. Toda matéria é constituída de átomos:

- a) os quais são formados por partículas positivas e negativas.
- b) os quais são formados por um núcleo positivo e por elétrons que gravitam livremente em torno desse núcleo.
- c) os quais são formados por um núcleo positivo e por elétrons que gravitam em diferentes camadas eletrônicas.
- d) e todos os átomos de um mesmo elemento são idênticos.

10 questão: (UFJF-MG) Associe as afirmações a seus respectivos responsáveis:

I- O átomo não é indivisível e a matéria possui propriedades elétricas (1897).

II- O átomo é uma esfera maciça (1808).

III- O átomo é formado por duas regiões denominadas núcleo e eletrosfera (1911).

- a) I - Dalton, II - Rutherford, III - Thomson.
- b) I - Thomson, II - Dalton, III - Rutherford.
- c) I - Dalton, II - Thomson, III - Rutherford.
- d) I - Rutherford, II - Thomson, III - Dalton.
- e) I - Thomson, II - Rutherford, III - Dalton.

APÊNDICE I – UMA PARTIDA DE ATOMOBOL

UMA PARTIDA DE ATOMOBOL

Aluno: _____ turma: _____

Você compreendeu a afirmação de que o átomo é mais vazio do que cheio?

Nesta atividade, você vai poder visualizar melhor as dimensões atômicas por meio da comparação com as medidas cotidianas.

1) Observe a tabela a seguir com as dimensões de um átomo:

Raio do núcleo	10^{-15}m
Raio do átomo	10^{-10}m

- 2) Considere que você vai construir um “joguinho” de futebol de botão em que o núcleo do átomo corresponda a uma bolinha de gude (0,01 m de raio). Nessa representação, qual deve ser o tamanho do campo de “atomobol”, que corresponde ao tamanho do átomo inteiro? (basta usar uma regra de três)
- 3) É possível desenhar o modelo atômico em escala numa folha de papel, de forma que possamos ver o núcleo e os elétrons? Explique.

APÊNDICE J – BRINCANDO COM CARGAS ELÉTRICAS

BRINCANDO COM CARGA ELÉTRICAS:

Nome: _____ Turma: _____

A propriedade da matéria que permitiu Thomson desenvolver seu modelo para a estrutura da matéria é a carga elétrica.

Nesta atividade, você terá a oportunidade de verificar a existência de carga elétrica e refletir sobre o modelo atômico de Thomson.

Você vai precisar de:

- Uma régua
- Uma flanela
- Pedacinhos bem pequenos de papel ou bolinha bem pequenas de isopor.

Procedimentos:

- Espalhe os pequenos pedaços de papel (ou isopor) sobre a superfície da mesa.
- Esfregue a flanela na régua plástica
- Aproxime a régua dos pedacinhos de papel e observe o que acontece
- Aproxime a flanela dos pedacinhos de papel e observe o que acontece.

APÊNDICE K – TEXTO: VENDO ATRAVÉS DA PELE – A DESCOBERTA DO RAIOS X

VENDO ATRAVÉS DA PELE: A DESCOBERTA DOS RAIOS-X

Há pouco mais de 100 anos atrás, não era possível o médico visualizar o interior do corpo humano sem ter que abri-lo e isso dificultava muito o diagnóstico de doenças e fraturas nos pacientes. Mas em 1895 uma grande descoberta revolucionou a humanidade, principalmente a física e a medicina, nesse ano eram descobertos os **raios X**. Mas como isso ocorreu?

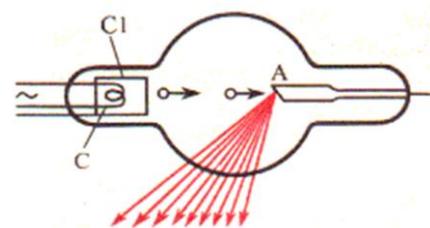


Figura 1

Na noite de 8 de novembro de 1895 o físico holandês Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923), seguindo as tendências de sua época, estava fazendo mais uma experiência com descargas elétricas nos tubos de raios catódicos (figura 1), estudando o fenômeno da luminescência produzida pelos raios no tubo, quando notou que algo de diferente acontecia. Em sua sala de experiências totalmente às escuras, ele viu a folha de papel, usada como tela e tratada com uma substância química fluorescente (platinocianeto de bário), colocada a uma certa distância do tubo brilhar emitindo luz. Röntgen espantado, pode imaginar que alguma coisa devia ter atingido a tela para que ela reagisse dessa forma. Mas o tubo de raios catódicos estava coberto por uma cartolina negra e nenhuma luz ou nenhum raio catódico poderia ter escapado dali.

Surpreso e perplexo com o fenômeno, ele decidiu pesquisá-lo mais a fundo. Virou a tela, de modo a que o lado sem a substância fluorescente ficasse voltado para o tubo; mesmo assim, a tela continuava a brilhar. Ele então afastou a tela para mais longe e o brilho persistiu. Depois, colocou diversos objetos (uma camada de papelão, pedaços de madeira, um livro de 1000 páginas e até finas placas metálicas) entre o tubo e a tela e todos pareceram transparentes. Quando sua mão escorregou em frente

à válvula ele viu os ossos na tela (figura 2). Descobriu “um novo tipo de raio”, conforme ele mesmo explicou em sua primeira publicação.

Figura 2



Röntgen havia ficado tão perplexo com sua descoberta, que teve que se convencer primeiro antes de falar com qualquer pessoa sobre sua descoberta do novo tipo de raio. Trabalhou sozinho durante sete semanas nessa tentativa, quando finalmente estava convencido, registrou sua descoberta (imagem da mão) em chapas fotográficas, e só então passou a ter certeza.

Em 1º de janeiro de 1896, ele distribuiu o relatório preliminar de sua descoberta, o que causou grande agitação, mas sua descoberta não podia ser refutada facilmente, pois havia fotografias dos raios X de suas mãos anexadas nele. No decorrer do mês, a notícia havia se espalhado por todo o mundo. Pode-se imaginar o deslumbramento em relação a esses raios aos quais tudo se tornava transparente e por meio dos quais todos podiam ver seus próprios ossos. Pode-se ver praticamente os dedos sem os músculos, mas com anéis, como se podia ver também uma bala alojada no corpo. As consequências para a medicina foram imediatamente percebidas. Imagine você nessa época, podendo ver os seus ossos, sem qualquer corte ou perfuração. Somente assim terá ideia da revolução causada com essa descoberta.

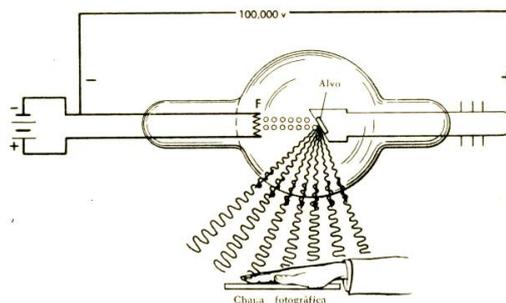
O trabalho de Röntgen sobre os raios X foi perfeito à luz do conhecimento existente em sua época. Mas ele, não conseguiu entender a natureza dos raios X, ou seja, ele não conseguiu comprovar que se tratava de uma radiação eletromagnética.

No entanto, ele conseguiu mostrar que os raios podiam atravessar materiais sólidos, podiam ionizar o ar, não sofriam reflexão no vidro e não eram desviados por campos magnéticos, mas não conseguiu observar os fenômenos da refração e da interferência normalmente associados a ondas (ondas eletromagnéticas, neste caso) por isso ficou o nome enigmático de raios X (X é o símbolo pra nomear o desconhecido)

Mais tarde sua natureza foi desvendada, mostrando que eles eram consequência da colisão dos raios catódicos com a parede do tubo e, por terem comprimento de onda muito pequeno, Röntgen não podia observar os fenômenos necessários para comprovar que os raios-X são ondas eletromagnéticas (radiação eletromagnética) de alta frequência.

Uma ilustração do equipamento de Röntgen é mostrado ao lado. Entre os catodos do tubo de vidro, os raios catódicos são inicialmente acelerados, com voltagem de até 100 kV (100.000 V) e, em seguida, são bruscamente freados (há uma colisão dos raios e o alvo). Por causa disso, ocorre uma emissão de radiação eletromagnética com um comprimento de onda muito pequeno (da ordem de 10^{-12} m), que corresponde a radiações de alta frequência. É assim que são produzidos os raios X.

As aplicações dos raios X são as mais diversas possíveis. Elas vão desde “simples” obtenção de chapas fotográficas (radiografias) para detectar uma fratura, uma inflamação e uma cárie até a determinação de uma certa porcentagem de uma substância em um composto, através da difração dos raios X, como é o caso da quantidade de carbono existente no aço.



Essa determinação é importante, pois permite que o aço fique mais maleável e conseqüentemente consegue-se produzir chapas mais finas. Atualmente, os raios X também são utilizados na área de segurança, como é o caso dos aeroportos. Com eles, é possível “ver” dentro das malas e constatar se existem objetos metálicos e até mesmo se as pessoas carregam algum tipo de arma (figura 3). Sua utilização também pode ser vista na fronteira dos E.U.A com o México, onde a polícia o utiliza para vasculhar o interior dos veículos (figura 4).



Figura 3



Figura

4

Fonte: <http://nupic.incubadora.fapesp.br/portal>, acessado em 20/06/2019

APÊNDICE L – FOLDER: AS PARTÍCULAS ELEMENTARES

DO QUE SÃO FEITAS
TODAS AS COISAS?

MODELO PADRÃO

FÉRMIONS

QUARKS

LÉPTONS

BÓSONS

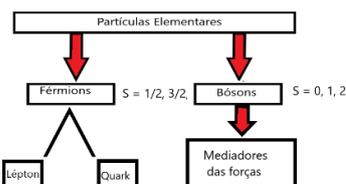
PARTÍCULAS ELEMENTARES

São partículas de matéria ou radiação que não podem ser divididas em partes menores e que são governadas por forças fundamentais.

Estão sintetizadas no modelo padrão.

Modelo padrão de partículas elementares

	Férmions			Bósons
massa → carga → spin →	2,4 MeV/c² 2/3 1/2	1,7 GeV/c² 2/3 1/2	173,2 GeV/c² 2/3 1/2	0 0 1
nome →	u up	c charm	t top	γ fóton
	d down	s strange	b bottom	g glúon
	ν_e neutrino eletrónico	ν_μ neutrino muónico	ν_τ neutrino tauónico	Z Z bóson
	e elétron	μ muão	τ tau	W[±] W bóson
Três gerações de matéria (férmions)	I	II	III	



LÉPTONS

ELÉTRON



- Primeira partícula elementar a ser descoberta.
- Descoberta por J. J. Thomson em 1897
- Quebrou a ideia que o átomo é indivisível
- Lépton

MÚON



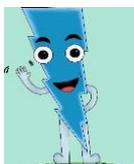
- Quarta partícula elementar a ser descoberta
- Lépton
- Massa 207 vezes maior que a do elétron
- Partícula instável
- Vida média: $2 \cdot 10^{-6}$ s

TAU



- Faz parte da terceira geração de léptons
- Descoberto em 1975
- É o lépton mais pesado
- Sua massa é cerca de 3500 vezes maior que a do elétron

NEUTRINOS



- Partícula leve e neutra
- Raramente interage com a matéria
- Muito difícil de detectar
- São chamadas de partículas mensageiras



UP E DOWN



- Quarks
- Responsável pela formação de toda matéria comum
- Nunca foram observados livremente



- Só existem em estados ligados formando as partículas

CHARME

QUARKS



- Foi o quarto quark a ser proposto
- Foi observado em 1974
- Partícula pesada e lenta
- Só aparece em aceleradores de partículas

ESTRANHO



- São produzidas aos pares
- É um quark
- São produzidos pela força forte
- Existiu apenas nos primórdios da criação do Universo

BOTTON



- Quinto quark a ser descoberto
- Só aparece em aceleradores de partículas
- Tem duração de apenas um milionésimo de segundo

TOP



- Último quark a ser descoberto
- Só existiu em condições naturais na época do big bang
- São recriados em aceleradores de partículas que atinjam altas energias
- Tempo de vida pequeno e é o mais pesado de todos os quarks

BÓSONS

FÓTON



- Segunda partícula elementar a ser descoberta
- Não possui massa
- Bóson
- Partícula mediadora da força eletromagnética

GLÚON



- Bóson
- Responsável por mediar a força forte

Z, W+, W-



- Bóson
- Responsáveis por intermediar a força fraca

HIGGS



- Última partícula elementar a ser encontrada
- Conhecida como "Partícula de Deus"
- Bóson

APÊNDICE M – MODO DE JOGAR

JOGO: DO QUE SÃO FEITAS TODAS AS COISAS?

O jogo consiste em familiarizar os alunos com os nomes das partículas elementares.

O jogo consiste em 60 cartas, sendo:

- 16 cartas de partículas elementares
- 43 cartas de propriedades das partículas
- 1 coringa – prêmio Nobel de física

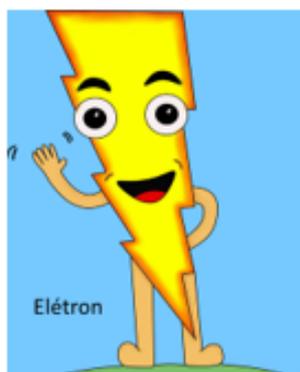
Modo de jogar: (2 a 4 pessoas)

- Cada baralho dá para jogar até 4 pessoas, se forem jogar mais pessoas precisa usar dois baralhos.
- Cada participante recebe 9 cartas e precisa formar 3 trios, sendo que cada trio deve conter 1 partícula (desenho da partícula) e 2 propriedades dessa partícula, por exemplo:
Partícula: Fóton
Propriedades: Bóson, responsável por intermediar a força eletromagnética
- As cartas que não foram distribuídas no início do jogo ficam viradas de cabeça para baixo para poderem ser compradas.
- A cada rodada o participante compra 1 carta do monte de cartas viradas para baixo ou 1 carta do monte de descarte (que são as cartas descartadas que ficam de cabeça para cima, lembrando que o jogador só pode comprar a última carta que foi descartada) e descarta 1 carta, de tal forma que ele sempre tenha 9 cartas na mão.
- A carta coringa é o prêmio Nobel de física, sendo que ela pode substituir qualquer carta das propriedades das partículas.

Vencedor:

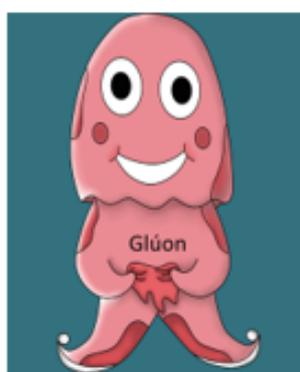
- Será o vencedor da partida o participante que formar os três pares primeiro, porém se algum par estiver errado, o jogador recebe como penalidade não poder comprar do monte de descarte até o final da partida.

APÊNDICE N – CARTAS DO BARALHO



Quebrou a
ideia que
o átomo é
indivisível

Lépton



Bóson

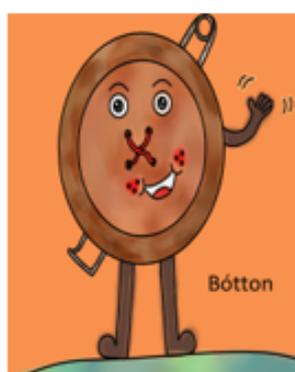
Responsável
por mediar
a força forte



Bóson

Conhecida
como
partícula
de Deus

Última
partícula
elementar a
ser
encontrada



Tem duração
de apenas um
milionésimo
de segundo

Só aparece
em
aceleradores
de partículas

Quark



Quark

Só aparece
em
aceleradores
de partículas



Quark



Nunca
foram
observados
livremente

Quark

Existiu apenas
nos
primórdios da
criação do
Universo



Bóson

Não possui
massa

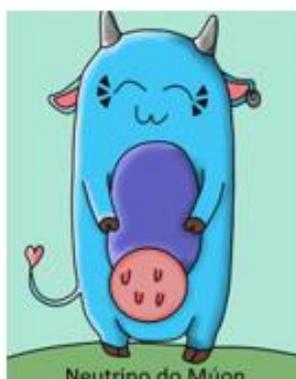
Partícula
mediadora da
força
eletromagnética



Partícula
leve e
neutra

Raramente
interage
com a
matéria

São chamadas
de partículas
mensageiras



Partícula
leve e
neutra

Raramente
interage
com a
matéria

São chamadas
de partículas
mensageiras



Lépton	Massa 207 vezes maior que a do elétron	 Neutrino do Tau
Partícula leve e neutra	Raramente interage com a matéria	São chamadas de partículas mensageiras
 Tau	Lépton	É o lépton mais pesado

Sua massa é
cerca de 3500
vezes maior
que a do
elétron



Último quark
a ser
descoberto
em 1995

São recriados
em
aceleradores
de partículas
que atingem
altas
energias

É o mais
pesado
de todos
os quarks



Quark

Nunca
foram
observados
livremente

Um dos
Responsáveis
pela
formação de
toda matéria
comum



Bóson

Responsáveis
por
intermediar
a força fraca

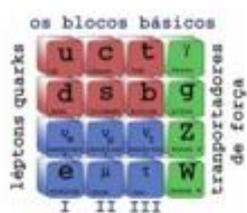


PARTE
DETRÁS
DAS
CARTAS

Quark

Lépton

DO QUE SÃO FEITAS
TODAS AS COISAS?



APÊNDICE O – TESTE FINAL

MNPEF Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



PPGEnFis
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física

TESTE FINAL

Nome: _____

Turma: _____

Questão 1: Quais os menores constituintes da matéria?

- a) Átomos
- b) Prótons
- c) Nêutrons
- d) Partículas elementares

Questão 2: O que é uma partícula elementar?

Questão 3: Qual dessas partículas é elementar?

- a) Próton
- b) Átomo
- c) Nêutron
- d) Elétron

Questão 4: Qual dessas partículas não faz parte do modelo padrão?

- a) Fóton
- b) Múon
- c) Próton
- d) Charme

Por quê? _____

Questão 5: Quais são as partículas mediadoras das forças?

- a) Bósons
- b) Quarks
- c) Léptons

Questão 6: Relacione as colunas:

- | | |
|------------------------|--|
| a) Fóton | () Bóson responsável por dar massa as partículas |
| b) Glúon | () Bóson responsável por mediar a força fraca |
| c) W^+ , W^- , z | () Bóson responsável por mediar a força eletromagnética |
| d) Higgs | () Bóson responsável por mediar a força forte |

Questão 7: Qual dessas partículas quebrou a ideia que o átomo é indivisível?

- a) Fóton
- b) Elétron
- c) Top
- d) Up

Questão 8: Qual dessas partículas são chamadas de “partículas mensageiras”?

- a) Neutrinos
- b) Charme
- c) Glúon
- d) Higgs

Questão 9: Quais partículas são responsáveis pela formação de toda matéria comum?

- a) Up e múon
- b) Up e Down
- c) Estranho e Charme
- d) Down e Top

Questão 10: Qual dessas partículas não possui massa?

- a) Higgs
- b) Tau
- c) Estranho
- d) Fóton

Questão 11: Qual dessas partículas foi a última a ser encontrada e é conhecida como “partícula de Deus”?

- a) Higgs
- b) Tau
- c) Estranho
- d) Fóton

Questão 12: O que é o Large Hadron Collider (LHC) ou Grande Colisor de Hádrons?

- a) Um telescópio espacial.
- b) Uma nova teoria para explicar a origem do Universo.
- c) É um acelerador de partículas projetado para recriar as condições encontradas instantes após o Big Bang, localizado na Suíça
- d) Não sei.

APÊNDICE P – PESQUISA DE OPINIÃO



MNPEF Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



PESQUISA DE OPINIÃO

1-Discordo totalmente 2- Discordo parcialmente 3- Indiferente 4- Concordo parcialmente 5- Concordo totalmente	1	2	3	4	5
A sequência didática utilizada facilitou sua aprendizagem?					
O produto utilizado contribuiu para sua aprendizagem?					
A linguagem utilizada e o grau de profundidade da abordagem foram adequados para a compreensão da Física de partículas?					
O processo de avaliação utilizado permitiu superar suas dificuldades?					
Você concorda que temas de Física Moderna devem fazer parte do currículo do ensino médio?					
Você sugeriria a outro professor de física o método que foi empregado para que ele utilizasse em suas aulas?					
Deixe aqui suas sugestões, críticas ou elogios?					

1-Discordo totalmente 2- Discordo parcialmente 3- Indiferente 4- Concordo parcialmente 5- Concordo totalmente	1	2	3	4	5
A sequência didática utilizada facilitou sua aprendizagem?					
O produto utilizado contribuiu para sua aprendizagem?					
A linguagem utilizada e o grau de profundidade da abordagem foram adequados para a compreensão da Física de partículas?					
O processo de avaliação utilizado permitiu superar suas dificuldades?					
Você concorda que temas de Física Moderna devem fazer parte do currículo do ensino médio?					
Você sugeriria a outro professor de física o método que foi empregado para que ele utilizasse em suas aulas?					
Deixe aqui suas sugestões, críticas ou elogios?					

APÊNDICE Q – PRODUTO EDUCACIONAL

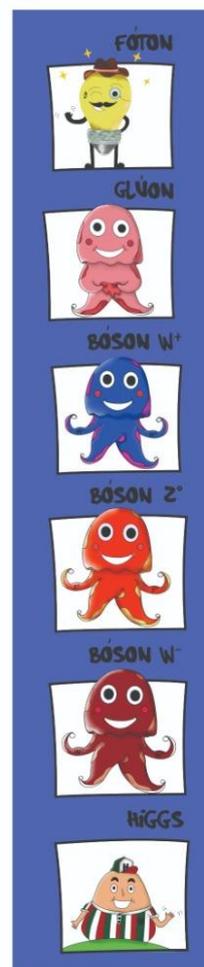
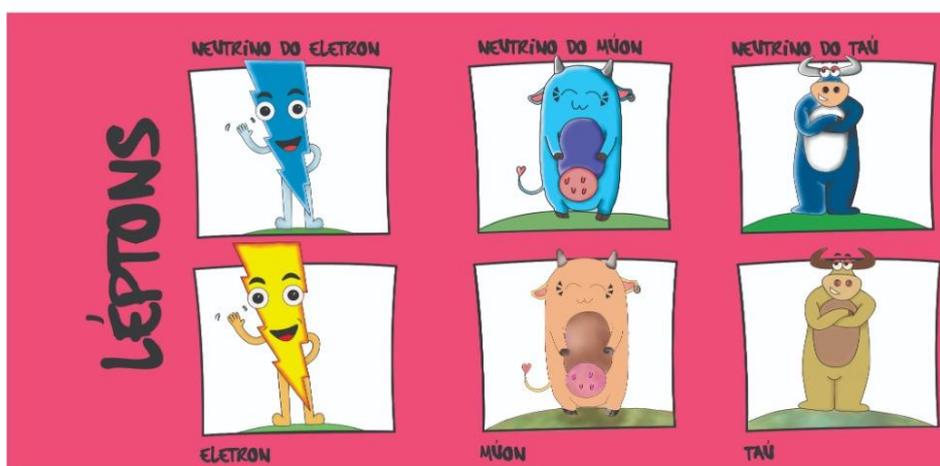
PRODUTO EDUCACIONAL

UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA PARA
ENSINAR: A ESTRUTURA DA MATÉRIA

MODELO PADRÃO

FÉRMIONS

BÓSONS



MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

EDNA DE SOUZA DA SILVA

FLÁVIO GIMENES ALVARENGA

**UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA PARA
ENSINAR: A ESTRUTURA DA MATÉRIA**

Vitória – ES
2021

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Átomo de acordo com a teoria atômica de Dalton	11
Figura 2 - Experimento de Thomson com tubo de raios catódicos.....	12
Figura 3 - O modelo de átomo de Thomson.....	13
Figura 4 - Esquema da experiência de Rutherford.....	13
Figura 5 - Esquema das partículas α atravessando e sendo defletidas pelo núcleo.	14
Figura 6 - Modelo atômico de Rutherford.....	16
Figura 7 - Espectro de diferentes fontes.....	20
Figura 8 - Espectros de emissão do hidrogênio.	20
Figura 9 - Catástrofe do ultravioleta.	21
Figura 10 - Efeito fotoelétrico.	22
Figura 11 - Modelo atômico de Bohr.	23
Figura 12 - Esquema do aparelho utilizado na experiência de Stern- Gerlach.....	26
Figura 13 - Resultado da experiência de Stern-Gerlach sem campo magnético.....	26
Figura 14 - Resultado da experiência de Stern-Gerlach com campo magnético.....	27
Figura 15 - Modelo atômico de Schrödinger	28
Figura 16 - Modelo Padrão.....	30
Figura 17 - Equação violando o princípio de conservação do momento de spin.....	38
Figura 18 - Equação conservando o momento de spin.	38
Figura 19 - Constituição da matéria comum.....	42
Figura 20 - Escala de massas dos quarks.....	44
Figura 21 - Tubo de raios catódicos.	50
Figura 22 - SLAC (Centro de Aceleração Linear de Stanford).	52
Figura 23 - Tevatron.....	53

Figura 24 - Vista geral da fonte de luz síncrotron do LNS em operação desde 1997.
53

Figura 25 - Vista aérea do CERN.....56

Figura 26 - Túnel do LHC.....57

Figura 27 - O complexo acelerador CERN.....58

Figura 28 - Detectores LHC.....61

Figura 29 – ATLAS (detector).....62

Figura 30 - ATLAS.....62

Figura 31 - Vista em corte do detector CMS.....63

Figura 32 - François Englert e Peter Higgs.....64

Figura 33 - Ilustração do detector ALICE.....65

Figura 34 - O detector LHCb.....66

Figura 35 - Caixa Misteriosa.....69

Figura 36 - O que é um átomo?70

Figura 37 - Maquetes dos modelos atômicos.....72

Figura 38 - "Raio x da caixa misteriosa".....73

Figura 39 - cartazes usando o nome das partículas.....76

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Modelos de átomos da Física Clássica.	18
Quadro 2 - Resumo das características dos léptons.	40
Quadro 3 - Resumo das características dos quarks.	44
Quadro 4 - Resumo das características dos bósons mediadores.	49
Quadro 5 - Dados do LHC.	57

SUMÁRIO

1. APRESENTAÇÃO	8
2. A ESTRUTURA DA MATÉRIA	9
2.1 O ÁTOMO DE DEMÓCRITO.....	9
2.2 A EVOLUÇÃO DOS MODELOS ATÔMICOS	10
2.2.1 MODELO ATÔMICO DE DALTON.....	10
2.2.2 MODELO ATÔMICO DE THOMSON	11
2.2.3 MODELO ATÔMICO DE RUTHERFORD	13
2.2.4 MODELO ATÔMICO DE BOHR.....	18
2.2.5 – MODELO DA MECÂNICA QUÂNTICA.....	24
2.3 O MODELO PADRÃO DAS PARTÍCULAS ELEMENTARES.....	29
2.4 AS PARTÍCULAS ELEMENTARES.....	30
2.4.1 LÉPTONS.....	33
2.4.2 QUARKS	40
2.4.3 BÓSONS	45
2.5 ACELERADORES E DETECTORES	49
2.6 O LHC (THE LARGE HADRON COLLIDER)	54
3. A SEQUÊNCIA DIDÁTICA	68
3.1 AULA 1	68
3.2 – AULA 2	69
3.3 AULA 3.....	71

3.4 AULA 4.....	71
3.5 AULA 5.....	73
3.6 AULA 6.....	73
3.7 AULA 7.....	74
3.8 AULA 8.....	75
3.9 AULA 9.....	75
3.10 AULAS 10, 11 E 12.....	75
3.11 AULA 13.....	76
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	78
APÊNDICE A – TESTE INICIAL.....	83
APÊNDICE B – SLIDES DAS AULAS.....	85
APÊNDICE C – TEXTO: A EVOLUÇÃO DOS MODELOS ATÔMICOS.....	93
APÊNDICE D – TESTE DE PREPARAÇÃO (INDIVIDUAL E EM EQUIPE).....	96
APÊNDICE E – UMA PARTIDA DE ATOMOBOL.....	102
APÊNDICE F – BRINCANDO COM CARGAS ELÉTRICAS.....	103
APÊNDICE G – TEXTO: VENDO ATRAVÉS DA PELE – A DESCOBERTA DO RAIOS-X.....	104
VENDO ATRAVÉS DA PELE: A DESCOBERTA DOS RAIOS-X.....	104
APÊNDICE H – FOLDER: AS PARTÍCULAS ELEMENTARES.....	108
APÊNDICE I – MODO DE JOGAR.....	110
APÊNDICE J – CARTAS DO BARALHO.....	111
APÊNDICE L – TESTE FINAL.....	117

1. Apresentação

Este é o Produto da Dissertação de Mestrado de Edna de Souza da Silva, orientada pelo Professor Flávio Gimenes Alvarenga, que foi apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física - Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, ofertado pela Sociedade Brasileira de Física em parceria com a Universidade Federal do Espírito Santo.

Este trabalho é uma pesquisa quali-quantitativa por meio do qual foi investigada uma proposta de ensino sobre a estrutura da matéria que podem e devem ser discutidos no Ensino Médio, apresentando a evolução dos menores constituintes da matéria ao longo da História. Para isso usou-se uma abordagem didática baseada na Aprendizagem Significativa desenvolvida por David Ausubel, na visão de Moreira (2017). A pesquisa foi desenvolvida na Escola Estadual de Ensino Fundamental e Médio “Ceciliano Abel de Almeida”, localizada na cidade de São Mateus no Espírito Santo, com duas turmas da terceira série do Ensino Médio, através da aplicação de uma sequência didática baseada numa Unidade de Ensino Potencialmente Significativa, segundo Moreira (2011). Para o desenvolvimento metodológico, utilizamos diversas abordagens, tais como textos, jogos e filmes.

Após a aplicação da sequência didática, verificamos, baseados nos resultados dos testes, análise dos mapas conceituais, bem como a interação e participação dos alunos, indícios de aprendizagem significativa e o material se mostrou potencialmente significativo.

2. A ESTRUTURA DA MATÉRIA

Neste capítulo apresentamos a evolução histórica da concepção da estrutura da matéria, desde o modelo de Demócrito até o Modelo Padrão. Destacamos também a importância dos aceleradores e detectores para a Física de Partículas, em especial, o LHC, o maior e mais potente acelerador de partículas da atualidade e sua importância para a validação do Modelo Padrão.

O domínio da estrutura da matéria permitiu ao homem revolucionar a História, propiciando grande desenvolvimento do campo científico e inúmeros avanços tecnológicos, mas tudo começou com uma simples, mas complexa, pergunta: Qual é a menor porção de uma matéria? Ela pode ser dividida indefinidamente ou existe um limite para essa divisão?

2.1 O ÁTOMO DE DEMÓCRITO

No século V a.C. os filósofos gregos Demócrito e seu mestre Leucipo acreditavam que toda matéria era composta de partículas muito pequenas, invisíveis e indivisíveis, chamada de átomo.

Para Demócrito, se dividíssemos a matéria em partes cada vez menores chegaríamos em uma partícula indivisível, que em grego significa átomo. Para ele, existiam diversos formatos de átomos que se combinavam entre si através de ganchos e engates, o que explica a diversas substâncias existentes. (PIRES, 2008).

De acordo com Rocha (2002, p. 59):

O atomismo é um sistema de pensamento extremamente avançado para a sua época e possui, ao nosso ver, grandes virtudes, sendo uma delas a de eliminar o pensamento antigo o medo e a superstição provados pela intervenção de deuses vingativos e ciumentos, permitindo ao universo uma evolução livre feita de acordo com a dança combinatória dos átomos. Além disso, o atomismo sustenta até hoje a base do pensamento científico ocidental, qual seja, a de dividir um sistema complexo e mutante em partes indivisíveis e, portanto, sem estrutura interna. É a técnica de “dividir por partes para entender o todo”. Essa concepção científico-filosófica constitui-se numa das grandes sínteses do pensamento ocidental, que persiste na

ciência moderna, e que se harmoniza perfeitamente com a cosmovisão cartesiana-newtoniana na qual um Deus bíblico cria o universo a partir de matéria informe e desorganizada, provendo-o de leis mecânicas que regerão a sua evolução dentro de uma cadeia de causas e efeitos primários e secundários.

A hipótese atômica dos gregos não pode ser considerada um modelo científico pois não faziam experiências, o que importava era o raciocínio filosófico que permitia explicar, por meio da lógica, a composição da matéria.

Durante a idade média o atomismo desenvolvido por Demócrito desapareceu por completo, mas a corrente que afirmavam a existência de uma mínima parte dos corpos não havia morrido. Em comentários gregos a Aristóteles, por exemplo, é citada a ideia dos chamados "os mínimos" (mínimas partes) dos corpos. (MORA, 2004).

Como bem nos assegura Mora (2004), pode-se dizer que a proposta atômica de Demócrito ficou esquecida por muito tempo, quando em 1803, John Dalton, por meio do estudo de reações químicas, redescobriu o átomo.

2.2 A EVOLUÇÃO DOS MODELOS ATÔMICOS

2.2.1 MODELO ATÔMICO DE DALTON

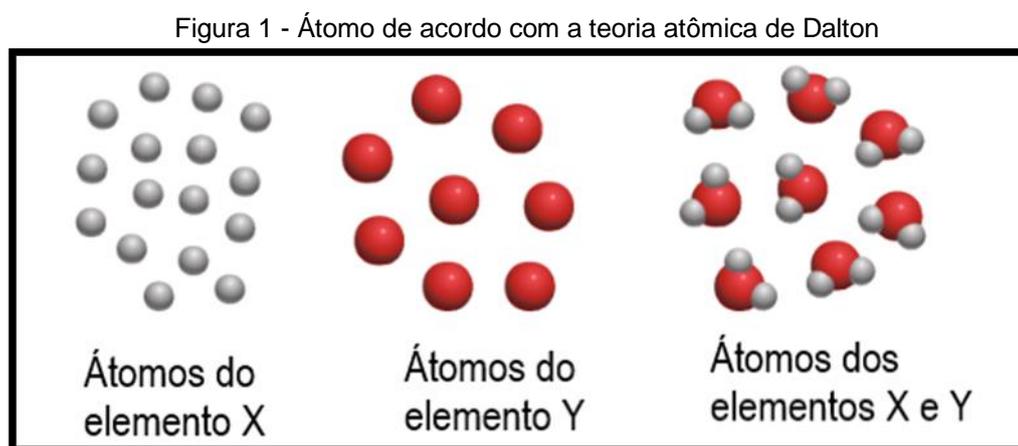
Em 1803 John Dalton (1766-1844) retoma a formulação do átomo. Nesse modelo os átomos são representados por pequenas partículas esféricas, maciças, indivisíveis e tão pequenas que são invisíveis.

O cientista inglês John Dalton, a partir de bases experimentais, propôs em 1803 a sua teoria atômica. Segundo ele a matéria é constituída de pequenas partículas esféricas maciças e indivisíveis, denominada átomos. (PERUZZO, 2012, p. 2)

A diferença entre o modelo de Dalton e o átomo de Demócrito resume-se ao fato de Dalton ter apresentado seu modelo baseado em experiências, logo seu modelo é considerado a primeira evidência consistente do modelo da matéria constituído de átomos.

Segundo Peruzzo (2012), Dalton ainda verificou, através de experiências, que os átomos de diferentes elementos deviam ter tamanhos diferentes e, em seu modelo, eram representados por esferas de massas e tamanhos diferentes.

Conforme verificado por Peruzzo (2012), para a teoria atômica de Dalton, mesmos elementos têm átomos iguais, mas os átomos de elementos distintos são diferentes (Figura 1).



Fonte: Chang e Goldsby (2013, p.39)

Entretanto, através de pesquisas realizadas, descobriu que esse átomo aparentemente indivisível tinha uma estrutura interna. Apesar desse fato, a teoria atômica de Dalton serviu de base para o conhecimento do átomo e de suas propriedades.

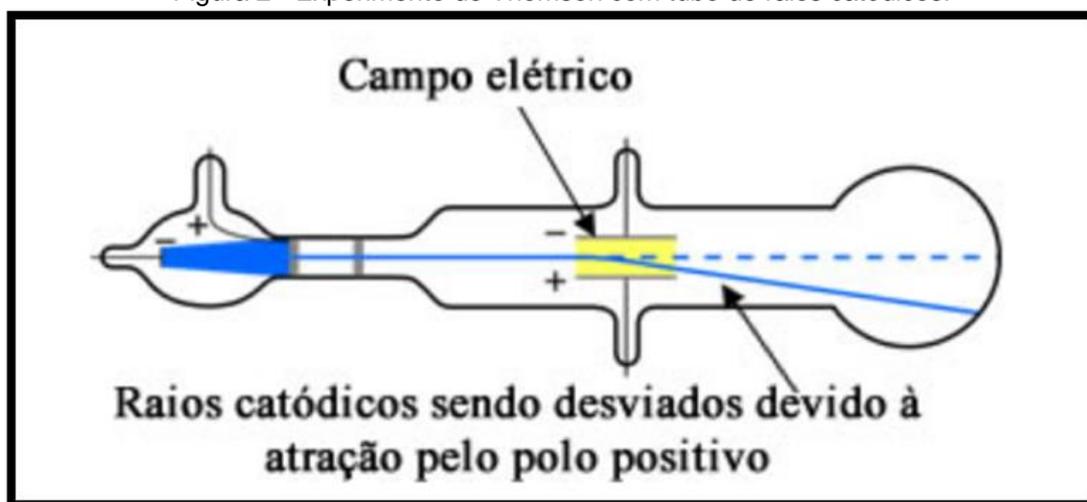
2.2.2 MODELO ATÔMICO DE THOMSON

Concebido no final do século XIX, o modelo de J.J.Thomson (1856-1940) surgiu após a descoberta do elétron. Segundo Abdala (2016, p. 40), " O físico inglês Joseph John Thomson, em uma experiência com raios catódicos, flagrou a divisibilidade do átomo! Descobriu o elétron - a primeira partícula elementar a ter suas características identificadas."

Ao investigar os raios catódicos, raios emitidos quando é aplicado uma grande diferença de potencial entre dois eletrodos, em um tubo de vidro sob vácuo, conhecido como tubos de Crookes, Thomson percebeu o desvio do feixe causado

pelo campo elétrico e campo magnético aplicado aos eletrodos e concluiu que os raios emitidos são partículas negativas provenientes do átomo do catodo (Figura 2), ou seja, do eletrodo de carga negativa, ele ainda percebeu que essas partículas, que posteriormente foram chamadas de elétrons, eram sempre as mesmas, independente do metal usado no catodo. (ATKINS, JONES e LAVERMAN, 2018).

Figura 2 - Experimento de Thomson com tubo de raios catódicos.



Fonte: Fogaça, Jennifer Rocha Vargas

Disponível em <https://www.manualdaquimica.com/quimica-geral/modelo-atomico-thomson.htm>

Pode-se dizer, portanto, que toda matéria é constituída de elétrons (Figura 3). Neste contexto, para Atkins, Jones e Laverman (2018) fica claro que o átomo é divisível.

Para Thomson o átomo continha elétrons incrustado em uma superfície esférica positiva e para manter o átomo estável os elétrons estariam em repouso. Esse modelo ficou conhecido com pudim de passas. (ROZENBERG, 2002).

Figura 3 - O modelo de átomo de Thomson.



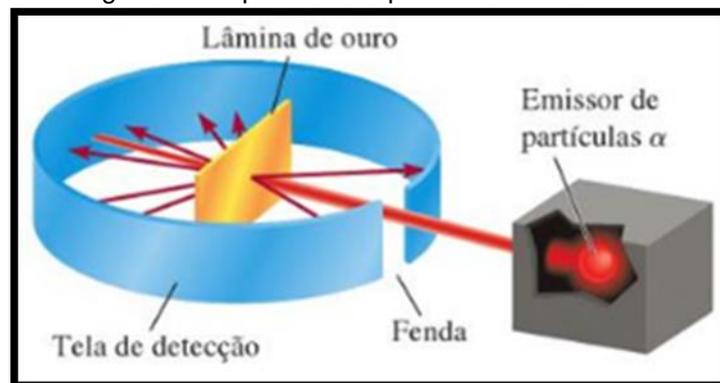
Fonte: (CHANG e GOLDSBY, 2013, p. 43)

Esse modelo, porém, foi abandonado por não conseguir explicar fenômenos ligados ao átomo, tais como, a emissão de luz pelos corpos incandescentes e o espalhamento de partículas alfa pelas lâminas metálicas.

2.2.3 MODELO ATÔMICO DE RUTHERFORD

Em 1911, o ex-aluno de Thomson, Ernest Rutherford (1871-1937), juntamente com seus alunos Hans Geiger (1882-1945) e Ernest Marsden (1889-1970), investigavam o bombardeamento de uma finíssima folha de ouro com um feixe de partículas alfa (partículas positivas) emitidas pelo elemento radioativo polônio (Figura 4).

Figura 4 - Esquema da experiência de Rutherford.



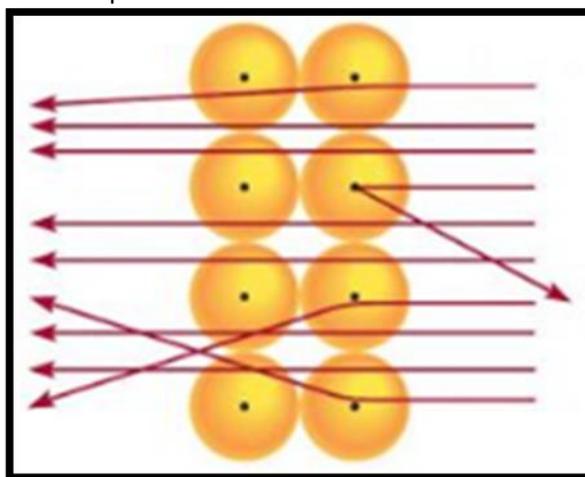
Fonte: Fonte: (CHANG e GOLDSBY, 2013, p. 44)

De acordo com Peruzzo (2012, p. 4-5):

Rutherford e seus alunos H. Geiger e Marsden realizaram um importante experimento em 1911, o qual consistia em bombardear uma finíssima lâmina de ouro (Au) com partículas alfa provenientes do elemento polônio (Po). O material radioativo Po foi colocado dentro de um invólucro de chumbo (Pb) que era dotado de um orifício para focalizar o feixe de radiação. Em volta da placa de Au foi colocada uma tela de sulfeto de zinco que se tornava fluorescente com a incidência de partículas alfa.

No experimento, Rutherford observou que a maioria das partículas atravessou a lâmina de ouro, mas algumas partículas sofriam desvios acentuados de direção e outras voltavam em direção ao sentido que incidiram (Figura 5). Essas observações não eram explicadas pelo modelo atômico vigente na época, ou seja, o modelo atômico de Thomson, pois esperava-se que as partículas alfa atravessassem a folha de ouro quase sem desvio.

Figura 5 - Esquema das partículas α atravessando e sendo defletidas pelo núcleo.



Fonte: Fonte: Chang e Goldsby (2013, p.44)

Surpreso com as observações, Rutherford declarou:

Foi tão inacreditável como se você atirasse um obus (peça de artilharia semelhante a um morteiro comprido) de 15 toneladas sobre um pedaço de seda e ele atingisse e voltasse. (CHESMAN, ANDRÉ e MACÊDO AUGUSTO, 2004, p. 124)

Então concluiu:

Refletindo, percebi que esse retroespalhamento deveria ser produzido por uma única colisão, e fazendo as contas vi que seria impossível obter qualquer coisa dessa ordem de grandeza, exceto em um sistema em que a maior parte da massa do átomo estivesse concentrada em um núcleo diminuto. Foi, então, que tive a ideia de um átomo com a carga (positiva) e a massa concentrada em uma minúscula região central. (CHESMAN, ANDRÉ e MACÊDO AUGUSTO, 2004, p. 125)

A passagem sem desvios das partículas alfa pela lâmina de ouro fez Rutherford concluir que nos átomos prevalecia um espaço quase totalmente vazio e que deveria existir uma carga elétrica positiva no átomo para criar a enorme força de repulsão necessária para mudar a direção da partícula alfa e que essa carga deve estar concentrada em um volume muito pequeno, ou seja, o núcleo, então quando a partícula alfa se aproxima do núcleo ela é repelida, pois ambas têm carga positiva (PERUZZO, 2012).

De acordo com Peruzzo (2012, p. 6):

Rutherford afirmou ainda que os elétrons encontram-se em movimento circular em torno do núcleo, numa região denominada eletrosfera, com uma velocidade tal que a força elétrica de atração exercida pelo núcleo é equilibrada pela força centrípeta. Através de muitos cálculos Rutherford chegou à conclusão de que o tamanho do átomo seria de 10.000 a 100.000 vezes maior que o tamanho do núcleo. O diâmetro do átomo, em termos aproximados, varia de 1×10^{-8} cm a 3×10^{-8} cm e o diâmetro do núcleo, de cerca de 1×10^{-12} cm à 3×10^{-12} cm.

Sendo assim, podemos concluir que a lâmina de ouro é constituída por átomos formados por um núcleo muito pequeno e denso carregado positivamente no seu centro, rodeado de uma região comparativamente grande onde estão os elétrons, a eletrosfera, esses elétrons precisam estar orbitando ao redor do núcleo positivo com determinada velocidade, pois de outro maneira seriam atraídos eletricamente pelo núcleo.

Assim, Rutherford propôs outro modelo atômico, que veio a substituir o modelo do seu ex-professor, segundo o qual o átomo possui as seguintes características:

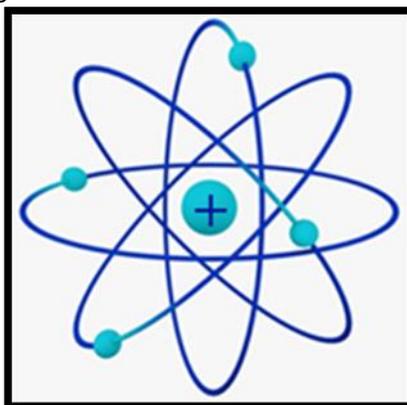
I) O átomo não é maciço, mas formado por uma região central, denominada de núcleo, que é muito pequeno em relação ao diâmetro do átomo, ou seja, o átomo é praticamente um vazio.

II) O núcleo concentra toda a massa do átomo e é dotado de carga elétrica positiva.

III) Na eletrosfera, região ao redor do núcleo, giram em órbitas circulares os elétrons.

O modelo de Rutherford ficou conhecido como modelo planetário, pois era comparado ao sistema solar, onde os planetas são atraídos pela força gravitacional do sol e não seguem em direção a ele (Figura 6).

Figura 6 - Modelo atômico de Rutherford.



Fonte: <http://modelosatomicos101.blogspot.com/2018/04/modeloatomico-de-rutherford-este-modelo.html>

Apesar do modelo atômico de Rutherford prever a existência de carga positiva no núcleo do átomo, essa partícula só foi descoberta em 1919 pelo próprio Rutherford.

Finalmente, em junho de 1919, Ernest Rutherford publica seus resultados sobre a primeira desintegração artificial, num artigo sobre as colisões da partícula α contra átomos leves. No trabalho, mostra que, quando as partículas α incidem sobre o nitrogênio, produzem núcleos de hidrogênio (prótons) transmutando o nitrogênio em outro elemento, o ${}^8\text{O}^{17}$, um isótopo do oxigênio – descoberta de forma inequívoca o próton. (ABDALLA, 2016, p. 48).

O próton é formado por outras partículas e sua massa de $1,673 \times 10^{-27}$ kg é cerca de duas vezes maior do que a do elétron.

Já para o parceiro do próton no núcleo, Rutherford não tem o mesmo êxito.

Para manter a estabilidade do núcleo, Rutherford e outros físicos, sugeriram, em 1920, a existência de uma partícula neutra formada por um próton e um elétron, pois dessa forma, o elétron constituinte de tal partícula poderia escapar do núcleo dando origem aos raios β . Entretanto, essa ideia não triunfou, pois a Mecânica Quântica providenciou contraprovas que culminaram no abandono do modelo. Apesar disso, a ideia de partículas neutras no núcleo não foi abandonada, ao contrário, muitas observações corroboraram para sua permanência, dentre elas, a descoberta dos isótopos, que se diferem uns dos outros pela diferença de seus núcleos, e essa diferença poderia ser um indicativo de partículas neutras, que receberam o nome de nêutrons. (ABDALA, 2016).

Alguns pesquisadores chegaram perto de evidenciar a existência dos Nêutrons, entre eles, Walter Bothe, Herbert Becker e o casal Jean Frédéric Joliot e Irène Curie, mas coube a James Chadwick, em 1932, a descoberta.

Assim como Bothe e Becker e os Joliot-Curie, Chadwick usou uma amostra de polônio como fonte de partícula (α). Essa radiação α era tão forte que, ao colidir com hidrogênio, hélio, lítio, berílio, carbono, ar e argônio, emitia uma radiação com um poder de penetração realmente muito grande. Essa radiação foi interpretada pelo casal como espalhamento de raios γ pelos prótons. Além disso, era impossível explicar, a menos que se abandonasse as leis de conservação de momento e energia. Chadwick preferiu a solução que previa a existência do parceiro do próton – o nêutron – a abandonar as leis de conservação fundamentais da Física. (ABDALLA, 2016, p.69).

Em 1935 James Chadwick recebe o prêmio Nobel de Física pela descoberta do nêutron.

Apesar do grande avanço, o modelo planetário não conseguia explicar a hipótese dos elétrons orbitarem ao redor no núcleo, pois segundo a teoria eletromagnética de Maxwell, cargas elétricas aceleradas emitem radiação e ao emitir radiação perdem energia mecânica o que resultaria em perda de velocidade, e conseqüentemente, o elétron descreveria uma órbita espiralada até chocar-se com o núcleo e a matéria ser destruída, porém esse fato não é observado, pois a estrutura atômica é estável. Além disso, os resultados de pesquisas realizadas na época, envolvendo o espectro eletromagnético, não eram condizentes com esse modelo atômico.

Todos os modelos de átomos que vimos até agora fazem parte da física clássica, pois seus movimentos e suas estruturas eram explicados pelas leis de Newton, formuladas no século XIX. No Quadro 1 apresentamos um resumo desses modelos.

Quadro 1 - Modelos de átomos da Física Clássica.

DATA	CIENTISTA	MODELO	ESTRUTURAS
1808	Dalton	Esferas maciças e indivisíveis	Redescobre o átomo como partícula, a partir de experiências químicas
1897	Thomson	“Pudim de passas”: uma massa positiva com elétrons incrustados.	Descobre o elétron, ao estudar a corrente elétrica em gases.
1911	Rutherford	“Modelo planetário”: elétrons girando em torno do núcleo, como a Terra gira em torno do sol.	Descobre o núcleo atômico e verifica que o átomo é “mais vazio do que cheio”.

Fonte: Produzido pela autora.

2.2.4 MODELO ATÔMICO DE BOHR

As incoerências apresentadas pelo modelo de Rutherford, em especial não explicar o fato de uma carga elétrica emitir energia na forma de radiação eletromagnética quando se movimenta, não podiam ser solucionadas com modelos e teorias existentes na época.

Fazendo assim, a física clássica entrar em crise, pois se por um lado os resultados experimentais de Rutherford indicavam a existência de um núcleo com elétrons orbitando ao seu redor, por outro lado, a teoria eletromagnética de Maxwell afirmava que elétrons em movimento perdem energia sob forma de radiação o que faria os elétrons em torno do núcleo percorrerem órbitas cada vez menores até chocarem com o núcleo do átomo, impossibilitando, assim, a existência do átomo.

Em 1860, James Clerk Maxwell desenvolveu a teoria que todas as formas de radiação são propagadas no espaço vibrando um campo elétrico e outro magnético, perpendiculares entre si. Com a irradiação contínua de energia, os elétrons teriam suas órbitas diminuídas progressivamente, tendo de girar mais rápido para compensar a atração eletrostática do núcleo continuamente aumentada com a diminuição da distância entre as cargas. (BIEHL, 2003, p. 111).

De acordo ainda com Biehl (2003, p. 111):

Usando as equações de Maxweel, pode ser demonstrado que o átomo modelo de Rutherford duraria apenas 10^{-11} segundos.

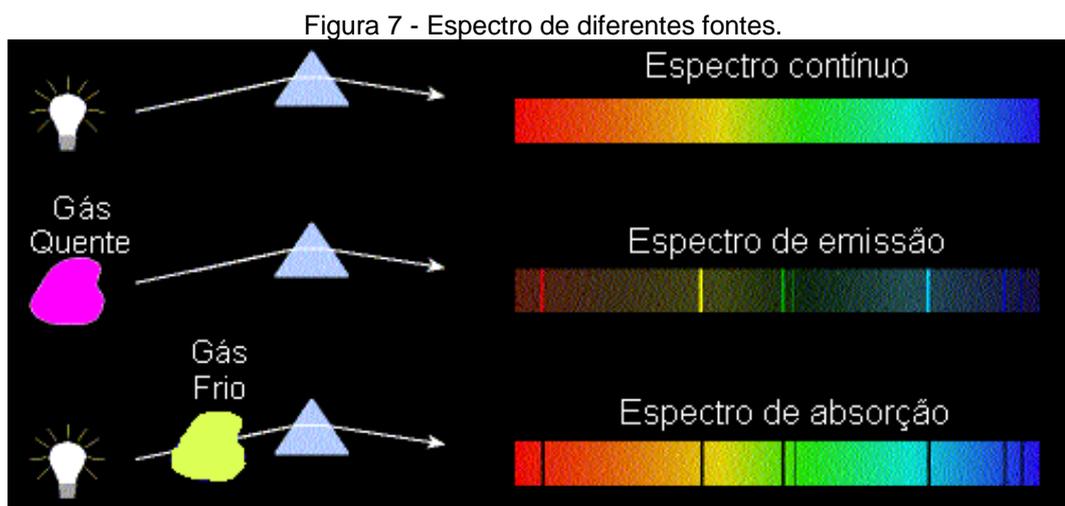
Essa contradição só foi resolvida, quando em 1913 Niels Bohr (1885-1962), propôs uma solução para conciliar as leis da física clássica com os resultados experimentais de Rutherford, ficando o modelo conhecido como Rutherford-Bohr ou simplesmente modelo de Bohr. Esse novo modelo atômico foi fundamentado no conhecimento da estrutura do modelo planetário de Rutherford e incluía algumas propostas em voga na época.

Sabia-se na época que certos materiais, quando aquecidos a certas temperaturas, brilham emitindo luz. Essa luz quando atravessa um prisma é separado em suas cores fundamentais, sendo que cada elemento químico apresenta um padrão próprio de emissão de luz, conhecido como seu espectro. (ABDALLA, 2006).

A análise das cores de qualquer tipo de luz emitida pelos corpos se chama espectroscopia e o espectro da luz decomposta é registrado em filmes fotográficos.

Quando é feita a espectroscopia da luz branca, obtém-se um espectro contínuo, mas ao analisar o espectro de qualquer substância aquecida, suficientemente, até atingir o estado gasoso, o espectro apresenta algumas cores concentradas, denominadas linhas espectrais ou raias, revelando que apenas algumas frequências são emitidas

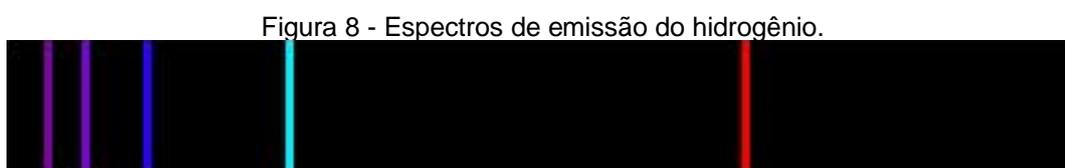
pela luz capturada pelo espectrômetro, isso porque cada substância possui um espectro de emissão diferente. Além do espectro de emissão, existe o espectro de absorção. A análise dos espectros permite inferir quais substâncias ou elementos químicos estão sendo analisados (Figura 7).



De acordo com Rocha(2002, p. 319):

Um outro tipo de espectro é denominado "espectro de absorção" ou "espectro de linhas escuras", e o mesmo aparece quando a luz branca é forçada a atravessar os vapores de uma substância a uma temperatura relativamente baixa. Nesse caso, os vapores frios irão absorver as mesmas frequências de luz que irradiariam (emitiriam) se estivesse muito quentes. Tais frequências (cores) absorvidas são, então, extraídas da luz branca que atravessa os vapores. O espectro resultante surge com linhas escuras, nos mesmos lugares onde surgiriam num espectro de linhas brilhantes da mesma substância.

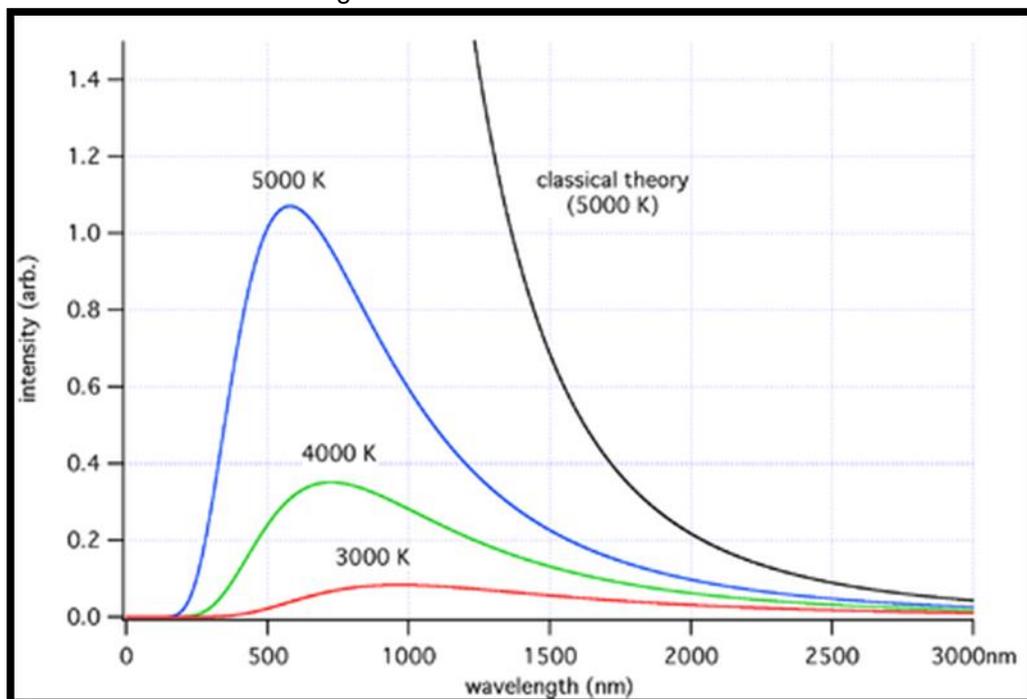
Vale ressaltar que o modelo atômico de Rutherford não era consistente com os espectros observados, foi quando então Bohr propôs um modelo fundamentado nos espectros de emissão do hidrogênio (Figura 8).



O modelo de Bohr também foi alicerçado na quantização de energia proposta por Max Planck (1858-1947), proposta esta que solucionou o problema do corpo negro (corpo ideal que absorve toda radiação incidente sobre ele) e na teoria dos fótons de Einstein, que explicou o efeito fotoelétrico.

O problema do corpo negro era que os dados experimentais não condiziam com as previsões da física clássica, que dizia que um corpo, quando aquecido, emite radiação eletromagnética em um espectro contínuo característico, que depende basicamente da temperatura. Observando o gráfico (Figura 9) para pequenas frequências (grandes comprimentos de onda) o resultado da curva experimental corresponde com a previsão teórica (clássica), mas para pequenos comprimentos de onda, enquanto a teoria clássica previa que a densidade de energia tende ao infinito, a experiência mostrava a densidade de energia tendendo a zero. Essa discrepância entre dados teóricos e experimentais ficou conhecida como catástrofe do ultravioleta, por ser mais notável na região do comprimento de onda do ultravioleta.

Figura 9 - Catástrofe do ultravioleta.



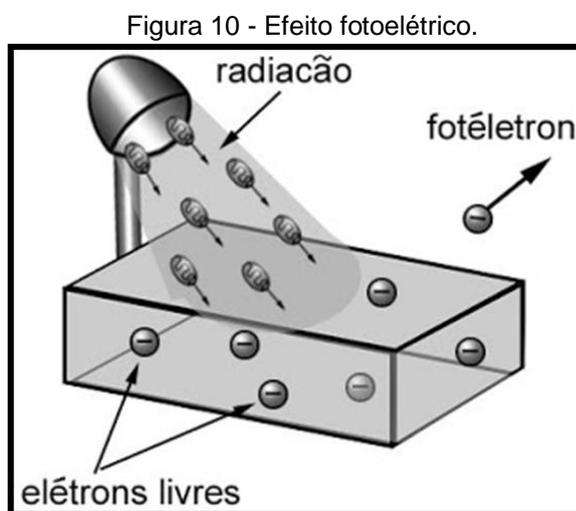
Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Mec%C3%A2nica_cl%C3%A1ssica.

A solução para esse problema foi realizada por Planck em 1900 ao introduzir a teoria dos quanta.

A teoria de uma emissão contínua não concordava com os experimentos sobre a relação entre a intensidade e a frequência de energia. Planck postulou a emissão ou absorção de energia em forma descontínua, segundo certos quanta ou "quantidades". A fórmula $E = hf$, em que 'E' se lê 'energia', 'f' se lê 'frequência de vibração' e 'h' se lê 'constante de Planck' ou 'quantum', significa que a energia de um quantum é diretamente proporcional à frequência da onda associada. (MORA, 2004, p. 2426).

De acordo com Planck, a matéria só pode absorver ou emitir energia em quantidades discretas e bem definidas, chamadas de "pacotes" ou "quantum" de energia.

Em 1905, Albert Einstein (1879-1955), valeu-se da hipótese de Planck para explicar o efeito fotoelétrico (Figura 10), fenômeno no qual determinadas substâncias liberam elétrons quando atingidas por radiação eletromagnética. Assumindo o pressuposto da quantização, Einstein sugere que a luz é formada por pequenos "pacotes de energia", chamados de fóton, proporcionais à sua frequência.



Fonte: <http://modeloatomico3.blogspot.com/2011/04/efeito-fotoeletrico.html>

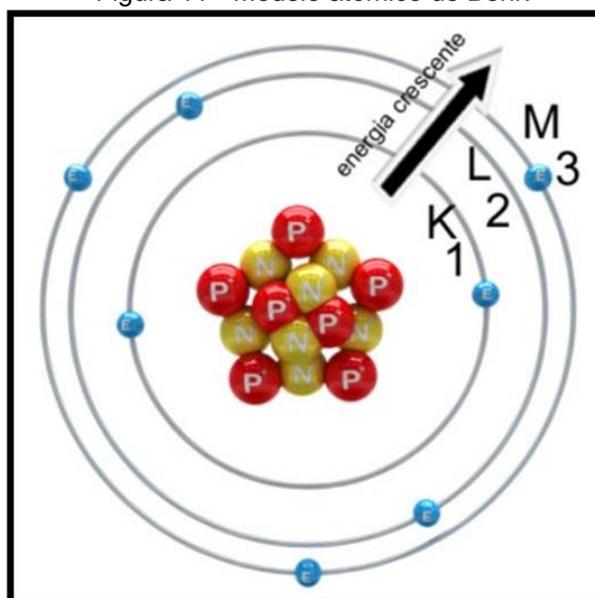
Quando a luz incide sobre uma placa metálica, a luz transmite energia necessária para liberar elétrons, tornando a placa carregada positivamente. O elétron para ser libertado da placa precisa de uma certa quantidade de energia fornecida pelo fóton, ou seja, deve existir uma frequência mínima da radiação incidente para que os elétrons sejam emitidos.

O efeito fotoelétrico não podia ser explicado pela teoria ondulatória da luz. No entanto, Einstein fez uma suposição extraordinária. Sugeriu que um feixe de luz é, na realidade, um feixe de partículas. Essas partículas de luz são agora conhecidas como fótons. Usando a teoria quântica da radiação proposta por Planck como ponto de partida, Einstein deduziu que cada fóton deve possuir uma energia E , dada pela equação $E = hf$, em que f é a frequência da luz. (CHANG, 2010, p. 206).

A partir de então, a radiação eletromagnética passou a ser compreendida através do seu caráter ondulatório e seu caráter corpuscular.

Bohr, aplicando todo esse conhecimento e certo de que não havia sentido em tratar classicamente a energia dos elétrons, estabeleceu um novo modelo atômico para o átomo (Figura 11).

Figura 11 - Modelo atômico de Bohr.



Fonte: <https://www.manualdaquimica.com/quimica-geral/modelo-atomico-rutherford-bohr.htm>

De acordo com Abdalla(2006, p. 54):

Convicto de que a Mecânica Clássica não seria mesmo capaz de descrever o átomo de hidrogênio, Bohr imaginou uma variação do modelo de Rutherford formada por um núcleo carregado positivamente no centro e um elétron, carregado negativamente, orbitando em torno da carga positiva. Bohr imaginou também que a soma das duas cargas tinha um valor total igual a zero, sendo o átomo eletricamente neutro. Mas onde posicionar o elétron? o modelo postulava uma série de órbitas possíveis para acomodá-lo, chamadas de "órbitas estacionárias", arranjadas em círculos concêntricos. O elétron só poderia mover-se em uma das órbitas disponíveis em torno do núcleo.

Depois de formular seu modelo, Bohr postulou:

1) Postulado dos estados estacionários

Bohr admitiu que o átomo de hidrogênio podia existir, sem irradiar, em qualquer estado de um conjunto discreto de estados estacionários, com energias bem determinadas. (HALLIDAY, RESNICK e WALKER, 1995, p. 162).

2) Postulado da frequência

Bohr admitiu que o átomo de hidrogênio podia absorver ou emitir energia exclusivamente quando o átomo passava de um estado estacionário para outro. A energia do fóton absorvido, ou emitido, seria igual à diferença das energias dos dois estados. (HALLIDAY, RESNICK e WALKER, 1995, p. 162).

Com seus postulados Bohr proporcionou uma grande evolução no entendimento do átomo, porém sua teoria só atingiu êxito para o átomo de hidrogênio, não apresentando resultados tão precisos para os outros átomos. O seu modelo mistura conceitos da Física Clássica com Física Quântica, contudo apresenta contradições com esta.

2.2.5 – MODELO DA MECÂNICA QUÂNTICA

As contradições do Modelo de Bohr com a Física Quântica só começaram a ser resolvidas em 1925, com as proposições de Erwin Schrödinger (1887-1961), que introduziu equações baseadas nas equações de ondas, mostrando que os elétrons podem se comportar como ondas, e Werner Heisenberg (1901-1976) com a formulação do princípio de incerteza.

Em 1927, Heisenberg formula o princípio de incerteza, segundo o qual, não se pode determinar simultaneamente a posição e a velocidade de uma partícula, ou seja, se medirmos a posição de uma partícula, perdemos a informação sobre a sua velocidade, e se determinamos a velocidade dessa partícula, tornamos indeterminada sua posição. Logo, essas medidas não podem ser feitas concomitantemente, pois a natureza não nos permite, sendo um limite fundamental do conceito de partícula.

Segundo Halliday, Resnick e Walker (1995, p. 185): o princípio da incerteza de Heisenberg proporciona a medida quantitativa desta limitação:

Suponhamos que tentemos medir, simultaneamente, a posição e o momento de um elétron que se move sobre o eixo x. Seja Δx a incerteza na medida da posição e Δp_x a incerteza na medida do seu momento. O princípio de incerteza de Heisenberg afirma que $\Delta x \cdot \Delta p_x \approx \hbar$.

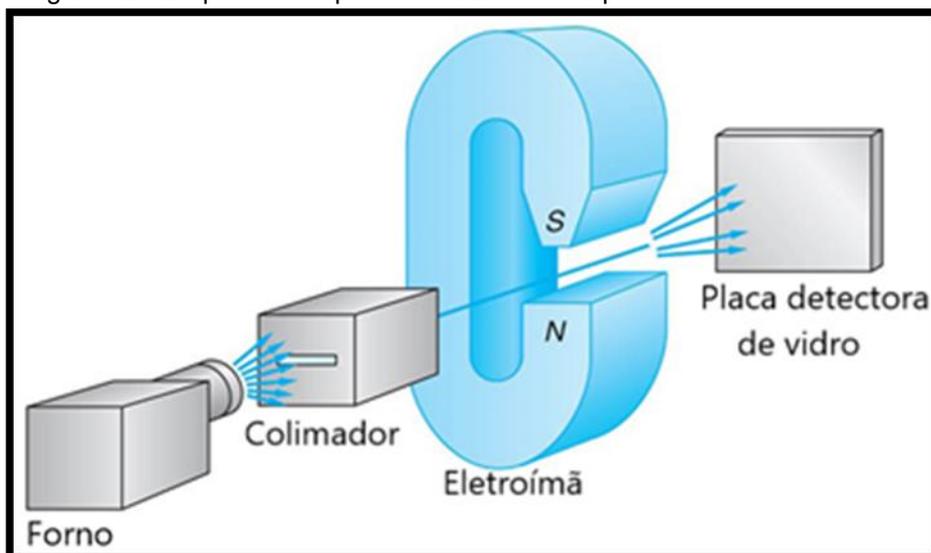
Com a verificação do princípio de incerteza em diversos experimentos, ficou demonstrada a impossibilidade de se determinar um caminho a ser percorrido pelo elétron no interior de um átomo, fato em desacordo com o modelo de Bohr, que previa órbita circulares para o movimento dos elétrons.

Além de Schrödinger e Heisenberg, outros físicos contribuíram para a criação de um novo modelo para o átomo, o chamado modelo da mecânica quântica, entre eles, Planck, Einstein, De Broglie e Dirac.

Nesse novo modelo, a ideia de órbita é substituída pelo conceito de orbital, que é uma região no espaço, ao redor do núcleo, em que é mais provável encontrar o elétron, contradizendo o modelo de Bohr, onde cada nível de energia corresponde a uma órbita onde o elétron deveria estar. No modelo da Mecânica Quântica, a energia é associada a cada orbital atômico, sendo os orbitais definidos por quatro números quânticos, que correspondem à localização mais provável de um determinado elétron. Sendo esses números quânticos: número quântico principal (n), número quântico secundário ou azimutal (l), número quântico magnético (m ou ml) e número quântico spin (S ou m_s).

Em 1922, Otto Stern e Walter Gerlach, a partir de experiências com campos magnéticos não-uniforme, forneceram mais evidências da natureza quântica do átomo, verificando a quantização espacial. A Figura (12) mostra o esquema do aparelho utilizado por Stern e Gerlach.

Figura 12 - Esquema do aparelho utilizado na experiência de Stern- Gerlach.



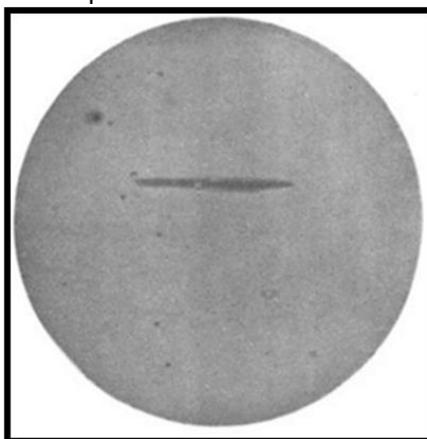
Fonte: <https://www.filofima.com.br/fisica/quantica/5c-hidrogenoides.html>

Conforme Halliday, Resnick e Walker (1995, p. 206), a experiência de Stern-Gerlach pode ser descrita assim:

Átomos de prata provenientes da vaporização da prata num “forno” eletricamente aquecido se espalham por efeito de vácuo através de um pequeno orifício na parede do forno. A seguir, esses átomos (que são elementos neutros, mas têm momento magnético) passam por uma fenda colimadora formando um feixe estreito. Esse feixe atravessa a região entre os pólos de um eletroímã e, finalmente, deposita-se numa placa detectora de vidro.

A experiência de Stern-Gerlach mostra que quando o eletroímã do aparelho está desligado, os átomos do feixe não são desviados, formando uma linha sobre a placa detectora (Figura 13).

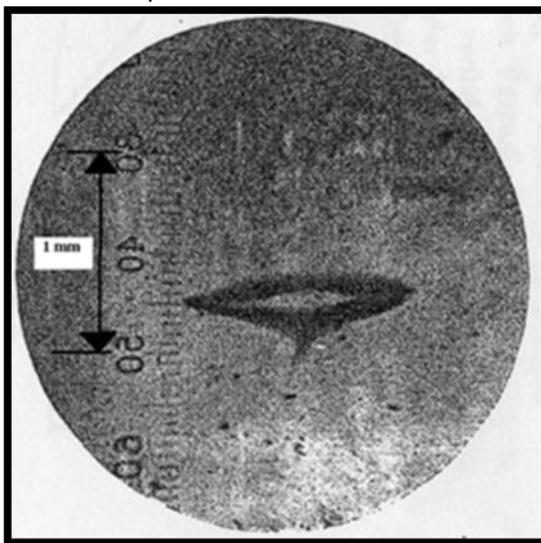
Figura 13 - Resultado da experiência de Stern-Gerlach sem campo magnético.



Fonte: https://www.researchgate.net/figure/Pattern-created-by-a-ray-of-silver-atoms-in-the-original-Stern-Gerlach-experiment-left_fig1_325217695

Entretanto, quando o eletroímã está ligado, o feixe se divide em dois subfeixes, ou seja, todas as partículas foram desviadas para cima ou para baixo, com a mesma intensidade, desenhando uma figura simétrica, sem nenhum átomo atingir a zona central, sugerindo, então, que os átomos de prata possuíam apenas duas orientações em seu momento magnético, e, portanto, de seu momento angular, verificando, assim, a quantização espacial (Figura 14), um resultado inexplicável para a física da época.

Figura 14 - Resultado da experiência de Stern-Gerlach com campo magnético.



Fonte: http://www.fisicacuantica.es/experimento_stern-gerlach/

O resultado observado na experiência de Stern-Gerlach ficou sem explicação até 1925, quando a introdução do spin permitiu sua interpretação.

Segundo Halliday, Resnick e Walker (1995, p. 207):

Os momentos angulares de spin e os momentos angulares orbitais dos elétrons de um átomo de prata cancelam-se uns aos outros, com exceção do momento angular de spin de seu único elétron de valência. Este spin só pode ter duas orientações, descritas por $m_s = +1/2$ e $m_s = -1/2$: é por isso que são dois subfeixes, e não um outro número.

Portanto, na experiência Stern-Gerlach, as partículas com um componente de spin, com valor $+1/2$, são desviadas para cima, e partículas com componente de spin, com valor $-1/2$, são desviadas para baixo.

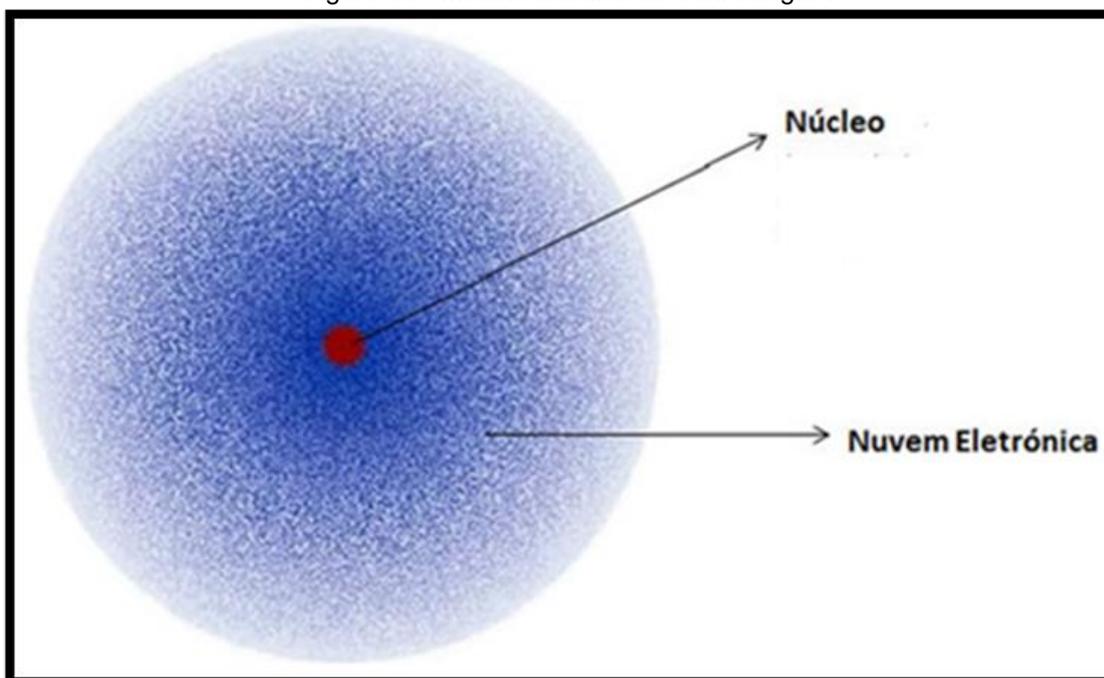
A partir de então, a ideia clássica do átomo teve de ser abandonada. As partículas, que até então, eram representadas sob a forma de objetos, geralmente pequenas esferas, passaram a ser descritas por equações matemáticas (sem forma e sem tamanho).

Entre os modelos atômicos da mecânica quântica, podemos citar os de Broglie e o de Schrödinger.

De Broglie insere em seu modelo atômico a dualidade do elétron (partícula-onda), postulando que “a todo elétron em movimento está associada uma onda característica”.

Por fim, Schrödinger, usando o princípio de incerteza de Heisenberg, abandona a ideia de órbitas ao redor do núcleo atômico, propondo o modelo de orbitais atômicos, que como já descrevemos, são regiões no espaço que apresentam a máxima probabilidade de se encontrar um elétron, essa região se assemelha a uma nuvem eletrônica (Figura 15). Cabe ressaltar que o modelo atômico atual é o modelo de Schrödinger.

Figura 15 - Modelo atômico de Schrödinger .



Fonte: <http://www.explicatorium.com/cfq-9/modelo-nuvem-eletronica.html>

2.3 O MODELO PADRÃO DAS PARTÍCULAS ELEMENTARES

No século XX descobriram-se várias novas partículas e fez surgir um novo ramo na Física, denominado Física de Partículas ou Física de Altas Energias, que estuda o menores constituintes da matéria e radiação, bem como as interações entre elas.

Cabe ressaltarmos que uma das referências na Física de Partículas no Brasil é o professor de Física da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Alberto Santoro.

Santoro fez parte do experimento que descobriu o quark top, partícula elementar encontrada em 1995 no experimento (D0) DZero do Fermilab.

Como o aumento do número de partículas descobertas, houve a necessidade de organizá-las através de uma teoria, surgiu assim o Modelo Padrão das Partículas Elementares, ou simplesmente Modelo Padrão, uma teoria sobre as partículas elementares, as forças que atuam entre elas e as leis que governam essas forças. Esse modelo tem sido um sucesso, pois os dados obtidos em experimentos, principalmente nos aceleradores de partículas, podem ser explicados por tal teoria.

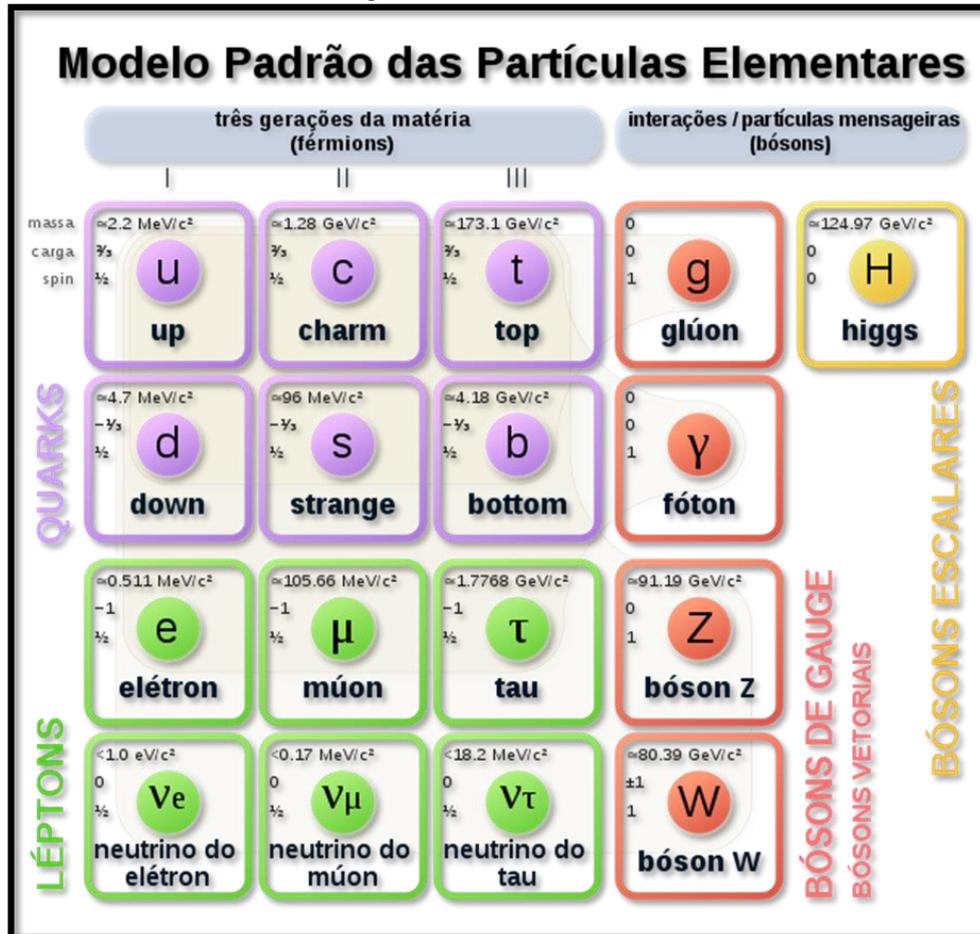
O modelo que tenta descrever a natureza da matéria, ou de que é feito o universo e como se aglutinam suas partes, em termos de quatro forças, quatro partículas (virtuais) mediadoras e 12 partículas fundamentais é o chamado modelo padrão. (MOREIRA, 2011, p. 84).

Surgiram tantas partículas subatômicas que foi necessário organizá-las em famílias. Partículas de spin semi-inteiros são chamados de férmions, já as que têm spin inteiros são chamados de bósons. Os férmions com carga elétrica fracionária são chamados de quarks e os outros chamados de léptons.

Existem seis tipos de léptons, e seis antiléptons, somando doze partículas elementares. Existem seis quarks, cada um aparecendo em três cores, totalizando 18 quarks, sendo que cada um tem seu antiquark, adicionando mais 36 partículas elementares. Existem, ainda, 13 tipos de bóson mediadores, sendo 8 glúons, as partículas W^+ , W^- , Z^0 , fóton e o bóson de Higgs. Sendo, portanto, um total de sessenta e uma partículas elementares.

De acordo com o Modelo Padrão (Figura 16), os quarks, os léptons e os bóson mediadores formam o quadro das partículas elementares que compões toda a matéria.

Figura 16 - Modelo Padrão.



Fonte: https://www.wikiwand.com/pt/B%C3%B3son_de_calibre

2.4 AS PARTÍCULAS ELEMENTARES

Partículas elementares são partículas sem estrutura interna, ou seja, partículas que não podem ser quebradas. Como bem nos assegura Marques (2010), partículas elementares são, de forma metafórica, tijolinhos que formam todas as coisas que existem ou já existiram.

Apesar das definições acima serem bem simples, na perspectiva da Mecânica Quântica, como afirma Abdalla (2016, p. 30), a explicação é mais complicada:

Do ponto de vista teórico, o conceito que define uma partícula elementar é antes de tudo, de natureza abstrata e matemática. Todas as partículas elementares são descritas por objetos matemáticos denominados funções de onda, a partir das quais são extraídas informações sobre a dinâmica de tais partículas. A função de onda que descreve uma partícula elementar não pode ser redutível à função de onda de outras partículas.

Para Marques (2005, p. 1), o estudo das partículas elementares facilita entendermos a constituição da matéria, suas propriedades e interações:

A Física de Partículas tem como seu objetivo o estudo dos constituintes fundamentais da matéria, suas propriedades e suas interações, sendo que a Física de Partículas moderna é o mais ambicioso e organizado esforço humano para compreender a matéria no seu nível mais básico. Para tanto, utilizamos grandes aceleradores de partículas, os quais são os maiores microscópios já construídos, chegando a explorar distância da ordem de 10^{-18} m, ou seja, 10^{-8} do tamanho do átomo!

No final do séc. XIX, devido aos limites experimentais, acreditava-se que o átomo fosse a partícula elementar que formava todas as coisas. Entretanto, no final do mesmo século o átomo foi quebrado por J. J. Thomson e a primeira partícula elementar, o elétron, foi então descoberta. No início do séc. XX ficou claro que os átomos eram formados por uma eletrosfera onde orbitavam os elétrons, e um núcleo formado por prótons e nêutrons, que na época também eram consideradas partículas elementares.

As partículas elementares são bem diferentes dos objetos que observamos no nosso dia a dia, o que dificulta sua compreensão, sendo que poucas delas são eternas, como por exemplo o decaimento de uma partícula. A maioria delas jamais serão encontradas livres, ou seja, elas só são encontradas em associação com outras (confinadas), e algumas passam por processo de mutação de um tipo para outro, como acontece com os neutrinos.

Para o processo de entendimento das partículas elementares é importante considerar alguns atributos que lhes são peculiares, entre os quais destacamos a massa, a carga e o spin.

A massa das partículas elementares deve ser examinada através do entendimento da Teoria da relatividade Restrita. Segundo Albert Einstein, através da relação $E = mc^2$, onde E é energia, m a massa e c a velocidade da luz, logo podemos associar a massa de um corpo com uma determinada energia. (MARQUES, 2010).

Outro atributo bem típico das partículas elementares é a carga elétrica, a qual se manifesta em quantidades discretas.

A carga elétrica de uma partícula lhe permite atrair ou repelir outras partículas. Assim como a massa, algumas partículas elementares não possuem esse atributo, como por exemplo, o neutrino.

O spin também é um atributo das partículas elementares, porém seu entendimento é difícil, pois é uma grandeza física sem um correspondente clássico.

De acordo com Abdalla (2016, p. 34):

Spin é um dos números quânticos característicos das partículas elementares. É a propriedade associada ao movimento de rotação devido a velocidade angular em torno do seu próprio eixo e que independe de sua velocidade linear. ... O spin de uma partícula é revelado mediante a ação de um campo magnético externo ao qual a partícula é submetida.

Como já dito, o spin também é usado para classificar as partículas, sendo as partículas com spins semi-inteiros chamadas de férmions, como por exemplo os elétrons, já as partículas com spins inteiros são chamadas de bósons, como o fóton.

A importância da classificação das partículas através do seu spin é que: “Os férmions obedecem ao princípio de exclusão de Pauli, que afirma que um certo estado quântico só pode ser ocupado por uma única partícula. Os bósons não obedecem a este princípio. A um certo estado quântico pode ser atribuído um número qualquer de bósons. Uma vez que as partículas procuram os estados de menor energia, os bósons tendem a se aglomerar nos estados de menor energia.” (HALLIDAY, RESNICK e WALKER, 1995, p. 301).

Segundo Halliday (1995), as partículas também podem ser classificadas através das forças que atuam sobre elas. Lembrando que existem quatro forças fundamentais, que são: A força gravitacional, que apesar de atuar em todas as partículas, seus efeitos são desprezíveis para partículas subatômicas, a força eletromagnética que atua em partículas carregadas, a força forte que é responsável por manter o núcleo coeso e que age somente em algumas partículas, e a força fraca, que age em todas as partículas e que está envolvida, como por exemplo, no decaimento beta e em processos análogos.

Agora, apresentaremos as partículas elementares, através da sua divisão em famílias: léptons, quarks e bósons mediadores.

2.4.1 LÉPTONS

Os léptons são partículas elementares que não são afetados pela força forte. Existem seis tipos de léptons, três que possuem carga elétrica e três chamados de neutrinos.

Os que possuem carga elétrica são:

a) Elétron (e)

Como já relatado o elétron foi a primeira partícula elementar descoberta, quando em uma experiência com raios catódicos, em 1897, J. J. Thomson descobre a partícula. Os elétrons existem desde o início do universo, sendo suas propriedades utilizadas no nosso dia a dia, através de fenômenos associadas a essa partícula.

O elétron é o mais leve dos léptons, cuja massa de apenas $9,10938 \cdot 10^{-31}$ kg = $0,511$ MeV/c² resulta na sua estabilidade, como bem afirma Marques (2010):

“O elétron é, portanto, cerca de 2000 vezes mais leve que o próton. É uma das partículas mais leve dentre todas. Só os neutrinos têm massas menores que essa. A leveza do elétron é sua fonte de estabilidade. Por não existirem partículas mais leves do que o elétron, simplesmente ele não tem como desaparecer. Ou seja, sua estabilidade resulta da conservação da carga elétrica e da energia.” (MARQUES, 2010, P.152).

O elétron tem carga negativa, cujo módulo foi medido com precisão em 1909 por Robert Andrews Milikan, obtendo-se o valor de $1,602 \cdot 10^{-19}$ Coulombs.

O número quântico de spin do elétron é descrito pelo número $\frac{1}{2}$, o que significa que o elétron só pode existir em dois estados distintos.

De acordo com Marques (2010, p.153):

Devido ao seu spin, o elétron se comporta como um pequeno ímã. Assim, o spin tem relação direta com as propriedades magnéticas dos materiais. Em particular, o magnetismo dos ímãs tem a ver unicamente com o spin do elétron. Em geral, a orientação dos spins num determinado material se dá ao acaso. Assim, a soma dos spins resulta ser nula. Nos materiais ferromagnéticos (ímãs), os spins atuam cooperativamente de forma tal que a soma dos diminutos ímãs não seja nula.

b) Múon (μ)

O múon foi a quinta partícula elementar a ser descoberta (1937) e o seu processo de previsão, detecção e interpretação envolveu um enigma cheios de conclusões apressadas.

A origem desse enigma se dá em 1933 quando Hideki Yukawa (1907-1981) propôs a partícula Méson π ou pión. Ele sugeriu a existência de uma partícula com massa cerca de duzentas vezes maior que a do elétron e que poderia ser emitida e absorvida por prótons e nêutrons. A troca dessa partícula entre as partículas do núcleo atômico seria a responsável pela atração de curto alcance, um raio da ordem de 10^{-13} cm, entre eles. Para Yukawa essa força de atração seria bem mais forte que a força eletromagnética, explicando assim, a estabilidade nuclear. (ABDALLA, 2016).

Cerca de três anos após a proposição de Yukawa, Carl Anderson (1905-2004) e Seth H. Neddermeyer (1907-1988), realizando pesquisas com raios cósmicos, anunciam evidências do Méson π . Porém estudos posteriores mostraram se tratar de uma outra partícula, o Méson μ ou Múon, sendo o valor da sua carga elétrica e de seu spin os mesmos do elétron e sua massa 207 vezes maior que a do elétron, cuja

interação com a matéria é muito fraca, não podendo ser, portanto, o méson de Yukawa que age através da interação forte.

Segundo Eisberg e Resnick (1979, p. 802), “Os muons não participam na teoria de Yukawa sobre a origem da interação forte, embora tal fato tenha sido percebido muito tempo depois de sua descoberta, em 1936, por Anderson e Neddermeyer”.

O dilema da partícula de Yukawa, o méson π , só foi resolvido em 1947, quando então, a partícula é detectada. E apesar de não ser uma partícula elementar, vamos abordá-la devido sua importância para a Física, em especial, para a Física no Brasil, pois é nesse ponto que entra a enorme contribuição do físico brasileiro César Lattes.

O méson π , ou pión, foi descoberto logo após a segunda guerra mundial com a brilhante e fundamental participação de Cesare Mansueto Giulio Lattes (1924-2005), ou simplesmente César Lattes, quando tinha apenas 23 anos.

Aluno Precoce, Lattes concluiu sua graduação em Física e Matemática aos 19 anos de idade na Universidade de São Paulo (USP). Precoce também foi sua carreira científica. “Em 1946 foi para Bristol, na Inglaterra, trabalhar com o físico nuclear inglês Cecil Frank Powell (1903-1969). Foi lá que Lattes viu indicações, em chapas fotográficas, de um segundo tipo de méson.” (PIRES e CARVALHO, 2014, p. 102).

As chapas fotográficas com espessas camadas de emulsão (chamadas emulsões nucleares) eram utilizadas para fotografar o rastro de um méson e os produtos de sua desintegração e pelo estudo dessas trilhas, examinava-se a massa, energia e outras propriedades da partícula. Porém essas experiências, que eram realizadas no Pic du Midi, na França, a 2800 m de altitude, utilizando esses tipos de chapas, o registro era praticamente zero. Foi quando, então, Lattes pede ao físico Giuseppe Occhialini, que seguia para o Pic du Midi, levar algumas emulsões, diferentes das usadas até então, embebidas em bórax.

De acordo com Lattes (2001, p. 11):

Pedi a Occhialini, que havia decidido tirar férias nos Pireneus (Pic-du-Midi e cercanias), que levasse com ele, para uma exposição de cerca de um mês, caixas de emulsões. Algumas estavam carregadas com bórax e outras eram normais (sem bórax). Todas eram feitas com o novo tipo de emulsão concentrada B1, para o qual já estava disponível uma relação alcance-energia. As chamadas chapas normais deveriam ser usadas no estudo de raios cósmicos de baixa energia e também como controles, para ver se estávamos detectando nêutrons de raios cósmicos.

Ainda segundo Lattes (2001, p.11):

Quando Occhialini processou as emulsões, na mesma noite em que chegaram do Pic-du-Midi, ficou claro que as emulsões carregadas com bórax tinham muito mais eventos que as não-carregadas; que o bórax, de algum modo, evitava que a imagem latente desaparecesse (as chapas normais exibiam muito fading). A variedade de eventos nas chapas com bórax e a riqueza de detalhes tornaram evidente que a detecção de energia do nêutron era apenas um resultado colateral.

Lattes descobre uma estação meteorológica, localizada em Chacaltaya na Bolívia, com mais de 5 quilômetros de altitude e lá deixa as placas fotográficas expostas por um mês. A análise dessas fotografias revela a existência de duas partículas. O já conhecido Méson μ ou múon e o méson π , também chamado de pión. O pión é criado por partículas cósmicas de alta energia sofrendo colisões nucleares ao atravessar a atmosfera. (PIRES e CARVALHO, 2014).

Em 1947 Lattes vai a Berkeley, Califórnia onde através do acelerador de partículas existente lá detecta tanto píons positivos, quanto negativos.

Assim, em 1947 termina a procura da partícula de Yukawa, com a descoberta do pión pelos físicos Cecil Frank Powell, Giuseppe Occhialini e César Lattes. Lattes ganha, assim, fama internacional, porém quem ganha em 1950 o prêmio Nobel de Física pela descoberta da partícula, por ser chefe da equipe, é Powell.

c) Tau (τ)

O tau foi descoberto em 1975 por Martin Perl ao observar o processo de aniquilação entre elétrons e pósitrons. Fazendo parte da terceira geração de léptons, essa partícula, tem massa cerca de duas vezes maior do que o próton e três mil e quinhentas vezes mais maciço que o elétron, sendo, assim, o lépton mais pesado (ABDALLA, 2016).

Assim como o múon, o tau também é uma partícula instável e apresenta tanto carga positiva quanto negativa.

Os léptons sem carga elétrica são chamados de neutrinos, sendo eles:

a) Neutrino do elétron (ν_e)

Um nêutron do núcleo, no decaimento β , emite um elétron e se transforma em um próton, violando, aparentemente, a conservação de energia e do momento angular de spin.

Para explicar a aparente violação na conservação de energia, o físico Wolfgang Pauli (1900-1958), em 1930, propõe que uma partícula era emitida juntamente com o elétron levando com ela a energia desaparecida.

Essa partícula foi inicialmente chamada apenas de neutrino e depois de neutrino do elétron, sendo a terceira partícula elementar a ser estudada.

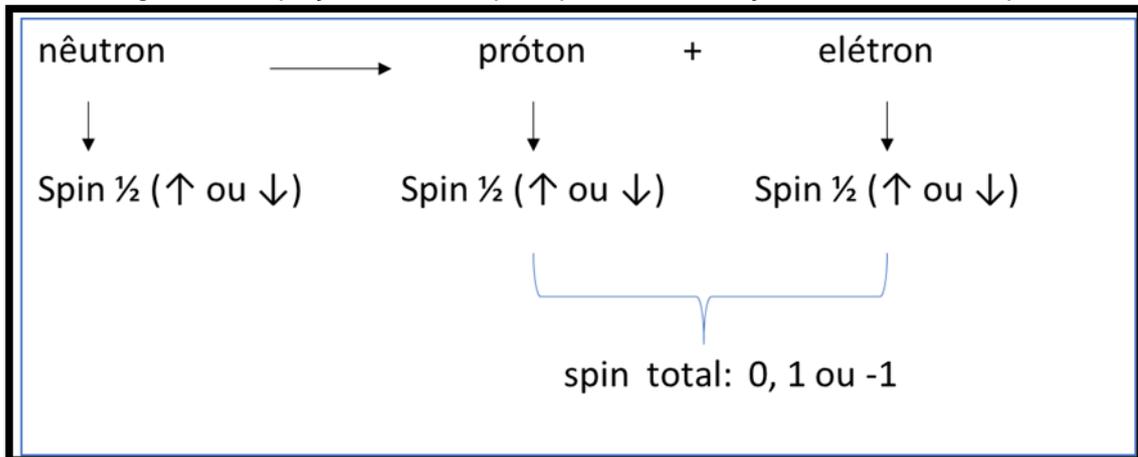
De acordo com Abdalla (2016, p. 54):

Pauli postulou a existência de uma partícula leve, neutra e fracamente interagente com a matéria, para explicar a aparente falha da conservação de energia nas medidas do chamado decaimento β .

Com a descoberta do nêutron em 1932, por James Chadwick, ficou provado que não há elétrons no núcleo, então, além do problema da conservação de energia no decaimento β , havia também o problema da conservação do momento angular de

spin. Sendo um férmion, o momento angular de spin do nêutron é (\uparrow ; $+\frac{1}{2}$) ou (\downarrow ; $-\frac{1}{2}$) e conforme a equação abaixo (Figura 17), seria impossível decompô-lo em próton e elétron, pois violaria o princípio de conservação do momento de spin.

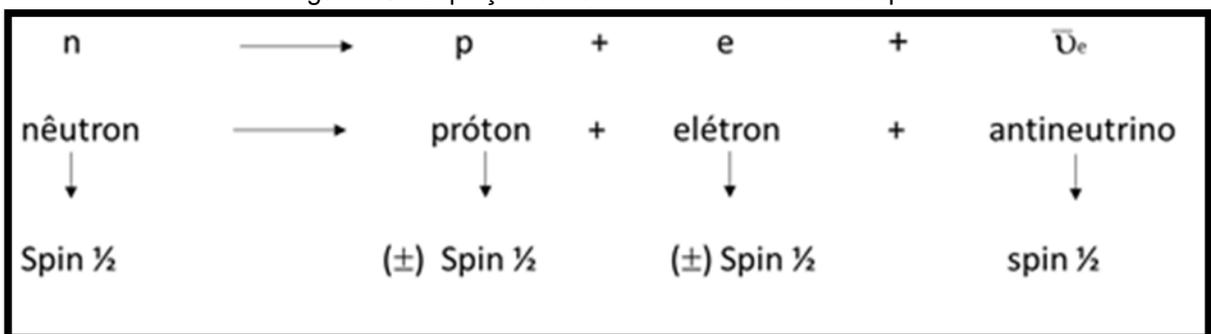
Figura 17 - Equação violando o princípio de conservação do momento de spin.



Fonte: Produzida pela autora

Para resolver o problema, Enrico Fermi sugere uma força capaz de converter um nêutron em um próton, junto com a emissão de um elétron e uma partícula, o neutrino, de carga elétrica e massa de repouso iguais a zero, resolvendo, então, a falha na conservação do momento de spin, conforme demonstrado na equação a seguir (Figura 18).

Figura 18 - Equação conservando o momento de spin.



Fonte: Produzida pela autora.

É importante, lembrarmos que, na verdade, a partícula que resulta desse processo é o antineutrino e não o neutrino como achavam.

O neutrino do elétron só foi detectado em 1956, no reator nuclear Savannah River, na Carolina do Sul, Estados Unidos, sendo que sua confirmação foi realizada por Clyde Cowan e Frederick Reines. (ABDALLA, 2016).

Apesar dos neutrinos não existirem de forma permanente na natureza, eles podem ser produzidos em raios cósmicos e em aceleradores de partículas. Sendo, os que são gerados nos raios cósmicos, abundantes e bilhões deles cruzam nosso corpo a cada segundo. (PIRES E CARVALHO, 2014)

b) Neutrino do Múon (ν_μ)

Utilizando o acelerador AGS – Alternating Gradient Synchrotron, os pesquisadores, Leon Lederman, Melvin Schwartz e Jack Steinberger, da Universidade de Columbia, Estados Unidos, descobrem, em 1962, a primeira evidência do neutrino do múon. (ABDALLA, 2016)

O neutrino do múon é uma partícula, assim como todos neutrino, estável.

c) Neutrino do Tau (ν_τ)

O neutrino do tau foi a penúltima partícula elementar a ser descoberta. Assim como o elétron e o múon tinham seus neutrinos, esperava-se que o tau também deveria vir acompanhado por seu neutrino.

A busca dessa partícula, iniciou-se, oficialmente, em 1997, por físicos que trabalhavam no acelerador Tevatron do Fermilab. O aparato utilizado para detectar o neutrino do tau foi chamado de DONUT – Direct Observation of de Nu Tau, que no ano 2000 exibiu evidências concretas da existência do neutrino do tau. (ABDALLA, 2016).

O Quadro (2), resume as características dos léptons.

Quadro 2 - Resumo das características dos léptons.

Família de Spin ½	Partícula	Carga Elétrica	Quem descobriu (ano)	Onde/como de	Massa (Mev/C ²)
Elétron	e	-1	J. J. Thomson (1897)	Ampola Crookes	0,511
	ν_e	0	C. Cowan e F. Reines (1956)	Reator	<0,00001
Múon	μ	-1	S. Neddermeyer e C. Anderson (1937)	Raios cósmicos	105,648
	ν_μ	0	L. Lederman, M. Shwartz e J. Steinberger (1962)	BNL	<0,27
Tau	τ	-1	M. Perl (1975)	SLAC	1776,99
	ν_τ	0	DONUT (2000)	Fermilab	<31

Fonte: Abdalla (2016, p.145).

Assim finalizamos a família dos léptons, lembrando que para cada um dos léptons existe um antilépton com a mesma massa, porém com carga elétrica oposta.

2.4.2 QUARKS

Existem seis tipos de quarks, também chamados de sabores. Sendo eles: up (u), down (d), Charm (c), Strange (s), top (t) e bottom (b). Todos possuem spin ½ e carga elétrica fracionária.

Conforme Pires (2008, p. 432) "Os quarks d, s, e b possuem uma carga elétrica de -1/3 (em unidades de carga do próton) e os outros carga de 2/3. A existência destas cargas com valores fracionários foi um "resultado assustador" pois até então não havia nenhuma evidência experimental de cargas isoladas menores do que a carga do próton". Dessa forma fica evidente que a carga de uma partícula pode ser fracionária, porém ela não é observada, pois os quarks sempre se juntam em combinações com carga elétrica total inteira.

Por possuírem spin meio, os quarks, pelo princípio de exclusão de Pauli, não podem ocupar o mesmo estado quântico. Entretanto existem partículas formadas por mais de um quark idêntico no mesmo estado. Para resolver este dilema, o físico O. W. Greenberg sugeriu que cada sabor dos quarks podia existir em três estados diferentes que ele chamou de cor (vermelho, verde e azul), sendo que a cor não tem nada a ver com o sentido real do nome, ela representa um estado quântico, assim sendo, é possível existir partículas de quarks idênticos (sabor) desde que cada um tenha cor diferente. (PIRES, 2008).

Existem mais de duzentos hádrons e todos eles podem ser descritos pelo modelo de quarks, mostrando quão notável é esse modelo.

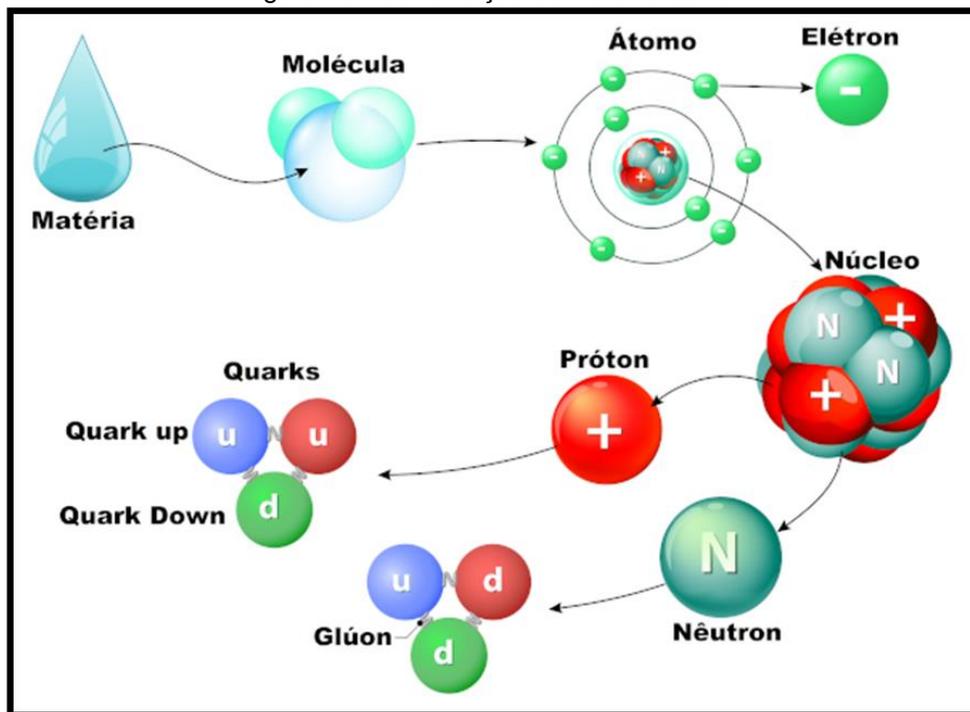
Vamos a partir desse ponto apresentar a descobertas dos quarks:

a) Up (u), Down (d) e Strang (s)

Os físicos Jerome Friedman, Henry Kendal e Richard Taylor do SLAC – Stanford Linear Accelerator Center, observaram a primeira evidência dos quarks dentro do próton. Antes disso, em 1964, o físico Murray Gell-Mann propôs que todos os hádrons seriam formados por três partículas fundamentais, sendo elas: up (u), down (d) e strang (s), as quais deu o nome de quarks. (ABDALLA, 2016).

Toda matéria comum é feita pelos quarks up e down (Figura 19), citando como exemplos, o próton (uud) e o nêutron (udd). Esses quarks também formam outras partículas observáveis apenas em laboratório.

Figura 19 - Constituição da matéria comum.



Fonte: <https://www.manualdaquimica.com/quimica-geral/atomo.htm>

Quanto a proposta do quark strang ou estranho (s), surgiu em 1965, dez anos após a divulgação de uma nova lei de conservação chamada estranheza, que surgiu para explicar estranhos comportamentos de algumas partículas. (ABDALLA, 2016).

O número quântico estranheza foi sugerido do Gell-Mann, que propôs sua conservação nas interações fortes, mas não nas interações fracas, o que vem a explicar o tempo tão pequeno ($10^{-23}s$) para a produção abundante de partículas estranhas, que é regida pela força forte, enquanto seu decaimento, regido pela força fraca, era bem mais lento ($10^{-8}s$). (ABDALLA, 2016).

As fontes de observação das partículas estranhas eram apenas os raios cósmicos, mas hoje elas também são produzidas em laboratório.

b) Charme (c)

Gell-Mann havia proposto que todos os hádrons seriam formados por apenas três partículas fundamentais, mas ainda em 1964, James Daniel Bjorken e Sheldon Lee Glashow propuseram a existência do quark charmoso. A ideia da introdução desse

quarto quark se deve a uma simples questão de simetria, pois para os autores deveriam existir quatro quarks, pois na época, existiam quatro léptons (elétron, múon e seus neutrinos). (ABDALLA, 2016).

Assim como o quark estranho, o quark charme é uma partícula instável que pode ser observada em raios cósmicos e em laboratórios.

Após dez anos de sua proposição, o quark charme (c) é descoberto simultaneamente por Burton Richter, do SLAC, que chamou a partícula de Psi, e C. C. Ting, do BNL, que nomeou a partícula de J. Por isso, o quark charmoso ficou conhecido como partícula J/Psi. (ABDALLA, 2016).

c) Bottom (b)

Em 1977, Leon Lederman, líder de um grupo do Fermilab, observa o quinto quark, bem mais pesado do que qualquer partícula já descoberta, que deu o nome de bottom (b). (ABDALLA, 2016).

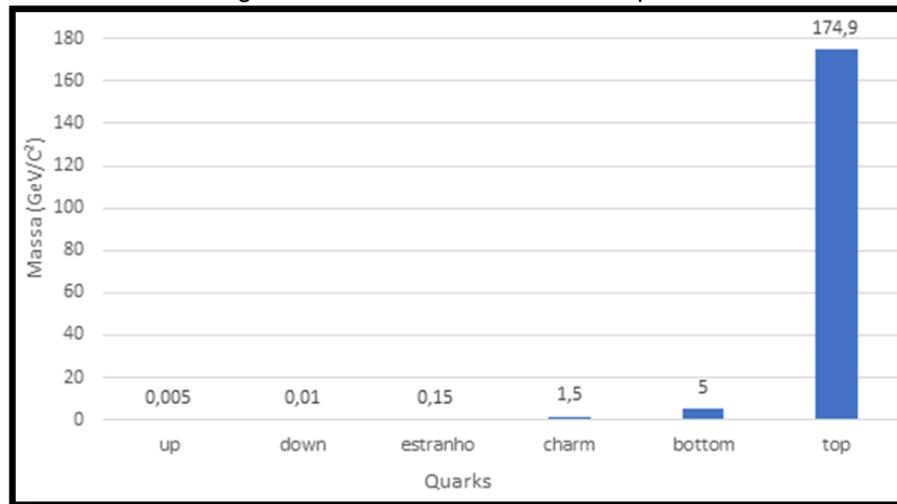
d) Top (t)

Com a descoberta do quark bottom, teóricos começaram a especular sobre a existência de um sexto quark para completar a simetria. Após várias tentativas para detectá-lo, em 1995, no acelerador Tevatron no Fermilab, o sexto e último quark, de nome top (t) foi finalmente observado, cuja massa é da ordem de um átomo inteiro de ouro. (ABDALLA, 2016).

O quark top só existiu em condições naturais na época do Big-bang e agora só pode ser recriado, por um breve instante, em aceleradores de altas energias.

Assim, finalizamos a família dos quarks, mostrando na Figura (20) a relação de massas dos quarks e no Quadro (3) um resumo de suas características.

Figura 20 - Escala de massas dos quarks.



Fonte: Produzido pela autora

Quadro 3 - Resumo das características dos quarks.

Família de Spin ½	Partícula	Carga Elétrica	Quem descobriu (ano)	Onde/como	Massa (Mev/C²)
Primeira Geração	up (u)	2/3	M. Gell-Mann e G. Zweig (1964)	Modelo de quarks	3
	Down (d)	-1/3	M. Gell-Mann e G. Zweig (1964)	Modelo de quarks	6
Segunda Geração	estranho (s)	-1/3	G. D. Rochester e C. C. Butler (1947)	Partículas V	100
	charme (c)	2/3	Richter e Ting (1974)	SLAC e BNL	1.300
Terceira Geração	bottom (b)	-1/3	L. Lederman (1977)	Fermilab	4.300
	top (t)	2/3	Colaboração CDF, DØ (1995)	Fermilab	175.000

Fonte: Abdalla (2016, p.140).

2.4.3 BÓSONS

Os bósons são partículas com spin inteiro, logo não obedecem ao princípio de exclusão de Pauli. Existem duas classes de bósons, os mésons, que não são fundamentais e os bósons mediadores das interações entre léptons e quarks, que são partículas elementares. Os bósons fundamentais são: o fóton, os bósons w e z, os glúons, e o bóson de Higgs.

Suspeita-se que as interações gravitacionais sejam intermediadas por um bóson, de massa zero e que interage fracamente com a matéria, chamado gráviton. Considerando a incerteza da existência dessa partícula, nós a excluiremos da nossa pesquisa.

a) Fóton (γ)

O fóton foi a segunda partícula elementar a ser descoberta, quando ao explicar o efeito fotoelétrico em 1905, Einstein propõe que a luz é formada por partículas denominadas fótons.

Conforme Abdalla (2016, p. 44) "Einstein explicou o efeito fotoelétrico propondo a luz formada por partículas elementares às quais hoje damos o nome de fótons". Entretanto, o reconhecimento do fóton como uma partícula elementar, só ocorreu após a descoberta e interpretação do efeito Compton em 1923.

O Fóton é uma partícula sem massa e sem carga elétrica, responsável por intermediar a força eletromagnética. Sendo mais veloz que qualquer outra partícula, sua velocidade é de aproximadamente $c = 299.792.458\text{m/s}$ (velocidade da luz). Essa velocidade independe do referencial adotado e da energia do fóton.

Os fótons existem desde o início do universo, e são bastante numerosos, sendo que para cada próton existe pelo menos um bilhão de fótons no universo. (MARQUES, 2010).

De acordo com Marques (2010, p. 64):

As cores têm uma íntima ligação com uma propriedade dos fótons: a sua energia. Assim, a luz ultravioleta é aquela composta por fótons de maior energia. Os fótons menos energéticos compõem a luz vermelha. A luz branca resulta de uma soma de fótons com as mais variadas energias, mas com energia entre os dois extremos citados acima. Estes extremos (violeta e vermelha) se referem à parte visível do espectro de frequências.

Frisamos que fótons com energia muito alta, dependendo da dose, provocam danos aos seres humanos, pois produzem a ionização da matéria, como é o caso do raio x.

b) Bósons de Gauge: Z^0 , W^+ , W^-

Em 1967, Steven Weinberg, lança uma teoria para explicar a força eletrofraca usando quatro bóson intermediadores. De acordo essa teoria, três bósons eram responsáveis por intermediar a força fraca, sendo eles, os Bósons Z^0 , W^+ , W^- , denominados bósons de gauge e o último bóson é o fóton, que intermedeia a força eletromagnética. (ABDALLA, 2016).

De acordo com Marques (2010, p. 204):

No ano de 1983, dois grupos independentes, trabalhando no CERN, anunciaram a descoberta dos bósons intermediários das interações fracas. Pela descoberta, Carlo Rubia e Simon Van der Meer receberam o prêmio Nobel de Física de 1984.

Os bósons de gauge, são partículas efêmeras, o que leva a instabilidade das partículas que com elas interagem, logo o atributo mais marcante das interações fracas é a instabilidade. Outra característica marcante, dessas partículas, é terem massas muito grandes.

c) Glúons

Como já vimos, os quarks estão sempre confinados, logo deve existir uma força atrativa muito grande entre eles. Essa força é mediada pelo glúon, referindo-se a

palavra em inglês glue, que significa cola, isto significa que os glúons colam os quarks e os mantém unidos.

Então os glúons são partículas mediadoras das interações fortes e foram propostas em 1973. Existem oito tipos de glúons, todos não possuem massa e carga, mas possuem o atributo cor que os diferenciam.

Lembramos que o número quântico cor foi proposto para resolver o problema do princípio de exclusão de Pauli nas partículas de spin $\frac{1}{2}$, como os quarks. Entretanto, segundo Abdalla (2016, p.127) existiu outra razão:

... a razão mais profunda da necessidade desse número quântico extra consiste no fato de a força forte que inter-relaciona os quarks ser mediada pela cor. Em outras palavras, a força entre os quarks tem sua origem na cor. A cor é uma espécie de carga que origina a força forte, da mesma forma que a carga elétrica é fonte da interação eletromagnética.

Também de acordo com Marques (2010, p. 206):

Por serem dotados do estranho atributo denominado cor, os glúons nunca são observados isoladamente. Ninguém jamais encontrará um glúon livre, existem apenas coletivamente, verdadeiras sacolas no interior das quais estão os quarks. Quando dizemos que dois ou três quarks ficam confinados, fica subentendido que confinamos também os glúons, uma vez que eles são trocados continuamente no interior da sacola.

Portanto, os glúons jamais serão identificados isoladamente, sendo sua observação feita apenas de forma indireta.

d) Bóson de Higgs

Algumas partículas foram propostas baseadas em noções de simetria, porém, sabemos que algumas dessas simetrias são apenas aproximações. Havia, então, a necessidade de construir teorias onde a simetria fosse quebrada, sem contradição, é claro, com as observações experimentais.

Em 1964, três artigos foram escritos, de forma independente, sobre uma teoria que descreve o mecanismo de quebra de simetria, entre eles o artigo de Peter Higgs. Entretanto, apenas Higgs menciona a existência de um novo bóson com massa, diferente do bóson sem massa, proposto em 1960, pelos físicos Yoichiro Nambu e Jeffrey Goldstone, para explicar a violação da simetria. O mecanismo descrito por Higgs ficou conhecido como mecanismo Higgs, e o bóson resultante desse mecanismo foi chamado bóson de Higgs. (ROSENFELD, 2013).

O bóson de Higgs é conhecido mundialmente, pelos leigos, como partícula de Deus, esse bóson é uma partícula elementar que, segundo a teoria Higgs, cedeu massa a matéria logo após o Big Bang, o que condicionou o surgimento de tudo que existe no Cosmos. Sendo assim, o bóson de Higgs representa a chave para explicar a origem da massa das outras partículas.

Contudo, não havia, na época, tecnologia necessária para investigar a existência desse bóson. Isso só foi possível a partir de 2008, quando entra em operação o LHC – Grande Colisor de Hádrons, localizado no CERN – Organização Europeia para Pesquisa Nuclear.

Em julho de 2012, cientistas do CERN descobrem uma nova partícula que poderia ser o bóson de Higgs, sua confirmação, entretanto, só ocorre em 14 de março de 2013, quase cinquenta anos após a sua predição por Higgs. No mesmo ano Peter Higgs e Francois Englert recebem o prêmio Nobel de Física pela proposta do mecanismo que dá massa as partículas elementares.

Após a descoberta do bóson de Higgs, os bósons mediadores podem ser resumidos conforme Quadro 4.

Quadro 4 - Resumo das características dos bósons mediadores.

Tipo de interação	Partícula	Spin	Carga	Massa (Gev/C ²)
Eletromagnética	Fóton (γ)	1	0	0
Forte	Glúon (g)	1	0	0
Fraca	Z ⁰	1	0	91,187 ± 0,002
	W ⁺	1	+1	80,423 ± 0,039
	W ⁻	1	-1	80,423 ± 0,039
Fraca	Bóson de Higgs (H)	0	0	125,7 ± 0,4

Fonte: Abdalla (2016, p.229).

Resumindo, existem 61 partículas elementares: trinta e seis quarks, sendo seis sabores, cada um existindo em três cores, mais seus antiquarks; seis léptons e seus antiléptons correspondentes; oito glúons, responsáveis pela força forte; o fóton, que intermedeia a força eletromagnética; os bósons Z⁰, W⁺, W⁻ que descrevem a força fraca; e o bóson de Higgs responsável pela massa das partículas elementares.

2.5 ACELERADORES E DETECTORES

Nesta seção abordaremos os equipamentos e dispositivos que nos permitiram desvendar o mundo das partículas subatômicas, que são os aceleradores e detectores de partículas.

Os aceleradores de partículas são máquinas que aceleram partículas eletricamente carregadas, fazendo com que elas atinjam altas velocidades, lançando-as, em seguida, sobre um alvo ou fazendo-as colidirem com partículas que se movimentam em sentidos opostos.

Segundo Marques (2010, p.72):

O precursor dos aceleradores foi o tubo de raios catódicos. O tubo é um acelerador de elétrons bastante primitivo. Com esse acelerador primitivo J.J. Thomson foi capaz de determinar a relação entre a carga e a massa do elétron.

Na Figura 21, temos o primeiro acelerador de partículas, o tubo de raios catódicos.

Figura 21 - Tubo de raios catódicos.



Fonte:

https://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:JJ_Thomson_Crookes_Tube_Replica.jpg#/media/Ficheiro:JJ_Thomson_Crookes_Tube_Replica.jpg

Antes de continuarmos, vamos relembrar dois conceitos fundamentais para conduzir uma partícula carregada em um acelerador.

O primeiro é que, segundo as leis do eletromagnetismo, uma partícula carregada ao ser submetida a um campo elétrico, tem o valor da sua velocidade alterado. Já o segundo, de acordo com as mesmas leis, diz que uma partícula carregada desvia sua trajetória ao passar por um campo magnético. Portanto, aceleradores de partículas são equipamentos que usam eletromagnetos para acelerar e curvar partículas carregadas.

Os aceleradores de partículas são máquinas utilizadas para estudar os constituintes da matéria, para isso eles convertem a alta energia de movimento das partículas em novos pedaços de matéria. Essa conversão feita pela fórmula $E = mc^2$, expressa a equivalência entre massa e energia. Para tal fim, os aceleradores promovem colisões entre partículas de matéria e quanto maior a energia de colisão, mais descobrimos sobre a estrutura da matéria. (GLEISER, 2014).

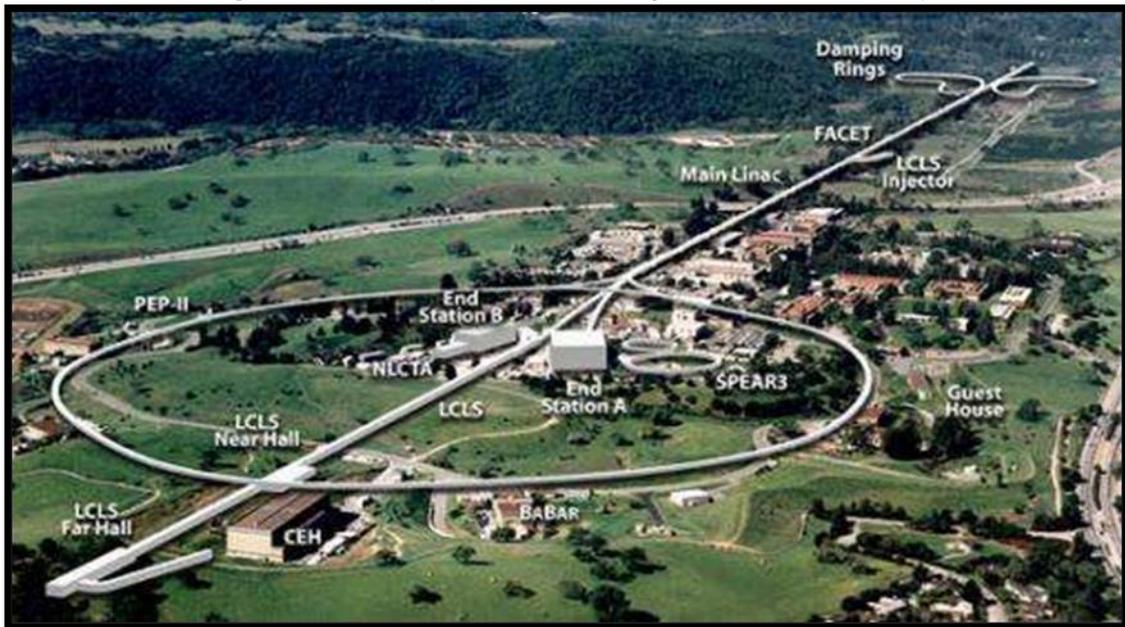
Existem várias maneiras de projetar um acelerador, cada um adaptado a objetivos específicos. Quanto à trajetória seguida pelas partículas, os aceleradores podem ser do tipo linear ou circular.

Nos aceleradores lineares as partículas seguem um caminho retilíneo, sendo submetidas a uma tensão elétrica e a ação de um campo elétrico. A grande vantagem desse tipo de gerador é que as partículas não perdem energia por radiação, porém para as partículas ganharem grandes energias, o acelerador deve possuir comprimento muito extenso, já que a partícula passa apenas uma vez por ele.

Dentre os aceleradores lineares existente, citamos o alojado no SLAC (Centro de Aceleração Linear de Stanford), um acelerador de partículas com 3,2 km de comprimento, que provoca a colisão de elétrons e pósitrons com energias de até 92 GeV. No SLAC foram descobertas as partículas: quark charme em 1974, o lépton tau em 1995, além da confirmação de quarks confinados nos prótons e nêutrons. (PERUZZO, 2012).

Na Figura (22) temos uma imagem aérea do SLAC.

Figura 22 - SLAC (Centro de Aceleração Linear de Stanford).



Fonte: <https://phys.org/news/2012-09-slac-taus-bottom-quarks-standard.html>

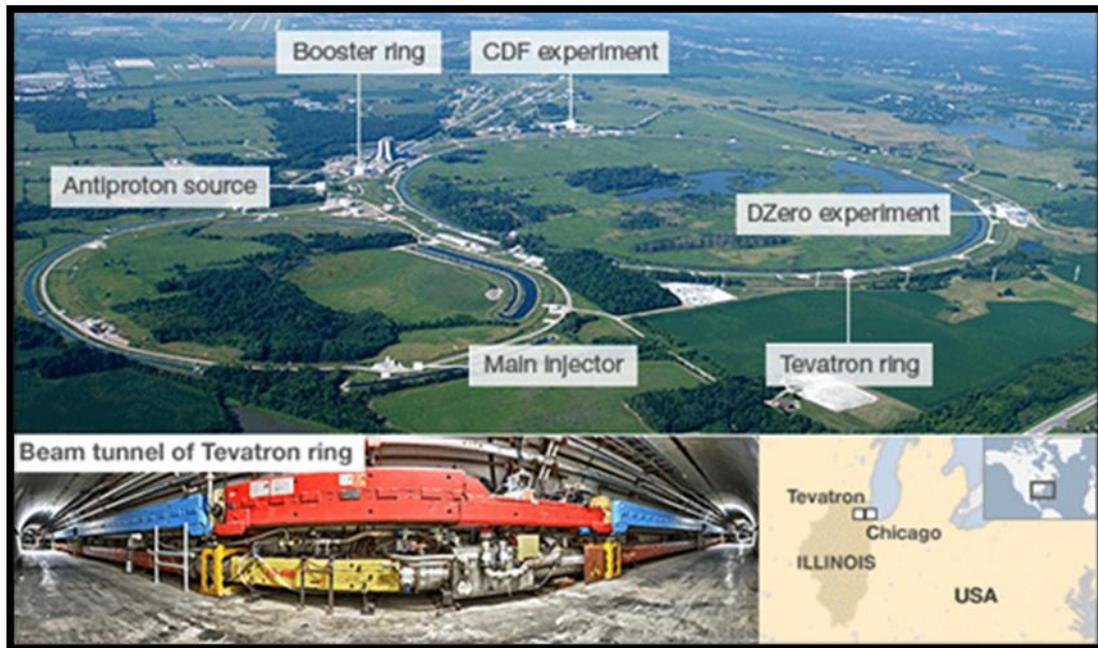
Nos aceleradores cíclicos as partículas são curvadas devido a ação de campos magnéticos, fazendo com que as partículas passem diversas vezes pelo sistema de aceleração, com isso, ganhando mais energia. Entretanto, na realização das trajetórias curvas, as partículas perdem energia por radiação. Os aceleradores circulares também são conhecidos como cíclotrons ou síncrotrons.

Nos cíclotrons as partículas a serem aceleradas são injetados pelo centro e descrevem uma trajetória espiralada, até saírem do acelerador, bombardeando um alvo. Já nos aceleradores síncrotrons, o trajeto das partículas ocorre em órbitas de raios fixos.

Um dos maiores aceleradores cíclicos é o acelerador Tevatron do Fermilab (Laboratório e Acelerador Nacional Fermi), localizado em Illinois. Tendo 6,3 km de circunferência, esse acelerador faz colidir prótons e antiprótons com energias de aproximadamente 2TeV. Seu custo total chega a 420 milhões de dólares, mas sua contribuição na física de partículas também é gigante, dentre as quais estão a descoberta do quark top em 1995 e a medida da sua massa em 2007. (PERUZZO, 2012).

Na Figura (23) temos uma imagem dos anéis do Tevatron.

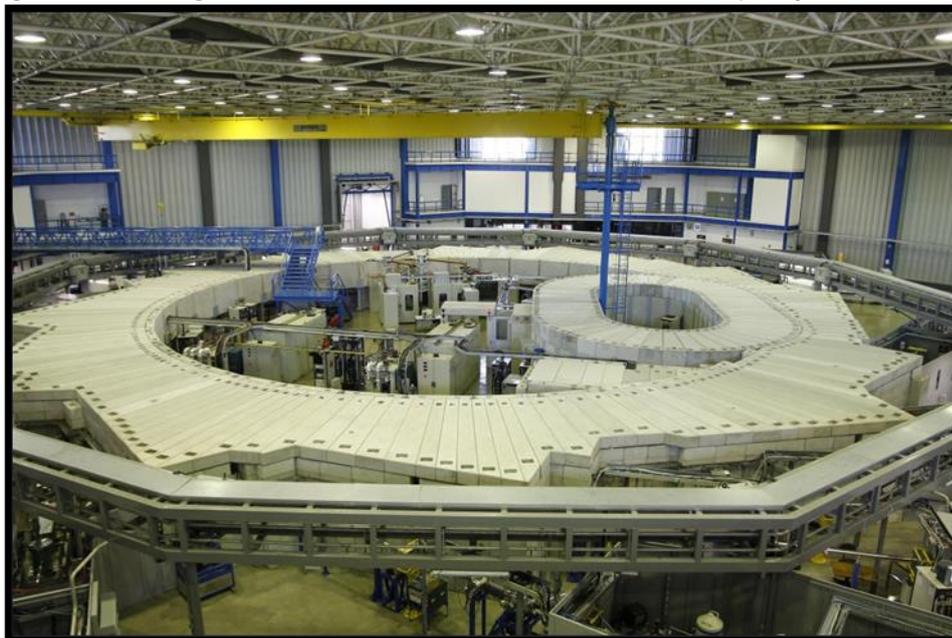
Figura 23 - Tevatron.



Fonte: <https://physicsforme.com/tag/tevatron/>

Neste ponto, ressaltamos um dos mais relevantes aceleradores brasileiros, o LNLS (Laboratório Nacional de Luz Síncrotron) (Figura 24), inaugurado em 1997.

Figura 24 - Vista geral da fonte de luz síncrotron do LNLS em operação desde 1997.



Fonte: <https://cnpem.br/portfolio-item/geral-lnls/>

De acordo com Peruzzo (2012, p. 107):

Certamente um dos mais importantes aceleradores brasileiros é o LNLS (Laboratório Nacional de Luz Síncrotron), localizado em Campinas, SP. O mesmo é utilizado basicamente para pesquisas na área de física da matéria condensada e não na física de partículas. O LNLS é um anel no qual elétrons são acelerados. No movimento circular os elétrons são acelerados e acabam emitindo radiação, chamada luz síncrotron. Essa radiação é utilizada para investigar as propriedades de materiais a nível atômico e moléculas. O LNLS é o único laboratório deste tipo no Hemisfério Sul e foi inteiramente desenvolvido por cientistas, engenheiros e técnicos brasileiros.

Prevista teoricamente em 1944 por Dmitri Iwanenko e Isaak Pomeranchuk, a luz síncrotron é, portanto, um tipo de radiação eletromagnética produzida quando partículas carregadas próximas a velocidade da luz, têm sua trajetória desviada por campos magnéticos, revelando assim a estrutura molecular e atômica da matéria.

Graças a sua função de descobrir a estrutura de diferentes materiais compreendendo assim, suas propriedades fundamentais, a luz síncrotron pode ser utilizada em diversas áreas do conhecimento científico e tecnológico.

2.6 O LHC (THE LARGE HADRON COLLIDER)

Todos os dados dessa seção foram retirados do site do CERN, disponível em <<https://home.cern/>> acesso em 23 set. 2020.

Nessa seção abordaremos sobre o maior e mais poderoso acelerador da atualidade, o LHC (Large Hadron Collider ou Grande Acelerador de Hádrons). Também trataremos dos quatro detectores distribuídos ao longo do anel desse acelerador. Antes, porém, vamos falar do centro de pesquisa onde está localizado o LHC.

O CERN (Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire) em francês, ou em português, Conselho Europeu para Pesquisa Nuclear, fundado em 1954, na fronteira franco-suíça perto de Genebra, possui, atualmente, vinte e três Estados-Membros,

que contribuem para seus custos de capital e operacionais, sendo eles também representados no conselho, que é o órgão responsável por todas as decisões importantes.

O Brasil, apesar de não ser Estado-Membro, tem acordos de cooperação com o CERN.

O CERN tem como principal missão a pesquisa fundamental, fornecendo uma série de aceleradores de partículas aos pesquisadores, para avançar os limites do conhecimento humano, tendo também incumbência de unir pessoas de todo o mundo para expandir as fronteiras da ciência e da tecnologia para benefício de todos.

A cooperação entre nações, universidades e cientistas é o que move as pesquisas do CERN, que desde o seu início tem contribuído, com muitos avanços científicos e tecnológicos para a sociedade, incluindo a World Wide Web (www), inventada pelo cientista britânico Tim Berners-Lee em 1989, enquanto trabalhava no CERN, inicialmente a rede foi concebida para atender à demanda por compartilhamento de informações entre cientistas em todo o mundo. Em 30 de abril de 1993, o CERN colocou o software da World Wide Web em domínio público com a seguinte declaração:

“O CERN renuncia a todos os direitos de propriedade intelectual deste código, tanto a fonte quanto o binário, e a permissão é dada a qualquer pessoa para usá-lo, duplicá-lo, modificá-lo e destruí-lo.”

Na Figura 25 temos uma vista aérea do CERN.

Figura 25 - Vista aérea do CERN.

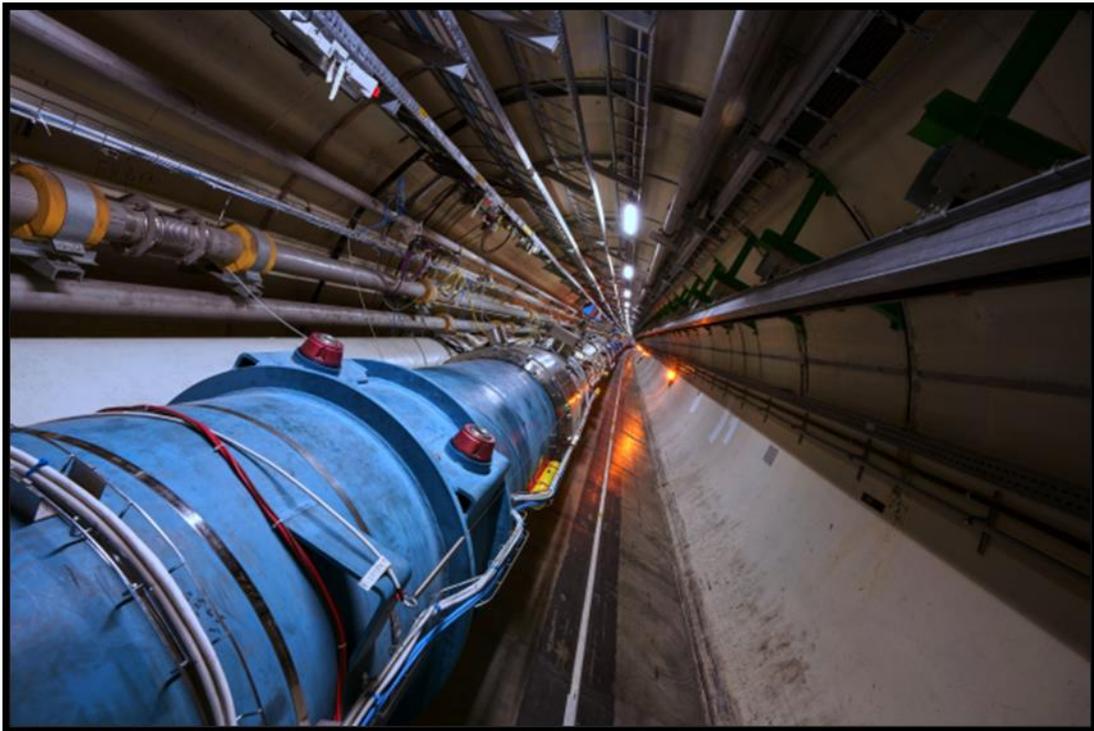


Fonte: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=22544329>

Como já relatado, os aceleradores de partículas são os principais equipamentos utilizados pela ciência para investigação da estrutura da matéria e suas interações fundamentais. Em setembro de 2008 foi inaugurado o maior e mais poderoso acelerador de partículas já construído, o LHC (Grande Colisor de Hádrons) (Figura 26), criado com o objetivo de penetrar mais profundamente na estrutura da matéria e obter respostas sobre o Modelo Padrão, o mecanismo gerador de massa, o bóson de Higgs, violação de simetria e outros.

O Grande Colisor de Hádrons, é grande por causa do seu tamanho - um anel de aproximadamente 27 km de circunferência, colisor – porque feixes de partículas viajam em direções opostas e são levadas a colidir, hádrons – porque acelera partículas chamadas hádrons, como por exemplo o próton.

Figura 26 - Túnel do LHC.



Fonte: <https://home.cern/resources/image/accelerators/lhc-images-gallery>

No LHC tudo é grandioso, desde o nome até a quantidade de dados por ano armazenados dos experimentos, que são suficientes para preencher cerca de 1,2 milhão de discos Blu-ray, ou seja, 250 anos de vídeo HD. No Quadro (5) apresentamos alguns números do LHC.

Quadro 5 - Dados do LHC.

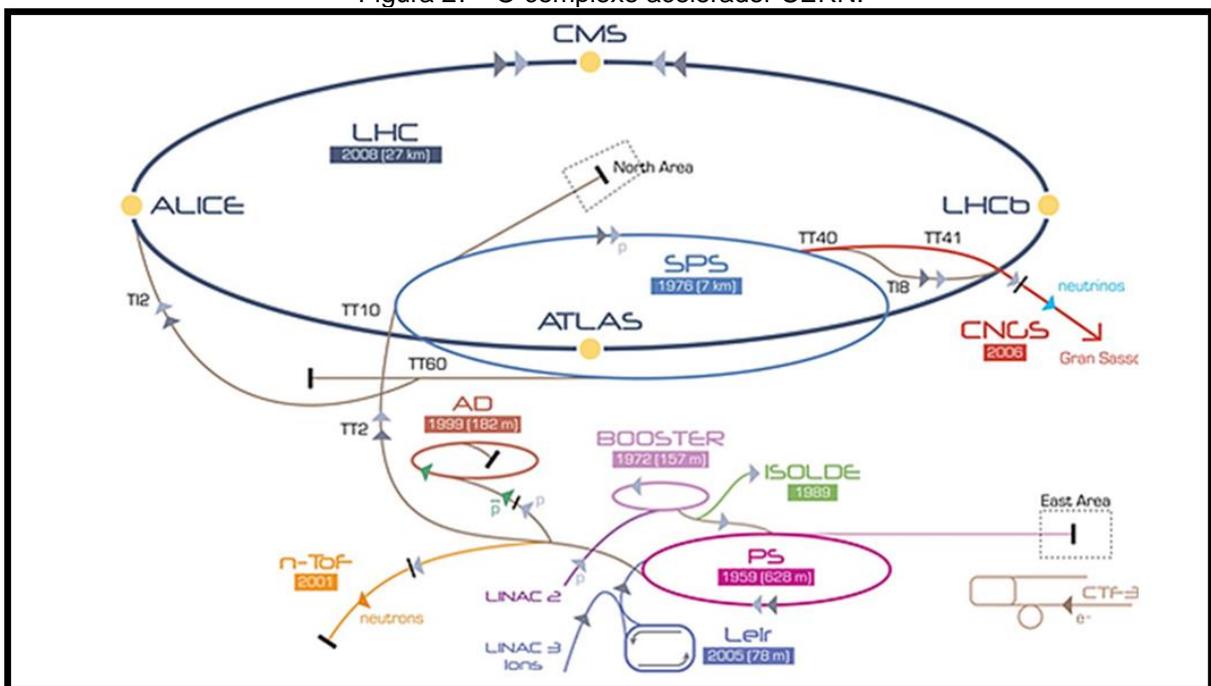
QUANTIDADE	NÚMERO
Circunferência	26.659 m
Temperatura de operação do dipolo	1,9 K (-271,3°C)
Número de ímãs	9593
Número de dipolos principais	1232
Número de quadropolos principais	391
Número de cavidades RF	8 por feixe
Energia nominal, prótons	6,5 Tev
Energia nominal, íons	2,56 Tev/u (energia por núcleo)
Energia nominal, colisões de prótons	13 Tev
Nº de pacotes por feixes de prótons	2808
Nº de prótons por grupo (no início)	1,2 x 10 ¹¹
Número de voltas por segundo	11.245
Número de colisões por segundo	1 bilhão

Fonte: <https://home.cern/resources/faqs>

O LHC fica aproximadamente a 100m de profundidade e está localizado na fronteira entre França e Suíça. Ele consiste em um anel de aproximadamente 27 km, sendo abastecido por feixes de prótons por uma cadeia de quatro aceleradores que impulsionam as partículas ao longo do caminho para aumentar a energia. Esses feixes de prótons são acelerados até energias de 6,5 TeV, logo, ao colidirem com os prótons que se movimentam em sentidos opostos, a energia total de colisão chega a 13 TeV, energia nunca alcançada, até então, por um acelerador.

Na Figura (27) temos o complexo de aceleradores CERN, que é uma sucessão de máquinas com energias cada vez mais altas. Cada máquina acelera um feixe de partículas até uma determinada energia antes de injetar o feixe na próxima máquina da cadeia. A próxima máquina leva o feixe a uma energia ainda mais alta e assim por diante. O LHC é o último elemento dessa cadeia, em que os feixes atingem suas energias máximas.

Figura 27 - O complexo acelerador CERN.



Fonte: <http://cds.cern.ch/images/OPEN-PHO-ACCEL-2013-056-1>

Dentro do acelerador, os feixes de partículas de alta energia viajam perto da velocidade da luz em direções opostas em tubos separados, os tubos são mantidos em vácuo ultra-alto, tornando o espaço onde viajam as partículas tão vazios como o

espaço interplanetário. Esse vácuo ultra-alto é necessário para evitar colisões das partículas com as moléculas de gás presente no acelerador. Os feixes de prótons são curvados por um forte campo magnético gerados por 1232 eletroímãs supercondutores, o que requer o resfriamento dos ímãs a $-271,3^{\circ}\text{C}$, temperatura que é mantida por um sistema de distribuição de hélio líquido, sendo que cada eletroímã tem 15 m de comprimento e 35 t de massa.

Passaremos, agora, a descrever as etapas da aceleração.

Antes de serem aceleradas no LHC, as partículas passam por quatro aceleradores auxiliares, que elevam sucessivamente sua energia. Tudo começa com um simples tubo que contém gás hidrogênio (H_2). Na câmara de ionização, é aplicado uma diferença de potencial de 100.000 V nesse gás, separando-se, assim, o próton do elétron. Os Prótons são ejetados por uma das extremidades do tubo e são inicialmente acelerados num acelerador linear, o Linac 2 do CERN, atingindo uma energia de 50 MeV e um terço da velocidade da luz.

Em seguida, os feixes de prótons são enviados para o PSB (Próton Synchrotron Booster), iniciando então, o segundo estágio de aceleração. Para maximizar a intensidade do feixe de prótons, o grupo é dividido em quatro, um para cada anel do Booster. Nesse ponto a aceleração linear é impraticável, por isso esse acelerador é circular com 157 m de diâmetro. Como o feixe de prótons circulam repetidamente nos anéis do Booster, para acelerá-los o campo elétrico passa a ser pulsante e eletroímãs poderosos são usados para dobrar os feixes em volta dos círculos. Nesse estágio os prótons atingem uma velocidade de 91,6% da velocidade da luz e sua energia chega a 1,4 GeV, sendo também comprimidos para que fiquem mais próximos um dos outros. Os grupos de prótons dos quatro anéis passam para mais um estágio de aceleração.

O terceiro estágio de aceleração ocorre em outro acelerador circular de 628 m de diâmetro, o PS (Próton Synchrotron), onde o grupo de prótons alcançam 99,9% da velocidade da luz. É aqui que chegamos ao ponto de transição, onde a energia adicionada aos prótons pelo campo elétrico pulsante não pode se converter em um aumento de velocidade, uma vez que eles já alcançaram praticamente a velocidade

da luz, ao invés disso a energia adicionada se manifesta na forma de um aumento na massa dos prótons. A energia de cada próton nesse estágio chega a 25 GeV, o que significa dizer que os prótons estão vinte e cinco vezes mais pesados do que quando estavam em repouso.

Os grupos de prótons, agora, são enviados ao quarto estágio de aceleração, mais um acelerador circular, o SPS (Super Próton Synchrotron), um imenso anel com 7 km de circunferência, projetado especificamente para aceitar os prótons já energizados e levá-los até 450 GeV de energia e prontos para serem lançados na órbita do LHC.

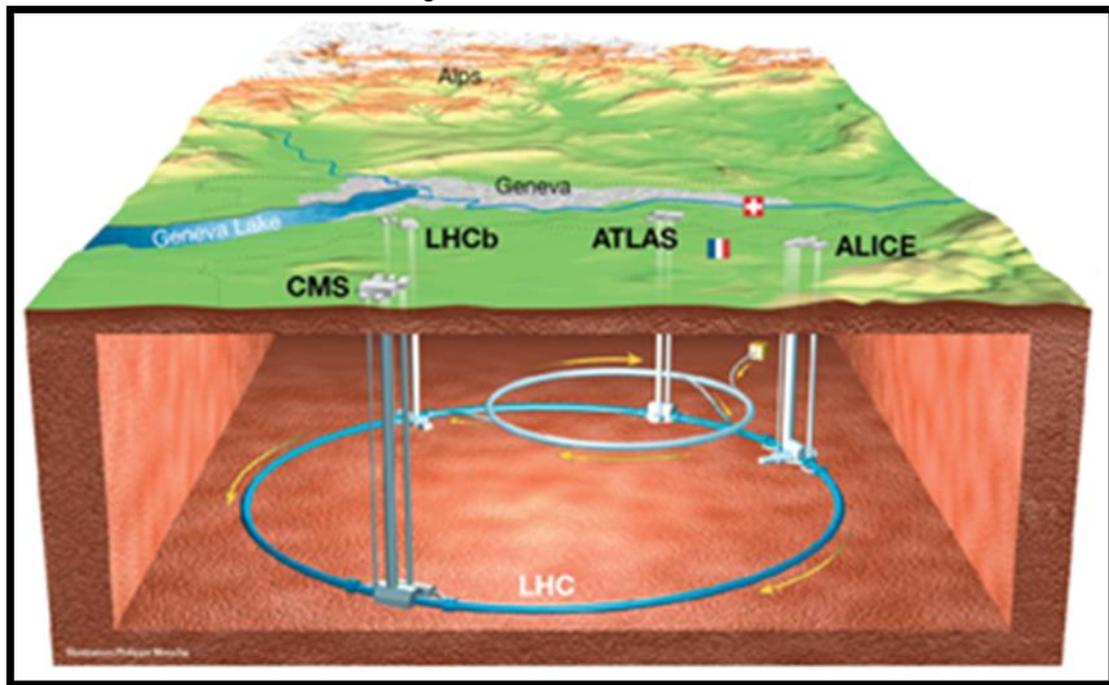
No fundo da terra, aproximadamente a 100m de profundidade existem dois tubos a vácuo no LHC onde são injetados os feixes de prótons que viajam em sentidos opostos. Usando lançadores super sofisticados, para sincronizar os grupos de prótons que chegam com os que já estão circulando, um tubo à vácuo injeta prótons que vão circular no sentido horário e outro injeta prótons que circularão no sentido oposto.

Durante meia hora o SPS injeta prótons no LHC, e durante este tempo o LHC adiciona mais energia a cada próton, cuja velocidade está tão próxima à da luz, que eles dão a volta no anel de aproximadamente 27 km mais de onze mil vezes por segundo, recebendo um acréscimo de energia do campo elétrico a cada revolução. Finalmente cada próton adquire uma energia de 6,5 TeV e são seis mil e quinhentas vezes mais pesados do que eram em repouso.

Agora os prótons estão prontos para colidir. Um ímã muda-os de direção para um curso de colisão, sendo que os feixes contrários se cruzam em quatro pontos do LHC, local no qual estão localizados os detectores. A energia dos prótons colidindo é de 13 TeV e reproduz um estado similar a momentos após ao Big Bang. No LHC um bilhão de colisões de prótons ocorrem por segundo, e como resultado dessas colisões diversas partículas massivas são produzidas, como o bóson de Higgs. Entretanto, essas partículas massivas duram bem menos que um piscar de olhos, pois elas decaem quase que imediatamente em partículas mais leves.

Como já dito, as partículas são levadas a colidir em quatro locais específicos onde estão localizados os detectores (Figura 28): ATLAS, CMS, ALICE E LHCb, usados para analisar a grande quantidade de partículas produzidas nas colisões, os quais passaremos a descrever.

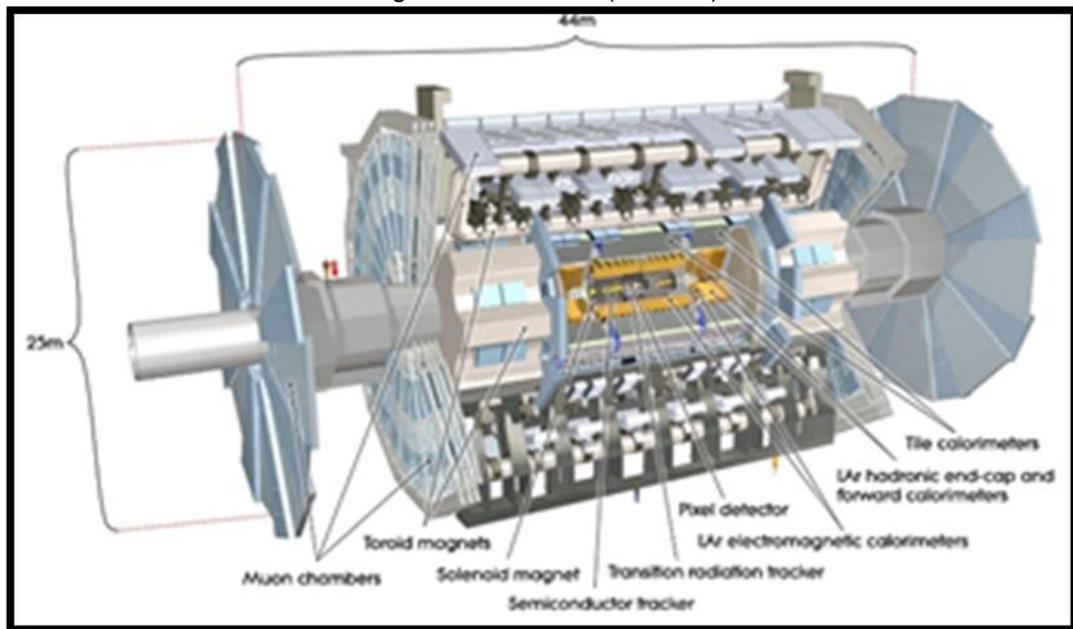
Figura 28 - Detectores LHC.



Fonte: <https://lhcb-public.web.cern.ch/en/Detector/Detector-en.html>

O ATLAS (A Toroidal LHC ApparatuS) (Figura 29) é o maior detector de partículas do LHC, como seu imenso tamanho de 46m de comprimento, 25m de altura, 25m de largura e 7 mil toneladas, é uma cooperação internacional que reúne mais de 3.000 cientistas de 174 institutos em 38 países. O ATLAS é um detector de uso geral projetado para explorar a física do LHC, desde testar as previsões do Modelo Padrão e a busca pelo bóson de Higgs, até descobertas inovadoras, como a busca por sinais de supersimetria e de dimensões extras.

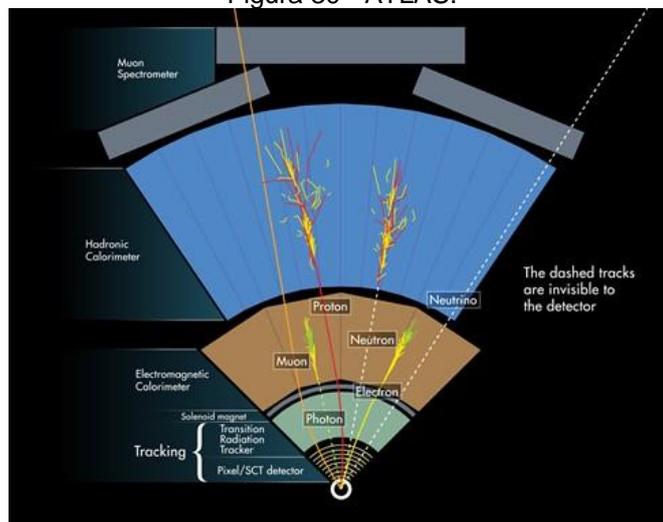
Figura 29 – ATLAS (detector).



Fonte: <https://atlas.cern/discover/detector>

O ATLAS (Figura 30) foi construído em várias camadas para detectar as partículas mais minúsculas e energéticas já produzidas em laboratório. As partículas que colidem no centro desse detector, criam detritos em forma de novas partículas, que se espalham em todas as direções pelas camadas do detector, que registram os caminhos, o momento e a energia das partículas, permitindo, assim, que elas sejam identificadas.

Figura 30 - ATLAS.



Fonte: <https://cds.cern.ch/record/1505342?ln=en>

O principal atributo do CMS é seu sistema de ímãs, que curva os caminhos das partículas carregadas, permitindo medir suas cargas elétricas e seus momentos, haja visto que, partículas com carga positiva e negativa se curvam em direções opostas no mesmo campo magnético e as partículas de alto momento se dobram menos em comparação com as de baixo momento em um campo magnético idêntico.

As energias das partículas são coletadas por dois calorímetros, o primeiro, localizado na camada interna, é o calorímetro eletromagnético (ECAL), que mede a energia dos elétrons e fótons, interrompendo-os completamente. Já os hádrons, voam através do ECAL, e depositam a maior parte de sua energia na camada seguinte, onde são interrompidos pelo calorímetro de hádrons (HCAL).

A última partícula que o CMS detecta é o múon, e por ele não ser interrompido pelos calorímetros, subdetectores especiais, chamados câmara de múons, foram construídos para detectá-los.

Assim, as partículas que viajam através do CMS deixam seus rastros nas suas camadas permitindo que sejam identificadas.

Na Figura (32) foto de François Englert (à esquerda) e Peter Higgs no CERN em 4 de julho de 2012, por ocasião do anúncio da descoberta de um bóson de Higgs pelos experimentos ATLAS e CMS.

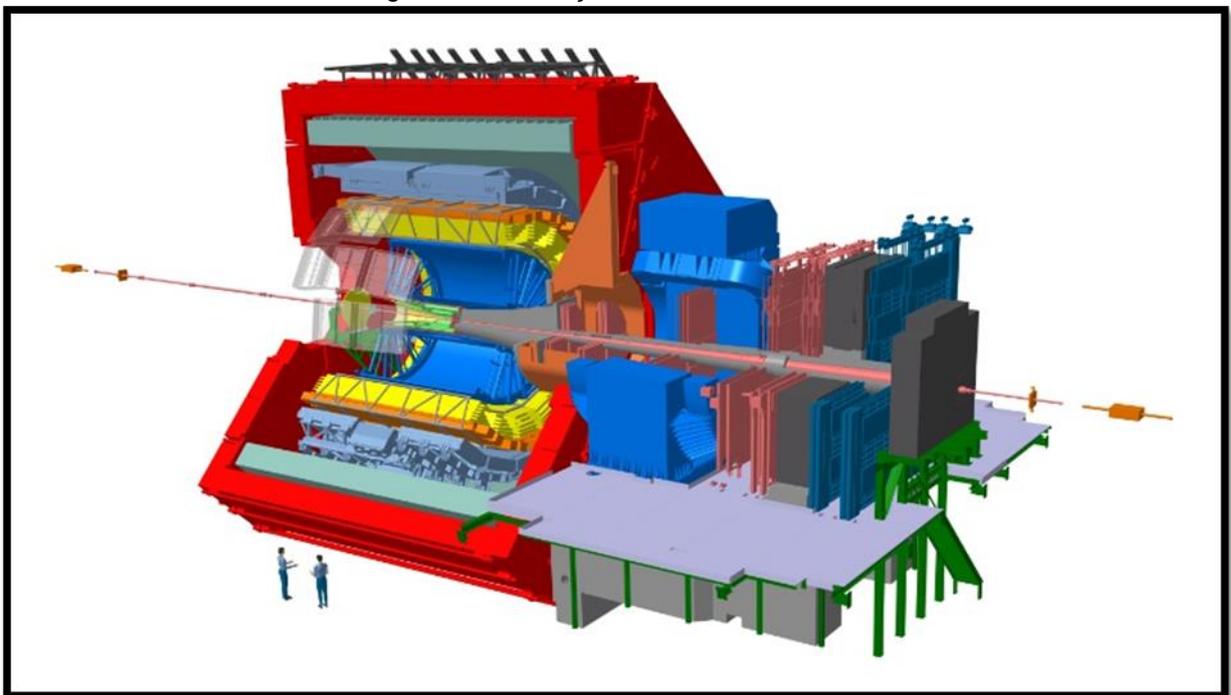
Figura 32 - François Englert e Peter Higgs.



Fonte: <https://home.cern/news/news/physics/cern-congratulates-englert-and-higgs-nobel-physics>

O ALICE (A Large Ion Collision Experiment) (Figura 33) é um detector de 10.000 toneladas, 26 m de comprimento, 16 m de altura e 16 m de largura, ele é utilizado para análise de colisões de íons pesados no LHC. Projetado para estudar as propriedades do chamado plasma quark-glúon, estado da matéria que existiu logo após o Big Bang, antes dos prótons e nêutrons se formarem. Sabemos que os prótons e nêutrons são hádrons feitos de quarks e unidos por glúons, sendo que estes nunca foram observados isoladamente, ou seja, estão confinados dentro dos hádrons, porém sob condições de temperaturas e densidades muito altas, deixam de ficar confinados.

Figura 33 - Ilustração do detector ALICE.



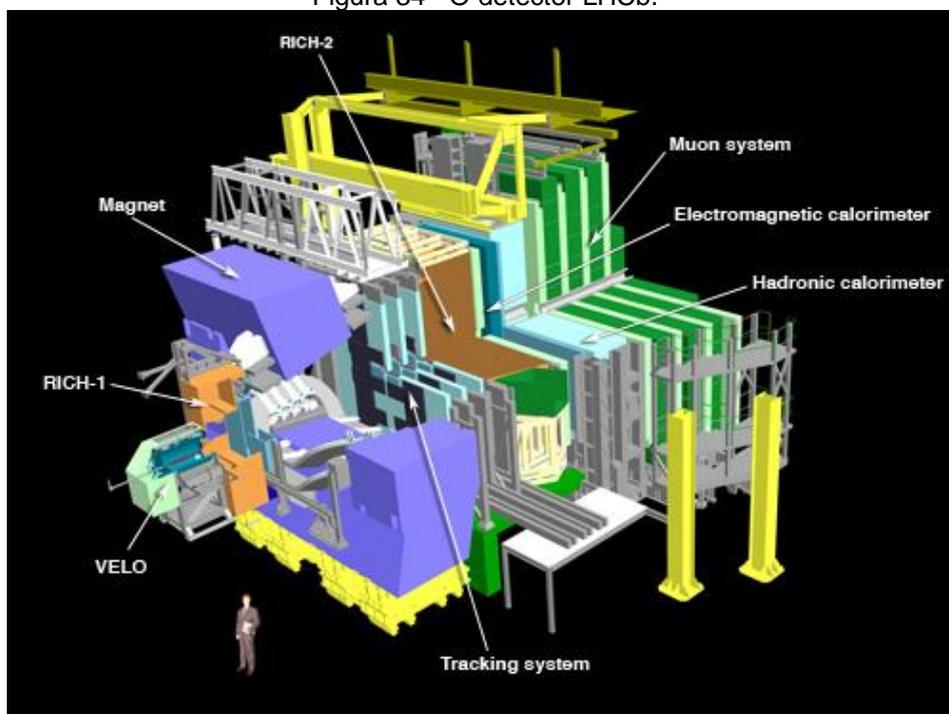
Fonte: <http://cds.cern.ch/record/2263642>

Durante parte de cada ano, o LHC fornece colisões entre íons de chumbo, gerando nessas colisões temperaturas mais de cem mil vezes mais altas do que o centro do sol, criando, assim, condições semelhantes àquelas logo após o Big Bang. O experimento ALICE estuda, então, o plasma quark-glúon conforme ele se expande e esfria, examinando como ele progressivamente dá origem as partículas que constituem a matéria do nosso universo hoje.

A colaboração ALICE conta com mais de mil cientistas de mais de cem institutos de física em trinta países.

O LHCb (Large Hadron Collider beauty experiment) (Figura 34), foi criado para estudar as diferenças mais sutis entre matéria e antimatéria, que ocorre nas interações do quark beauty, também chamado de quark bottom. Sendo que esse estudo pode responder à questão: o que aconteceu após o Big Bang que permitiu que a matéria sobrevivesse e construísse o Universo que habitamos hoje?

Figura 34 - O detector LHCb.



Fonte: <https://lhcb-public.web.cern.ch/en/Detector/Detector-en.html>

Cada um dos sub-detectores do LHCb é especializada em medir uma característica diferente das partículas produzidas na colisão, reunindo informações sobre trajetória, momento e energia das partículas geradas.

A colaboração LHCb conta com mais de 650 membros provenientes de 47 instituições de 14 países, e seu detector, apesar de sensível, tem 21m de comprimento, 10 m de largura, 10 m de altura e 5.600 toneladas.

Além dos quatro detectores citados o LHC possui outros detectores menores, TOTEM, LHCf E MoEDAL.

Desde o átomo de Demócrito até o Modelo Padrão a ciência fez um grande progresso, avanços teóricos, técnicas matemáticas e equipamento de medidas cada vez mais sofisticados a fim de responder à pergunta: do que são feitas todas as coisas? Embora o Modelo Padrão seja atualmente a melhor descrição que existe do mundo subatômico, e descreva com precisão os fenômenos dentro de seu domínio, ele ainda está incompleto, pois existem alguns limites para essa teoria, dentre os quais, podemos citar a teoria da gravitação de Einstein.

Talvez , assim como no final do século XIX, onde acreditava-se que a Física Clássica era capaz de explicar todos os fenômenos físicos, e o que restavam eram poucos problemas a resolver, cuja resolução culminou na Física Quântica, o Modelo Padrão seja apenas uma parte de um quadro maior que inclui a nova Física que transformará radicalmente o nosso modo de pensar e finalmente responda à pergunta: do que são feitas todas as coisas?

3. A SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Inicialmente apliquei um teste inicial (APÊNDICE A) contendo dez questões sobre a estrutura da matéria, com objetivo de identificar os conhecimentos prévios dos alunos sobre o tema.

Em seguida, os dados obtidos foram analisados e resultou na escrita dessa sequência didática baseada em uma UEPS, visando a busca de indícios de aprendizagem significativa sobre a estrutura da matéria.

3.1 AULA 1

Objetivos:

- Reconhecer as causas de incerteza na ciência;
- Utilizar o conceito de modelo para explicar fenômenos físicos;
- Formular e testar hipóteses;
- Construir modelos;
- Ilustrar formas não-visuais de se obter informação.

Iniciei a aula perguntando aos alunos se os modelos seguidos pela ciência são cem por cento verdadeiros e imutáveis.

Dei prosseguimento a aula através de uma aula expositiva explicando o que é um modelo científico, exemplificando através do modelo geocêntrico e heliocêntrico. (Slides das aulas – APÊNDICE B).

Logo em seguida dividi a turma em grupos e entreguei para cada grupo uma “caixa misteriosa” (Figura 35), que nada mais é que uma caixa vedada contendo vários objetos (clips, bola de isopor, bola de gude, dinheiro, lápis e outros) e os alunos têm a missão de elaborar hipóteses para o que tem no interior da caixa, respondendo as questões: quantos objetos tem dentro da caixa e quais são os objetos? No final da atividade socializamos as respostas dos grupos.

Figura 35 - Caixa Misteriosa.



Fonte: Produzida pela autora

Finalizei a aula dizendo que da mesma forma que eles elaboraram um modelo para os itens da caixa, os cientistas também constroem modelos para explicar os fenômenos da natureza, porém com a desvantagem de nunca poder “abrir a caixa” e nunca descobrir a realidade, e sim formular hipóteses através da observação e experimentação.

A caixa não deve ser aberta para os alunos verificarem se seus “modelos” estão corretos, para gerar curiosidade para as próximas aulas.

3.2 – AULA 2

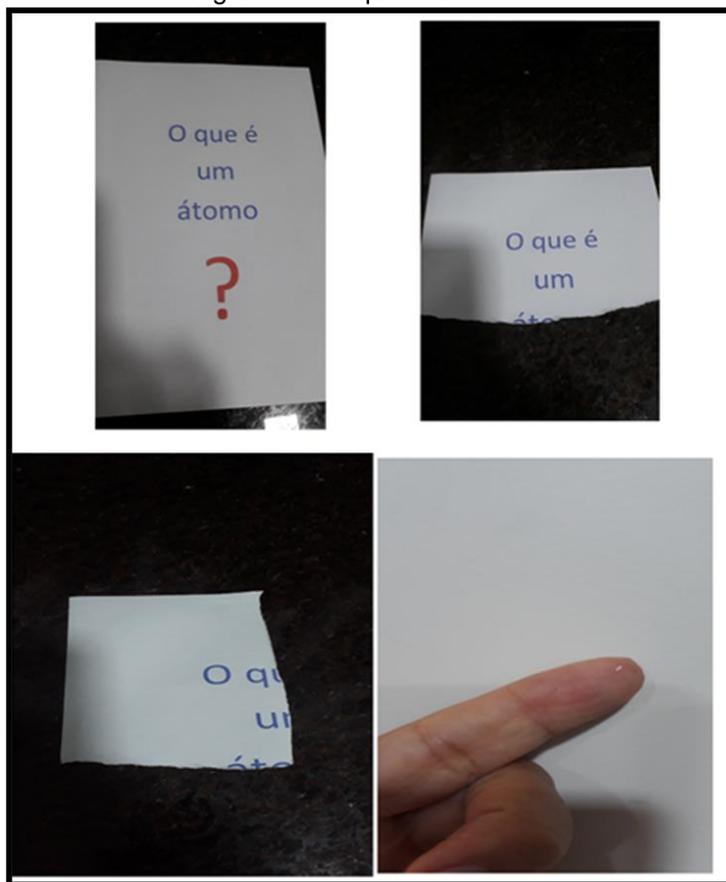
Objetivo:

- Entender o átomo de Demócrito

Iniciei a aula com os alunos organizados em grupos (lembrando que são sempre os mesmos componentes). Com os grupos sentados em círculos, entreguei para cada grupo uma folha escrita: o que é um átomo? (Figura 36). Em seguida expliquei o procedimento a ser adotado: O primeiro aluno divide a folha mais ou menos ao meio e passa uma metade para o segundo aluno e a outra joga fora, os próximos alunos farão o mesmo processo, ou seja, dividirão o pedaço recebido ao meio passando uma metade para o próximo aluno e a outra metade jogando fora.

O processo é repetido até os alunos não conseguirem mais dividir o papel. Para essa atividade sugiro que ofereça um prêmio simples (um pirulito) para cada aluno dos grupos que forem o último a dividir o papel. Terminei a atividade perguntando se daria para dividir o papel indefinidamente, o objetivo é que os alunos façam associação com o átomo, até então, indivisível.

Figura 36 - O que é um átomo?



Fonte: Produzida pela autora

Dei continuidade a aula perguntando: o átomo é formado por quais partículas? E os alunos responderam: prótons, nêutrons e elétrons, perguntei, então, como o átomo sendo o menor constituinte da matéria, pode ser formado por outras partículas? O objetivo dessa pergunta é criar um conflito cognitivo, que é uma forma de gerar aprendizado.

Em seguida apresentei, através de aula expositiva, o átomo de Demócrito (Slides das aulas – APÊNDICE B) e no final da aula entreguei aos alunos o texto: A evolução dos modelos atômicos (APÊNDICE C) para a leitura e avisei que na próxima aula farão um teste sobre o assunto (TBL).

3.3 AULA 3

Objetivo:

- Entender a evolução dos modelos atômicos.

Iniciei a aula com aplicação de um teste com questões conceituais sobre a evolução dos modelos atômicos (APÊNDICE D). Essa atividade foi baseada no método TBL – Aprendizagem Baseada em Equipes, no qual os alunos respondem o teste individualmente (TPi) e depois em equipe (TPe).

Ainda nessa aula, relembrei o átomo de Demócrito, e em seguida apresentei, através de aula expositiva (Slides das aulas – APÊNDICE B), os modelos atômicos de Dalton, Thomson e Rutherford, apresentando as limitações de cada modelo e porque um foi sendo substituído pelo outro, mostrando assim a necessidade de pesquisas para a evolução da ciência.

Finalizei a aula pedindo a cada grupo para fazerem maquetes dos modelos atômicos estudados para apresentarem na próxima aula.

3.4 AULA 4

Objetivo:

- Compreensão e visualização das dimensões atômicas por meio de comparação com as medidas cotidianas.

Iniciei a aula com a atividade intitulada “Uma partida de atomobol” (APÊNDICE E).

Nessa atividade os alunos devem “desenhar” um joguinho de futebol de botão, onde o núcleo do átomo corresponda a uma bolinha de gude (0,01m de raio), e o campo de “atomobol” corresponda ao tamanho do átomo inteiro. Furneci para cada grupo os procedimentos, que contém as dimensões do átomo e no final perguntei: É possível desenhar em escala numa folha de papel tal campo de “atomobol”?

Frisei com os alunos que o átomo é um imenso vazio e expliquei o porquê da maioria das partículas α atravessam a lâmina de ouro na experiência de Rutherford.

Dei continuidade a aula sorteando um grupo para apresentar as maquetes sobre os modelos atômicos, fazendo uma breve explicação sobre cada modelo (Figura 37). Ressalto que todos os grupos fizeram as maquetes, mas apenas um foi sorteado para apresentar, porém todos participaram acrescentando algo na apresentação.

Na mesma aula realizei uma experiência bem simples (APÊNDICE F), intitulada “brincando com cargas elétricas”, na qual os alunos têm a oportunidade de verificar a existência da carga elétrica, propriedade esta que permitiu Thomson desenvolver seu modelo atômico.

Para essa atividade cada grupo recebeu uma flanela, uma bola de soprar, uma régua e pedacinhos de papel picado e uma folha com os procedimentos. E por mais simples que pareça essa atividade, ela é importante para verificar a carga elétrica das partículas.

Figura 37 - Maquetes dos modelos atômicos.



Fonte: Produzida pela autora

3.5 AULA 5

Objetivo:

- Aprofundar o conhecimento sobre os modelos atômicos, e aprofundar o conhecimento sobre a estrutura da matéria.

Iniciei a aula com a construção de um mapa conceitual sobre o átomo.

Em seguida fiz uma explanação sobre a crise da Física Clássica e o modelo atômico de Bohr (Slides das aulas – APÊNDICE B) e no final entreguei para cada aluno o texto: Vendo através da pele – a descoberta do raio x (APÊNDICE G), para leitura em casa.

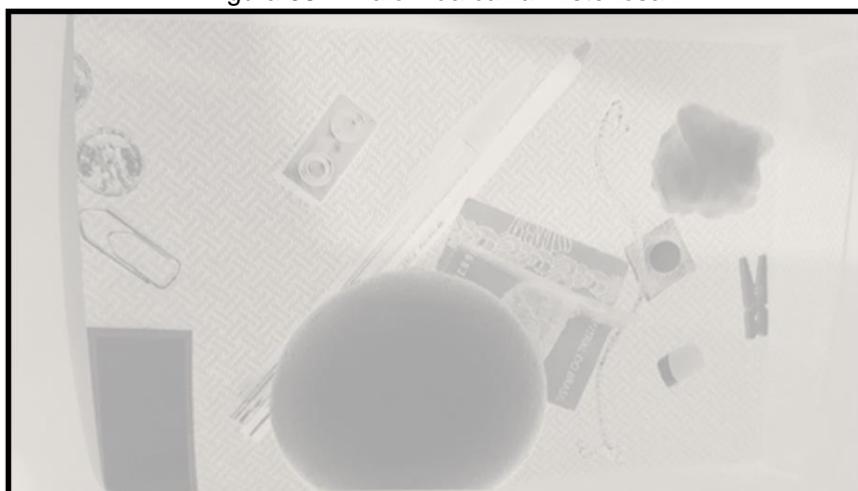
3.6 AULA 6

Objetivo:

- Retornar os aspectos mais gerais, estruturantes do conteúdo da unidade de ensino, em nova apresentação

Iniciei a aula falando brevemente sobre o raio x e logo em seguida os grupos de alunos se reuniram e entreguei para cada grupo uma foto, representando um “raio x” da caixa misteriosa (Figura 38) e os grupos tiveram que novamente responder as questões: Quantos objetos tem dentro da caixa e quais são esses objetos?

Figura 38 - "Raio x da caixa misteriosa".



Fonte: Produzida pela autora

Vale ressaltar que a foto foi tirada de um celular e foi impressa preto e branco e com filtro para ficar o mais transparente possível.

Após a análise da foto pelos grupos, socializei as respostas (dica: coloque algum objeto que mesmo com a foto os alunos não descubram o que é).

Dei continuidade a aula mostrando parte do filme “Anjos e Demônios” disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=1TOnz71uDak>> acessado no dia 15/ago/2019 e discutir o que é ciência e o que é ficção. Finalizei a aula falando sobre o CERN (Slides das aulas – APÊNDICE B) .

3.7 AULA 7

Objetivos:

- Apresentar o CERN e seus detectores
- Mostrar que a Ciência é uma construção humana.

Explanei sobre o LHC e seus detectores (Slides das aulas – APÊNDICE B), e mostrei uma simulação das partículas colidindo no LHC – disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Ko_eDMhe5z8> acessado no dia 15/08/2019, narrando o que acontece dentro do acelerador. Finalizei abrindo, finalmente, a caixa misteriosa, mostrando que para termos certeza do que ela é composta temos que abri-la, já os cientistas para melhorarem o conhecimento sobre a estrutura da matéria eles “abrem” a partícula no acelerador de partículas, lembrando que eles constroem modelos baseados em teorias e experiências e que esses modelos podem mudar com a evolução da tecnologia e da própria ciência.

Finalizei a aula entregando para cada aluno um artigo científico intitulado “Sobre o discreto charme das partículas elementares”, disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol6/Num1/charme.pdf>> acessado em 20/08/2019. Orientar os alunos a fazerem a leitura e resumo do artigo em casa.

3.8 AULA 8

Objetivo:

- Conhecer os menores constituintes da matéria.

Nessa a aula apresentei o modelo padrão, com suas partículas elementares (Slides das aulas – APÊNDICE B).

3.9 AULA 9

Objetivo:

- Fixar o conhecimento sobre a estrutura da matéria.

Comecei a aula construindo um mapa conceitual sobre as partículas elementares e finalizei assistindo o filme: O discreto charme das partículas elementares, produzido pela TV Cultura. Do filme assistimos as partes: I, II e IV, que tem a duração de aproximadamente 30min, os vídeos estão disponíveis no Youtube <<https://www.youtube.com/watch?v=1usRjTXkN14>>, <<https://www.youtube.com/watch?v=ZaqvplyEKfw>>e <<https://www.youtube.com/watch?v=gludWmVptg8>> e foram acessados no dia 20/08/2019.

No final da aula entreguei aos alunos um folder (APÊNDICE H) sobre as partículas elementares, pedindo para que estudassem em casa, pois na próxima aula participariam de um jogo sobre elas.

3.10 AULAS 10, 11 E 12

Objetivo:

- Familiarizar os alunos com os nomes das partículas.

Com os alunos já organizados em grupo, comecei a décima aula explicando o funcionamento do jogo: do que são feitas todas as coisas. O jogo consiste em um baralho que tem o objetivo de familiarizar os alunos com os nomes das partículas

elementares. No (APÊNDICE I) tem o modo de jogar e no (APÊNDICE J) as cartas do baralho.

Nessa aula os alunos puderam consultar o folder sobre as partículas elementares para jogar. A aula foi finalizada, avisando aos alunos que nas próximas duas aulas haveria um campeonato, sendo que em uma aula o campeonato foi entre os alunos do grupo, e o vencedor de cada grupo passou para a próxima etapa (sugestão: premiar o vencedor de cada grupo com algo simples, por exemplo um ponto extra). Nessa etapa os vencedores de cada grupo competiram entre si. (sugestão: premiar o vencedor e os membros do grupo do qual ele faz parte).

Na décima segunda (final do Campeonato), os alunos que não estavam jogando ficaram na torcida e confeccionaram cartazes (Figura 39) para seu competidor usando o nome das partículas.

Figura 39 - cartazes usando o nome das partículas.



Fonte: produzida pela autora

3.11 AULA 13

Objetivo

- Verificar indícios de aprendizagem significativa

Lembrem-se que a avaliação deve ocorrer em todo o processo da sequência didática, através da análise: da participação dos alunos, dos mapas conceituais, teste TBL e teste final.

O teste final (APÊNDICE L) foi aplicado após o Campeonato de baralho.

Essa sequência didática foi aplicada em treze aulas, que a princípio parece ser um número excessivo de aulas, mas que se justifica, pois aborda grande parte de Física Moderna que se estuda no terceiro ano do ensino médio. Sendo sua utilização também possível em menos aulas com a exclusão de algumas atividades e pode ainda ser utilizada em escolas de tempo integral como aula eletiva.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdalla, M. B. (2006). *BOHR - O arquiteto do átomo* (2 ed., Vol. 1). São Paulo: Odysseus Editora.
- Abdalla, M. B. (2016). *O discreto charme da partículas elementares* (2 ed.). São Paulo: Livraria da Física.
- ALICE. (s.d.). Acesso em 23 de set de 2020, disponível em CERN: <http://cds.cern.ch/record/2263642>
- Atkins, P., Jones, L., & Laverman, L. (2018). *PRINCÍPIOS DA QUÍMICA - QUESTIONANDO A VIDA MODERNA E O MEIO AMBIENTE* (7 ed.). Porto Alegre: Bookman.
- ATLAS. (s.d.). Acesso em 23 de set de 2020, disponível em CERN: <https://atlas.cern/discover/detector>
- ATLAS. (s.d.). Acesso em 23 de set de 2020, disponível em CERN: <https://cds.cern.ch/record/1505342?ln=en>
- Átomo. (s.d.). Acesso em 20 de set de 2020, disponível em Manual da Química: <https://www.manualdaquimica.com/quimica-geral/atomo.htm>
- Biehl, L. V. (2003). *A ciência ontem, hoje e sempre* (1 ed.). São Paulo: ULBRA.
- Catástrofe do ultravioleta*. (s.d.). Acesso em 20 de set de 2020, disponível em Wikipédia: https://pt.wikipedia.org/wiki/Mec%C3%A2nica_cl%C3%A1ssica
- CERN. (s.d.). Acesso em 23 de set de 2020, disponível em CERN: <https://home.cern/>
- CERN - Aerial 1. (s.d.). Acesso em 23 de set de 2020, disponível em Wikimedia: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=22544329>
- Chang, R. (2010). *Química Geral - conceitos essenciais* (4 ed., Vol. 1). Porto Alegre: AMGH.
- Chang, R., & Goldsby, K. A. (2013). *Química* (11 ed.). Porto Alegre: AMGH.
- Chesman, C., André, C., & Macêdo Augusto. (2004). *Física Moderna: Experimental e Aplicada* (1 ed.). São Paulo: Livraria da Física.

- CMS. (s.d.). Acesso em 23 de set de 2020, disponível em CERN:
<https://cms.cern/news/cms-detector-design>
- Efeito fotoelétrico*. (s.d.). Acesso em 20 de set de 2020, disponível em modelo atômico: <http://modeloatomico3.blogspot.com/2011/04/efeito-fotoeletrico.html>
- Eisberg, R., & Resnick, R. (1979). *Física Quântica: Átomos, Sólidos, Núcleos e Partículas*. Rio de Janeiro: Elsevier.
- Espectroscopia*. (s.d.). Acesso em 20 de set de 2020, disponível em if - ufrg:
http://www.if.ufrgs.br/fis02001/aulas/aula_espec.htm
- Experimento Stern-Gerlach*. (s.d.). Fonte: Física Cuântica:
http://www.fisicacuantica.es/experimento_stern-gerlach/
- Fatos e números sobre o LHC*. (s.d.). Acesso em 23 de set de 2020, disponível em CERN: <https://home.cern/resources/faqs>
- Física Geral - SLAC*. (2012). Acesso em 21 de set de 2020, disponível em Phys.org:
<https://phys.org/news/2012-09-slac-taus-bottom-quarks-standard.html>
- Física Quântica*. (s.d.). Acesso em 20 de set de 2020, disponível em Filofima:
<https://www.filofima.com.br/fisica/quantica/5c-hidrogenoides.html>
- Fogaça, J. R. (s.d.). *Modelo atômico de Thomson*. Fonte: Manual da Química:
<https://www.manualdaquimica.com/quimica-geral/modelo-atomico-thomson.htm>
- Galeria de imagens do LHC*. (s.d.). Acesso em 23 de set de 2020, disponível em CERN: <https://home.cern/resources/image/accelerators/lhc-images-gallery>
- Gleiser, M. (2014). *A ilha do conhecimento: Os limites da ciência e a busca por sentido* (1 ed.). Rio de Janeiro: Record.
- Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (1995). *Fundamentos de física 4 - Ótica e física moderna* (4 ed.). Rio de Janeiro: LTC.
- Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (1995). *Fundamentos de Física: Ótica e Física Moderna* (4 ed., Vol. 4). Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.

Hewitt, P. G. (2009). *Fundamentos da Física Conceitual*. Porto Alegre: Bookman.

JJ Thomson Crookes Tube Replica. (s.d.). Acesso em 21 de set de 2020, disponível em [Wipédia:
https://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:JJ_Thomson_Crookes_Tube_Replica.jpg
#/media/Ficheiro:JJ_Thomson_Crookes_Tube_Replica.jpg](https://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:JJ_Thomson_Crookes_Tube_Replica.jpg#/media/Ficheiro:JJ_Thomson_Crookes_Tube_Replica.jpg)

Laboratório Nacional de Luz Síncrotron. (s.d.). Acesso em 21 de set de 2020, disponível em Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM): <https://cnpem.br/portfolio-item/geral-lnls/>

Lattes, C. (2001). *Descobindo a estrutura do universo*. São Paulo: UNESP.

Lazarovici, Dustin & Oldofredi, Andrea & Efeld, M. (2018). *Observables and unobservables in quantum*. Acesso em 06 de Out de 2020, disponível em Research Gate: https://www.researchgate.net/figure/Pattern-created-by-a-ray-of-silver-atomes-in-the-original-Stern-Gerlach-experiment-left_fig1_325217695

LHCb. (s.d.). Acesso em 23 de set de 2020, disponível em CERN: <https://lhcb-public.web.cern.ch/en/Detector/Detector-en.html>

Marques , G. d. (2005). *Física: Tendências e Perspectivas* . São Paulo: Livraria da Física.

Marques, G. d. (2010). *Do que tudo é feito?* São Paulo: edusp.

Modelo atômico atual. (s.d.). Acesso em 06 de out de 2020, disponível em Explicatorium: <http://www.explicatorium.com/cfq-9/modelo-nuvem-eletronica.html>

Modelo atômico de Rutherford. (s.d.). Acesso em 20 de set de 2020, disponível em Modelos atômicos: <http://modelosatomicos101.blogspot.com/2018/04/modeloatomico-de-rutherford-este-modelo.html>

Modelo Atômico de Thomson. (s.d.). Acesso em 20 de set de 2020, disponível em Manual da Química: <https://www.manualdaquimica.com/quimica-geral/modelo-atomico-thomson.htm>

Modelo atômico Rutherford-Bohr. (s.d.). Acesso em 20 de set de 2020, disponível em Manual da Química: <https://www.manualdaquimica.com/quimica-geral/modelo-atomico-rutherford-bohr.htm>

Modelo padrão das partículas elementares. (s.d.). Acesso em 21 de set de 2020, disponível em Wikiwand: https://www.wikiwand.com/pt/B%C3%B3son_de_calibre

Mora, J. F. (2004). *Dicionário de Filosofia* (2 ed.). São Paulo: Edições Loyola.

Moreira, M. (2011). *Física de Partículas: uma abordagem conceitual & epistemológica* (1 ed.). São Paulo: Livraria da Física.

Notícias. (s.d.). Acesso em 23 de set de 2020, disponível em CERN: <https://home.cern/news/news/physics/cern-congratulates-englert-and-higgs-nobel-physics>

O detector LHCb. (s.d.). Acesso em 23 de set de 2020, disponível em CERN: <https://lhcb-public.web.cern.ch/en/Detector/Detector-en.html>

Peruzzo, J. (2012). *Fronteiras da Física: Tópicos de Física Moderna e Contemporânea* (Vol. 3). Irani/SC: Jucimar Peruzzo.

Peruzzo, J. (2012). *Fundamentos de Energia Nuclear* (1 ed.). (J. Peruzzo, Ed.) Santa Catarina.

Peruzzo, J. (2014). *Física Quântica: Conceitos e Aplicações.* Irani.

Pires, A. S. (2008). *Evolução das ideias da Física* (1 ed.). São Paulo: Livraria da Física.

Pires, A. T., & Carvalho, R. P. (2014). *Por dentro do átomo: Física de partículas para leigos* (1 ed.). São Paulo: Editora Livraria da Física.

Rocha, J. M. (2002). *Origens e evolução das ideias da física* (1 ed., Vol. 1). Salvador: EDUFBA.

Rosenfeld, R. (2013). *O cern da matéria: A aventura científica que levou à descoberta do bóson de Higgs.* São Paulo: Companhia das Letras.

Rozenberg, I. (2002). *Química Geral* (1 ed., Vol. 1). São Paulo: Edgard Blucher.

Tevatron. (s.d.). Acesso em 21 de set de 2020, disponível em Physics4me:
<https://physicsforme.com/tag/tevatron/>

The CERN accelerator complex. (s.d.). Acesso em 23 de set de 2020, disponível em
CERN: <http://cds.cern.ch/images/OPEN-PHO-ACCEL-2013-056-1>

APÊNDICE A – TESTE INICIAL

TESTE INICIAL

 Nome: _____

 Turma: _____ Idade: _____

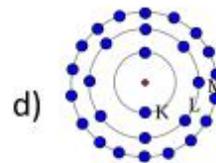
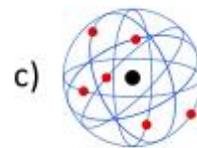
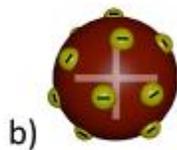
Questão 1: Qual o menor constituinte da matéria?

Questão 2: O que são os elétrons, prótons e nêutrons?

Questão 3: Represente, através de um desenho, um átomo.

Questão 4: O que é uma partícula elementar?

Questão 5: Quais desses modelos atômicos você conhece?



e) nenhum

Questão 6: É possível separar os elétrons do átomo?

Questão 7: Quais dessas partículas você conhece? Marque todas que você conhece

a) Prótons b) Nêutrons c) Elétrons d) Bósons e) Quarks f) Léptons

Questão 8: Você já viu esse desenho em outro lugar?



Se sim, sabe o que ele significa?

Questão 9: Você já ouviu falar em modelo padrão de partículas?

() sim () não

Se sim:

Onde?

Para que ele serve?

Questão 10: Você já ouviu falar em acelerador de partículas?

() Sim () Não

Se sim, sabe para que ele serve?

APÊNDICE B – SLIDES DAS AULAS

MODELO CIENTÍFICO:

Modelo científico é uma representação para explicar um fato ou simplesmente uma observação. Os cientistas criaram os modelos para facilitar os seus estudos e é também uma maneira de descrever um fenômeno.

Ex.: Modelo geocêntrico, modelo heliocêntrico



Título: O modelo geocêntrico de Ptolomeu
Publicado por: Kibac_Kibac em 26/12/2017
URL: <https://www.cienciaetecnologia.com/2017/12/o-modelo-geocentrico-de-ptolomeu.html>

MÉTODO CIENTÍFICO:



DO QUE SÃO FEITAS AS COISAS?



Filósofo grego Empédocles (490-430 a.C)



ÁTOMO



<http://entendendoquimica.blogspot.com/2012/06/modelo-atomico-de-democrito.html>

COMO SERÁ QUE VAMOS DIVIDIR O ÁTOMO?!



<http://entendendoquimica.blogspot.com/2012/06/modelo-atomico-de-democrito.html>

ÁTOMO DE DEMÓCRITO

- Sec. V (a.C.)
- O filósofo grego Demócrito afirmava que o mundo material era constituído de pequenas partículas indivisíveis.
- Modelo baseado apenas na intuição lógica.



DEMÓCRITO

Átomo = Indivisível

EVOLUÇÃO DOS MODELOS ATÔMICOS

MODELO ATÔMICO DE DALTON

- Modelo proposto por John Dalton em 1808.
- O átomo era uma esfera:
 - Maciça
 - Indivisível
 - Indestrutível
 - Sem carga
- Os átomos do mesmo elemento são iguais entre si – mesma massa.



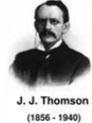
Modelo atômico da bola de bilhar

FALHA DO MODELO

O modelo de Dalton não explica alguns fenômenos como:

- Corrente elétrica,
- Eletrização por atrito,
- Formação de íons
- Descargas elétricas em gases.

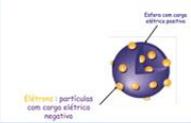
MODELO ATÔMICO DE THOMSON



J. J. Thomson (1856 - 1940)

- Em 1903 ao realizar uma série de experiências utilizando um tubo de raios catódicos, Thomson propôs um novo modelo atômico, o qual chamou de elétrons, provou que os elétrons eram corpúsculos, dotados de carga elétrica e de massa, que fazem parte de toda matéria.

Modelo "Pudim de passas"

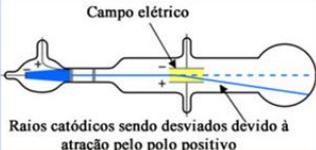


Esfera com carga elétrica positiva
Elétrons: partículas com carga elétrica negativa



<https://www.manualdaquimica.com/quimica-geral/evolucao-dos-modelos-atomicos.htm>

A DESCOBERTA DO ELÉTRON



Campo elétrico
Raios catódicos sendo desviados devido à atração pelo polo positivo

<https://www.manualdaquimica.com/quimica-geral/modelo-atomico-thomson.htm>

FALHA DO MODELO:

O modelo de Thomson não explica:

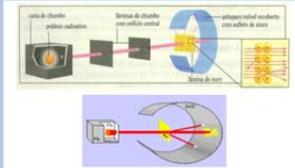
- A estabilidade eletrostática do átomo, uma vez que um número muito grande de partículas negativas próximas umas das outras levaria a uma repulsão eletrostática elevada.

A DESCOBERTA DO PRÓTON



Ernest Rutherford (1871 - 1937)

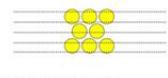
Em 1908 Ernest Rutherford realizou uma experiência que lhe permitiu propor um novo modelo atômico.



<https://www.slideserve.com/munin/o-que-s-o-tomos-de-que-s-o-feitos>

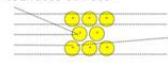
Experiência de Rutherford

Resultados previstos segundo o modelo de Thomson:



As partículas α (+) deveriam atravessar as folhas de ouro sem sofrer desvios.

Resultados obtidos:



A maior parte das partículas α comportava-se como esperado, mas um significativo número delas sofria desvios acentuados.

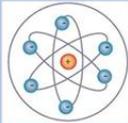
Rutherford concluiu que existe, no interior do átomo, uma região central positiva – o núcleo, que exerce fortes forças repulsivas sobre as partículas α .

<https://www.slideserve.com/munin/o-que-s-o-tomos-de-que-s-o-feitos>

MODELO ATÔMICO DE RUTHERFORD

Em 1911 Rutherford propõe que o átomo é uma estrutura praticamente vazia, constituído por:

- Núcleo muito pequeno com carga positiva, onde se concentra quase toda a massa do átomo.
- Elétrons com carga negativa movendo-se em volta do núcleo.



MODELO ATÔMICO PLANETÁRIO

Elétrons giram ao redor do núcleo, podendo ocupar qualquer órbita existente.

A DESCOBERTA DO NÊUTRON

- Rutherford admitiu que existia no núcleo partículas semelhantes aos prótons, porém sem carga elétrica.
- Em 1932 Chadwick descobriu o nêutrons
- Os nêutrons eram responsáveis por diminuir a repulsão entre os prótons (maior estabilidade no núcleo).

FALHA DO MODELO:

O modelo proposto por Rutherford também não explicava a estabilidade do átomo uma vez que, de acordo com a eletrodinâmica clássica, partículas carregadas em movimento emitem radiação e, portanto, o elétron deveria colapsar no núcleo.

ÁTOMO

Dalton

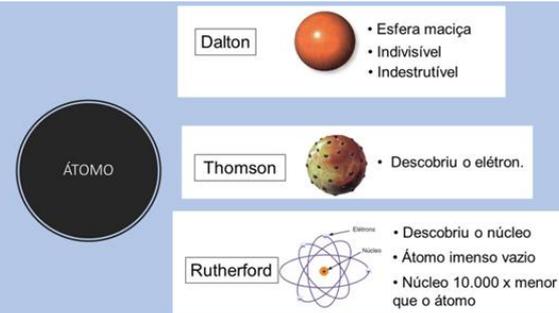
- Esfera maciça
- Indivisível
- Indestrutível

Thomson

- Descobriu o elétron.

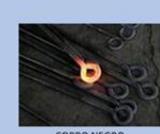
Rutherford

- Descobriu o núcleo
- Átomo imenso vazio
- Núcleo 10.000 x menor que o átomo

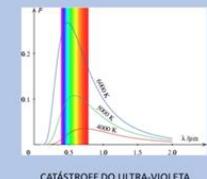


A CRISE NA FÍSICA NO FINAL DO SÉC. XIX

CORPO NEGRO



CATÁSTROFE DO ULTRA-VIOLETA



O FIM DA FÍSICA???

- Em 1900 alguns físicos pensavam que a física estava praticamente completa.
- Lord Kelvin recomendou que os jovens não se dedicassem à física, pois só faltavam alguns detalhes pouco interessantes, como o refinamento de medidas.



"A beleza e clareza da teoria dinâmica, que afirma que o calor e a luz são tipos de movimentos, é atualmente obscurecida por duas nuvens. 1. A primeira surge com a teoria ondulatória da luz e tem sido tratada por Fresnel e o Dr. Thomas Young, tem a ver com a questão de como pode a Terra mover-se através de um meio elástico sólido, como é essencialmente o éter luminoso? 2. A segunda é a doutrina de Maxwell-Boltzmann em relação à partição de energia."

DISPERSANDO AS NUVENS ...

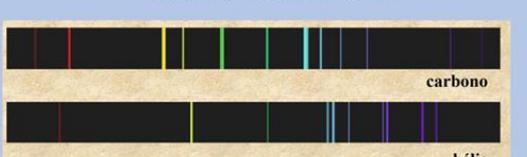
resultados do experimento de Michelson e Morley → **TEORIA DA RELATIVIDADE**

radiação de um corpo negro → **MECÂNICA QUÂNTICA**

DESCOBERTAS EXPERIMENTAIS A ESPECTROSCOPIA

- Descobriu-se que cada elemento químico emite (ou absorve) luz com um espectro descontínuo de raios. A espectroscopia se tornou um importante método de identificação de elementos.

Mas qual era a causa dessas raias?



O SURGIMENTO DO QUANTA



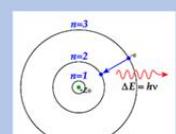
- A teoria quântica surgiu da tentativa de compreender os problemas de interação da radiação com a matéria e solucionar alguns desses problemas.
- O primeiro passo no desenvolvimento da teoria quântica foi dado por Max Planck.
- Planck formulou a hipótese de que a radiação só podia ser emitida em pacotes, que denominou, **quanta** (no singular, **quantum**). Postulou ainda que a frequência da radiação em cada **quantum** seria proporcional à energia nele contida, resolvendo assim os problemas da radiação de corpo negro.

$E = h \nu$

O MODELO ATÔMICO DE BOHR

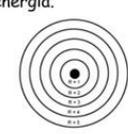


- Niels Bohr trabalhou com Thomson e Rutherford e em 1913 aperfeiçoou o modelo atômico de Rutherford.
- Bohr aplicou a teoria da quantização de Planck ao modelo atômico de Rutherford.

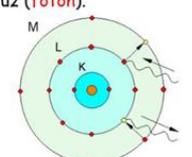


Modelo Atômico de Bohr

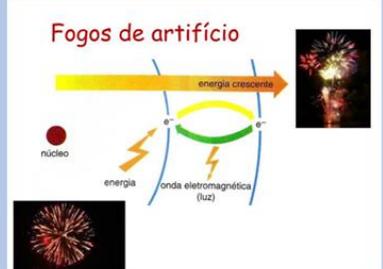
1º Postulado: A eletrosfera do átomo está dividida em regiões denominadas níveis ou camadas, onde os elétrons descrevem órbitas circulares estacionárias, de modo a ter uma energia constante, ou seja, **sem emitirem nem absorverem energia.**



2º Postulado: Fornecendo energia (térmica, elétrica,...) a um átomo, um ou mais elétrons a absorvem e saltam para níveis mais afastados do núcleo (mais energéticos). Ao voltarem às suas órbitas originais, devolvem a energia absorvida em forma de luz (**fóton**).

Fogos de artifício



energia crescente →

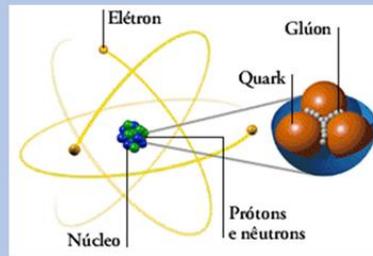
núcleo

energia

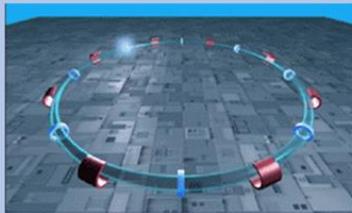
onda eletromagnética (luz)

FALHA DO MODELO:

- Funciona somente para os átomos de um elétron
- Não consegue explicar a ligação dos átomos para formar moléculas
- Não consegue calcular a estrutura fina das linhas espectrais



ACELERADORES DE PARTÍCULAS



Modelo padrão de partículas elementares



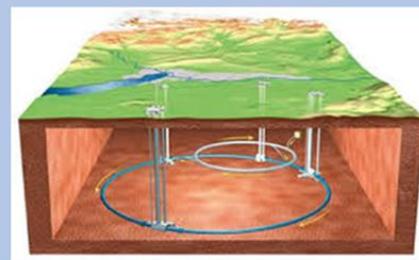
	Férmions			Bósons
nome →	u up	c charm	t top	γ fóton
	d down	s strange	b bottom	Z ⁰ Z bóson
	ν_e neutrino eletrônico	ν_μ neutrino muônico	ν_τ neutrino tauônico	W [±] W bóson
Leptons	e elétron	μ muon	τ tau	
3 ^{as} gerações de matéria (férmions)	I	II	III	



Centro Europeu de Pesquisas Nucleares



VISITANDO O CERN EM 2014



DETECTORES

Como?
Com aceleradores e detectores de partículas

DETECTORES

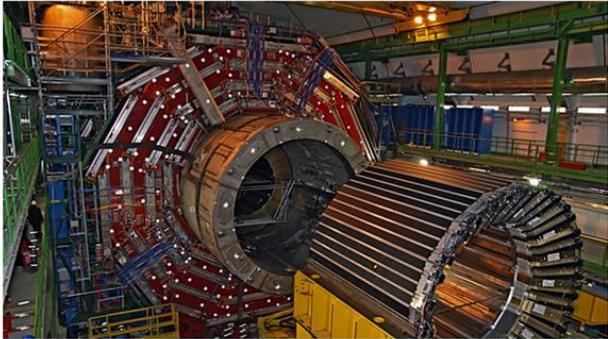
ATLAS EXPERIMENT
Run Number: 348197, Event Number: 562578
Date: 2018-04-17 13:05:13 CEST

- Bósons de Higgs
- Partículas supersimétricas
- Partículas que podem formar a matéria escura
- 1 bilhão de colisões por segundo.

A Large Ion Collider Experiment

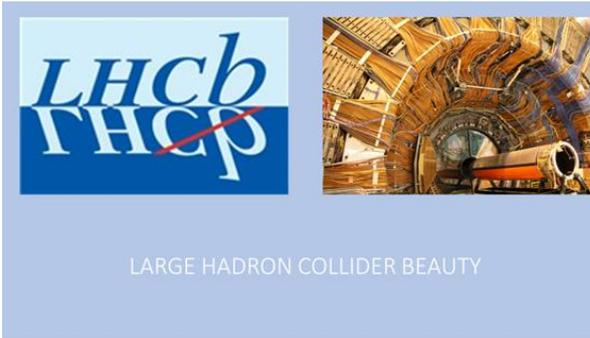
A Large Ion Collider Experiment

- Estudar o estado de fase da matéria chamada de **plasma de quarks e glúons**. Acredita-se que nosso universo tenha estado em tal estado primordial pelos primeiros milionésimos de segundo após o **Big Bang**.



CMS DETECTOR – COMPACT MUON SOLENOID

- Detector de uso geral
- Estudar o modelo padrão
- Procurar dimensões extras
- Partículas que podem compor a matéria escura



MESON B_SO EXTREMAMENTE RARO DECAEM EM DOIS MÚONS, REGISTRADOS EM 2016 NO DETECTOR LHCb CRÉDITO: FONTE: IFJ PAN / CERN / THE LHCb COLLABORATION

- Violação de simetria CP
- Decaimento raros de Méson com quark b

CRÉDITO: FONTE: IFJ PAN / CERN



DO QUE SÃO FEITAS TODAS AS COISAS?

Materia → Molécula → Atomo → Elétron

Quark up (u), Quark Down (d), Gluon (g), Núcleo, Próton, Nêutron

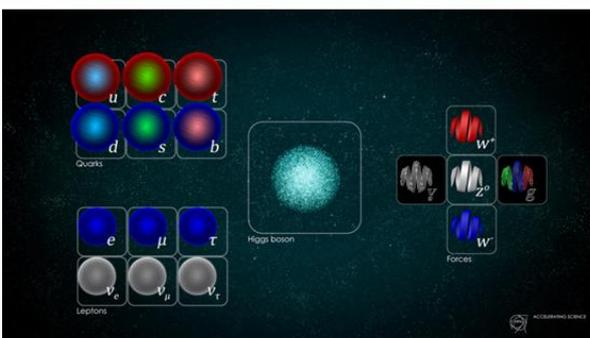
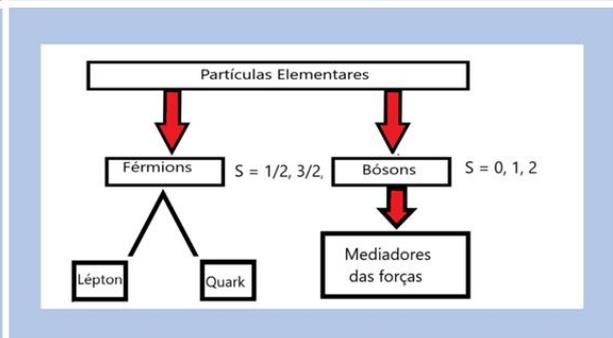
Fonte: <https://www.manualdaquimica.com/quimica-general/atomos.htm>

PARTÍCULAS ELEMENTARES

- São partículas de matéria ou radiação que não podem ser divididas em partes menores e que são governadas por forças fundamentais.
- Estão sintetizadas no modelo padrão.

os blocos básicos

léptons quarks	u	c	t	γ	transportadores de força
	d	s	b	g	
	ν _e	ν _μ	ν _τ	Z	
	e	μ	τ	W	
	I	II	III		



LÉPTONS

ELÉTRON

- Primeira partícula elementar a ser descoberta.
- Descoberta por J. J. Thomson em 1897
- Quebrou a ideia que o átomo é indivisível
- Carga elétrica: -1
- Spin: ½
- Férmion
- Lépton

MÚON

- Quarta partícula elementar a ser descoberta
- Spin = ½
- Lépton
- Massa 207 vezes maior que a do elétron
- Partícula instável
- Vida média: 2.10-6 s

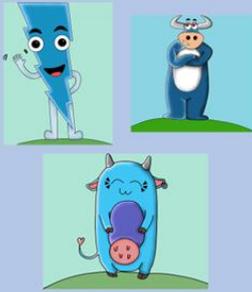
TAU

- Faz parte da terceira geração de léptons
- Descoberto em 1975
- É o lépton mais pesado
- Sua massa é cerca de 3500 vezes maior que a do elétron



NEUTRINOS

- Partícula leve e neutra
- Raramente interage com a matéria
- Muito difícil de detectar
- São chamadas de partículas mensageiras



QUARKS

UP E DOWN

- Quarks
- Responsável pela formação de toda matéria comum
- Nunca foram observados livremente
- Só existem em estados ligados formando as partículas



ESTRANHO

- São produzidas aos pares
- É um quark
- São produzidos pela força forte
- Existiu apenas nos primórdios da criação do Universo



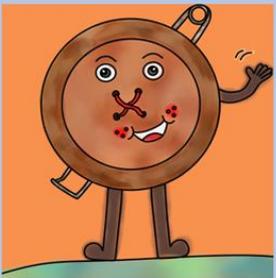
CHARME

- Foi o quarto quark a ser proposto
- Foi observado em 1974
- Partícula pesada e lenta
- Só aparece em aceleradores de partículas



BOTTON

- Quinto quark a ser descoberto
- Só aparece em aceleradores de partículas
- Tem duração de apenas um milionésimo de milionésimo de segundo.



TOP

- Último quark a ser descoberto em 1995
- Só existiu em condições naturais na época do big bang
- São recriados em aceleradores de partículas que atinjam altas energias
- Tempo e vida pequeno
- É o mais pesado de todos os quarks



BÓSONS

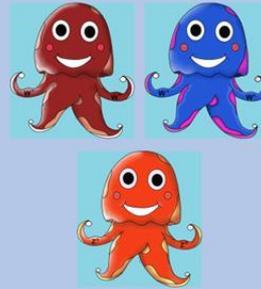
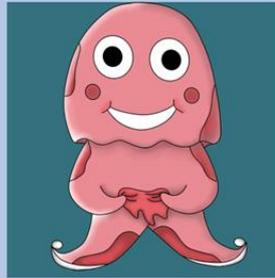
FÓTON

- Segunda partícula elementar a ser descoberta
- Não possui massa
- Spin = 1
- Bóson
- Partícula mediadora da força eletromagnética



GLÚON

- Bóson
- Responsável por mediar a força forte



Z, W+, W-

- Bóson
- Responsáveis por intermediar a força fraca
- Alteram a partícula com a qual interagem

HIGGS

- Última partícula elementar a ser encontrada
- Conhecida como “Partícula de Deus”
- Bóson



DO QUE SÃO
FEITAS TODAS
AS COISAS?

APÊNDICE C – TEXTO: A EVOLUÇÃO DOS MODELOS ATÔMICOS

EVOLUÇÃO DOS MODELOS ATÔMICOS:

Visto que não é possível visualizar um átomo isoladamente, os cientistas, com o passar do tempo, criaram modelos atômicos, ou seja, imagens que servem para explicar a constituição, propriedades e comportamento dos átomos. Esses modelos explicam o que diz a teoria, mas isso não quer dizer que fisicamente o átomo seja igual ao seu modelo.

Os primeiros que imaginaram a existência dos átomos foram os filósofos gregos Leucipo e Demócrito em, aproximadamente, 450 a.C. Segundo eles, tudo seria formado por minúsculas partículas indivisíveis. Daí a origem do nome “átomo”, que vem do grego *a* (não) e *tomo* (partes).

No entanto, essas ideias não puderam ser comprovadas na época, constituindo-se apenas como hipóteses. Assim, outras teorias tomaram o seu lugar, e o pensamento de que tudo seria composto por átomos ficou esquecido durante uma boa parte da história da humanidade.

Mas, no século XIX, alguns cientistas passaram a realizar testes experimentais cada vez mais precisos graças aos avanços tecnológicos. Com isso, não só se descobriu que tudo era realmente formado por minúsculas partículas, mas também foi possível entender cada vez mais sobre a estrutura atômica.

Os cientistas usaram as informações descobertas por outros estudiosos para desenvolver o modelo atômico. Dessa forma, as descobertas de um cientista eram substituídas pelas de outros. Os conceitos que estavam corretos permaneciam, mas os que comprovadamente não eram reais passavam a ser abandonados. Assim, novos modelos atômicos foram criados. Essa série de descobertas da estrutura atômica até se chegar aos modelos aceitos hoje ficou conhecida como a evolução do modelo atômico.

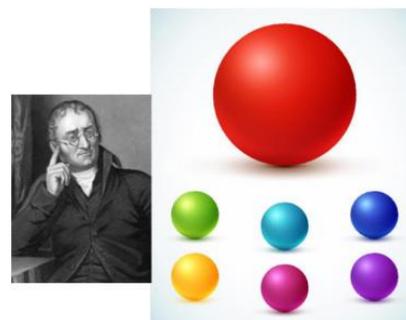
São quatro as principais teorias atômicas estudadas nessa evolução. Vejamos cada uma resumidamente:

Modelo atômico de Dalton

Em 1803, Dalton retomou as ideias de Leucipo e Demócrito e propôs o seguinte:

“A matéria é formada por átomos, que são partículas minúsculas, maciças, esféricas e indivisíveis.”

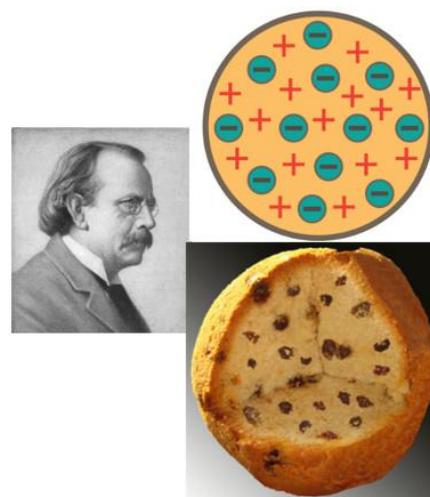
Esse modelo fazia uma analogia à estrutura de uma bola de bilhar. Todos os átomos seriam assim, diferenciando-se somente pela massa, tamanho e propriedades para formar elementos químicos diferentes.



O modelo atômico de Dalton baseava na estrutura de uma bola de bilhar

Modelo atômico de Thomson

Por meio de um experimento com uma ampola de Crookes (um tubo de vidro fechado com um eletrodo positivo e um negativo onde se colocavam gases em pressões baixíssimas e submetidos a altas voltagens), Thomson descobriu que existiam partículas negativas que compunham a matéria. Isso significava que o modelo de Dalton estava errado porque o átomo seria divisível, tendo em vista que ele teria partículas ainda menores negativas chamadas de elétrons.



Visto que o átomo é neutro, cargas positivas também deveriam existir. Assim, J. J. Thomson propôs o seguinte em 1898:

“O átomo é constituído de uma partícula esférica de carga positiva, não maciça, incrustada de elétrons (negativos), de modo que sua carga elétrica total é nula.”

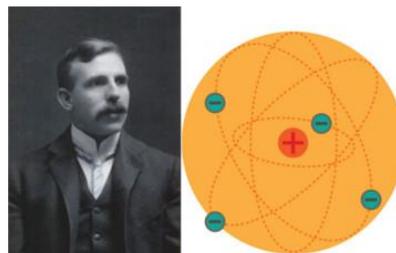
O modelo atômico de Thomson parecia com um pudim ou bolo de passas.

Modelo atômico de Rutherford

Em 1911, o físico neozelandês Ernest Rutherford realizou um experimento em que ele bombardeou uma finíssima lâmina de ouro com partículas alfa (α) emitidas por uma amostra de polônio (material radioativo) que ficava dentro de um bloco de chumbo com um pequeno orifício pelo qual as partículas passavam.

Por meio dos resultados desse experimento, Rutherford percebeu que, na verdade, o átomo não seria maciço como propôs os modelos de Dalton e Thomson. Veja o que ele propôs:

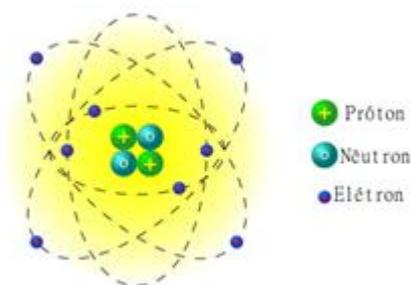
“ O átomo é descontínuo e é formado por duas regiões: o núcleo e a eletrosfera. O núcleo é denso e tem carga positiva, ou seja, é constituído de prótons. A eletrosfera é uma grande região vazia onde os elétrons ficam girando ao redor do núcleo.”



O modelo atômico de Rutherford fazia uma analogia ao sistema solar

Em 1932, o cientista Chadwick descobriu a terceira partícula subatômica, o nêutron. Dessa forma, o modelo de Rutherford passou a ter os nêutrons no núcleo junto aos prótons, ficando assim:

Modelo atômico de Rutherford incluindo os nêutrons no núcleo



Por Jennifer Fogaça - Graduada em Química

Disponível em: <https://www.manualdaquimica.com/quimica-geral/evolucao-dos-modelos-atomicos.htm> (acesso em 22/05/2019).

APÊNDICE D – TESTE DE PREPARAÇÃO (INDIVIDUAL E EM EQUIPE)



ESCOLA ESTADUAL DE ENSINO MÉDIO “CECILIANO ABEL DE ALMEIDA” AVALIAÇÃO DE FÍSICA

Aluno(a):		Professor(a): Edna de Souza da Silva	
Conteúdo: <i>Evolução dos modelos atômicos</i>		Número:	Série:
Instruções: ▪A prova deverá ser feita à caneta PRETA ou AZUL ; ▪ PROIBIDO o uso de calculadoras, celulares e acessórios eletrônicos; ▪ REVISE a prova antes de entregá-la		Trimestre:	TESTE DE PREPARAÇÃO INDIVIDUAL
		Data:	

1 questão: (ESPM-SP) O átomo de Rutherford (1911) foi comparado ao sistema planetário (o núcleo atômico representa o sol e a eletrosfera, os planetas). Eletrosfera é a região do átomo que:

- a) contém as partículas de carga elétrica negativa.
- b) contém as partículas de carga elétrica positiva.
- c) contém nêutrons.
- d) concentra praticamente toda a massa do átomo.
- e) contém prótons e nêutrons.

2. questão: (ETFSP) "O espaço entre as moléculas atômicas está ocupado por partículas de carga negativa". Esta é uma afirmação feita por:

- a) Dalton;
- b) Thomson;
- c) Rutherford;
- d) Richter;
- e) Proust.

3. questão: (ETFSP) No fim do século XIX começaram a aparecer evidências de que o átomo não era a menor partícula constituinte da matéria. Em 1897 tornou-se pública a demonstração da existência de partículas negativas, por um inglês de nome:

- a) Dalton;
- b) Rutherford;
- c) Bohr;
- d) Thomson;
- e) Proust.

4. questão: (Puc - RS) O átomo, na visão de Thomson, é constituído de:

- a) níveis e subníveis de energia.
- b) cargas positivas e negativas.
- c) núcleo e eletrosfera.
- d) grandes espaços vazios.
- e) orbitais.

5. questão: (Ita-99) Em 1803, John Dalton propôs um modelo de teoria atômica. Considere que sobre a base conceitual desse modelo sejam feitas as seguintes afirmações:

I - O átomo apresenta a configuração de uma esfera rígida.

II - Os átomos caracterizam os elementos químicos e somente os átomos de um mesmo elemento são idênticos em todos os aspectos.

III - As transformações químicas consistem de combinação, separação e/ou rearranjo de átomos.

IV - Compostos químicos são formados de átomos de dois ou mais elementos unidos em uma razão fixa.

Qual das opções a seguir estão CORRETAS?

- a) I e IV
- b) II e III
- c) II e IV
- d) II, III e IV
- e) I, II, III e IV.

6. questão: (UEL – 1998) "O átomo contém um núcleo positivo, muito pequeno e denso, com todos os prótons, que concentra praticamente toda a massa. Os elétrons devem estar distribuídos em algum lugar do volume restante do átomo".

Esta afirmação é devida a:

- a) Rutherford
- b) Millikan
- c) Thomson
- d) Bohr
- e) Faraday

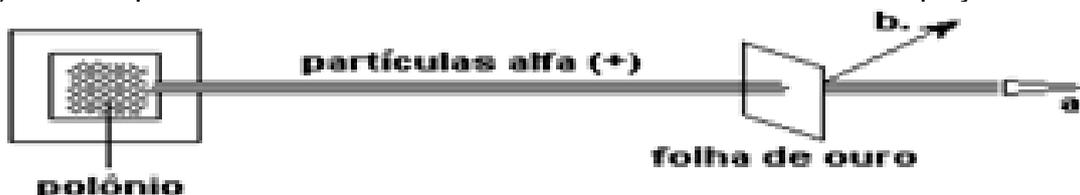
7. questão: O bombardeamento da folha de ouro com partículas alfa, no experimento de Rutherford, mostra que algumas dessas partículas sofrem desvio acentuado do seu trajeto, o que é devido ao fato de que as partículas alfa:

Chocam-se com as moléculas de ouro.

- a) Têm carga negativa e são repelidas pelo núcleo.
- b) São muito lentas e qualquer obstáculo as desvia.
- c) Têm carga positiva e são repelidas pelo núcleo.
- d) Não podem atravessar a lâmina de ouro.

8. questão: (Pucmg 2007) Observe atentamente a representação a seguir sobre um experimento clássico realizado por Rutherford. Rutherford concluiu que:

- a) o núcleo de um átomo é positivamente carregado.
- b) os átomos de ouro são muito volumosos.
- c) os elétrons em um átomo estão dentro do núcleo.
- d) a maior parte do volume total um átomo é constituído de um espaço vazio.



9. questão: (Pucmg 2007) Assinale a afirmativa que descreve ADEQUADAMENTE a teoria atômica de Dalton. Toda matéria é constituída de átomos:

- a) os quais são formados por partículas positivas e negativas.
- b) os quais são formados por um núcleo positivo e por elétrons que gravitam livremente em torno desse núcleo.
- c) os quais são formados por um núcleo positivo e por elétrons que gravitam em diferentes camadas eletrônicas.
- d) e todos os átomos de um mesmo elemento são idênticos.

10. questão: (UFJF-MG) Associe as afirmações a seus respectivos responsáveis:

- I- O átomo não é indivisível e a matéria possui propriedades elétricas (1897).
- II- O átomo é uma esfera maciça (1808).
- III- O átomo é formado por duas regiões denominadas núcleo e eletrosfera (1911).

- a) I - Dalton, II - Rutherford, III - Thomson.
- b) I - Thomson, II - Dalton, III - Rutherford.
- c) I - Dalton, II - Thomson, III - Rutherford.
- d) I - Rutherford, II - Thomson, III - Dalton.
- e) I - Thomson, II - Rutherford, III - Dalton.



ESCOLA ESTADUAL DE ENSINO MÉDIO “CECILIANO ABEL DE ALMEIDA”
AVALIAÇÃO DE FÍSICA

<i>Aluno(a):</i>		<i>Professor(a):</i> Edna de Souza da Silva	
<i>Conteúdo: Evolução dos modelos atômicos</i>		<i>Número:</i>	<i>Série:</i>
<i>Instruções:</i> <ul style="list-style-type: none"> ▪A prova deverá ser feita à caneta PRETA ou AZUL; ▪PROIBIDO o uso de calculadoras, celulares e acessórios eletrônicos; ▪REVISE a prova antes de entregá-la 		<i>Trimestre:</i>	TESTE DE PREPARAÇÃO INDIVIDUAL
		<i>Data:</i>	

1. questão: (ESPM-SP) O átomo de Rutherford (1911) foi comparado ao sistema planetário (o núcleo atômico representa o sol e a eletrosfera, os planetas). Eletrosfera é a região do átomo que:

- a) contém as partículas de carga elétrica negativa.
- b) contém as partículas de carga elétrica positiva.
- c) contém nêutrons.
- d) concentra praticamente toda a massa do átomo.
- e) contém prótons e nêutrons.

2. questão: (ETFSP) "O espaço entre as moléculas atômicas está ocupado por partículas de carga negativa". Esta é uma afirmação feita por:

- a) Dalton;
- b) Thomson;
- c) Rutherford;
- d) Richter;
- e) Proust.

3. questão: (ETFSP) No fim do século XIX começaram a aparecer evidências de que o átomo não era a menor partícula constituinte da matéria. Em 1897 tornou-se pública a demonstração da existência de partículas negativas, por um inglês de nome:

- a) Dalton;
- b) Rutherford;
- c) Bohr;
- d) Thomson;
- e) Proust.

4. questão: (Puc - RS) O átomo, na visão de Thomson, é constituído de:

- a) níveis e subníveis de energia.
- b) cargas positivas e negativas.
- c) núcleo e eletrosfera.
- d) grandes espaços vazios.
- e) orbitais.

5. questão: (Ita-99) Em 1803, John Dalton propôs um modelo de teoria atômica. Considere que sobre a base conceitual desse modelo sejam feitas as seguintes afirmações:

I - O átomo apresenta a configuração de uma esfera rígida.

II - Os átomos caracterizam os elementos químicos e somente os átomos de um mesmo elemento são idênticos em todos os aspectos.

III - As transformações químicas consistem de combinação, separação e/ou rearranjo de átomos.

IV - Compostos químicos são formados de átomos de dois ou mais elementos unidos em uma razão fixa.

Qual das opções a seguir estão CORRETAS?

a) I e IV

b) II e III

c) II e IV

d) II, III e IV

e) I, II, III e IV.

6. questão: (UEL – 1998) "O átomo contém um núcleo positivo, muito pequeno e denso, com todos os prótons, que concentra praticamente toda a massa. Os elétrons devem estar distribuídos em algum lugar do volume restante do átomo".

Esta afirmação é devida a

a) Rutherford

b) Millikan

c) Thomson

d) Bohr

e) Faraday

7. questão: O bombardeamento da folha de ouro com partículas alfa, no experimento de Rutherford, mostra que algumas dessas partículas sofrem desvio acentuado do seu trajeto, o que é devido ao fato de que as partículas alfa:

Chocam-se com as moléculas de ouro.

a) Têm carga negativa e são repelidas pelo núcleo.

b) São muito lentas e qualquer obstáculo as desvia.

c) Têm carga positiva e são repelidas pelo núcleo.

d) Não podem atravessar a lâmina de ouro.

8 questão: (Pucmg 2007) Observe atentamente a representação a seguir sobre um experimento clássico realizado por Rutherford. Rutherford concluiu que:

a) o núcleo de um átomo é positivamente carregado.

b) os átomos de ouro são muito volumosos.

c) os elétrons em um átomo estão dentro do núcleo.

d) a maior parte do volume total um átomo é constituído de um espaço vazio.



9. questão: (Pucmg 2007) Assinale a afirmativa que descreve ADEQUADAMENTE a teoria atômica de Dalton. Toda matéria é constituída de átomos:

a) os quais são formados por partículas positivas e negativas.

- b) os quais são formados por um núcleo positivo e por elétrons que gravitam livremente em torno desse núcleo.
- c) os quais são formados por um núcleo positivo e por elétrons que gravitam em diferentes camadas eletrônicas.
- d) e todos os átomos de um mesmo elemento são idênticos.

10 questão: (UFJF-MG) Associe as afirmações a seus respectivos responsáveis:

- I- O átomo não é indivisível e a matéria possui propriedades elétricas (1897).
 - II- O átomo é uma esfera maciça (1808).
 - III- O átomo é formado por duas regiões denominadas núcleo e eletrosfera (1911).
-
- a) I - Dalton, II - Rutherford, III - Thomson.
 - b) I - Thomson, II - Dalton, III - Rutherford.
 - c) I - Dalton, II - Thomson, III - Rutherford.
 - d) I - Rutherford, II - Thomson, III - Dalton.
 - e) I - Thomson, II - Rutherford, III - Dalton.

APÊNDICE E – UMA PARTIDA DE ATOMOBOL

UMA PARTIDA DE ATOMOBOL

Aluno: _____ turma: _____

Você compreendeu a afirmação de que o átomo é mais vazio do que cheio?

Nesta atividade, você vai poder visualizar melhor as dimensões atômicas por meio da comparação com as medidas cotidianas.

- 1) Observe a tabela a seguir com as dimensões de um átomo:

Raio do núcleo	10^{-15}m
Raio do átomo	10^{-10}m

- 2) Considere que você vai construir um “joguinho” de futebol de botão em que o núcleo do átomo corresponda a uma bolinha de gude (0,01 m de raio). Nessa representação, qual deve ser o tamanho do campo de “atomobol”, que corresponde ao tamanho do átomo inteiro? (basta usar uma regra de três)
- 3) É possível desenhar o modelo atômico em escala numa folha de papel, de forma que possamos ver o núcleo e os elétrons? Explique.

APÊNDICE F – BRINCANDO COM CARGAS ELÉTRICAS

BRINCANDO COM CARGA ELÉTRICAS:

Nome: _____ Turma: _____

A propriedade da matéria que permitiu Thomson desenvolver seu modelo para a estrutura da matéria é a carga elétrica.

Nesta atividade, você terá a oportunidade de verificar a existência de carga elétrica e refletir sobre o modelo atômico de Thomson.

Você vai precisar de:

- Uma régua
- Uma flanela
- Pedacinhos bem pequenos de papel ou bolinha bem pequenas de isopor.

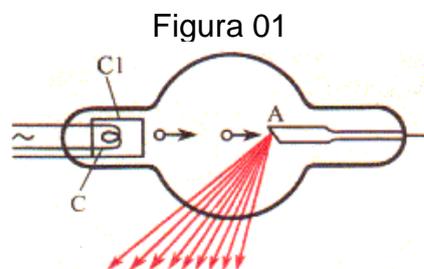
Procedimentos:

- Espalhe os pequenos pedaços de papel (ou isopor) sobre a superfície da mesa.
- Esfregue a flanela na régua plástica
- Aproxime a régua dos pedacinhos de papel e observe o que acontece
- Aproxime a flanela dos pedacinhos de papel e observe o que acontece.

APÊNDICE G – TEXTO: VENDO ATRAVÉS DA PELE – A DESCOBERTA DO RAIOS X

VENDO ATRAVÉS DA PELE: A DESCOBERTA DOS RAIOS-X

Há pouco mais de 100 anos atrás, não era possível o médico visualizar o interior do corpo humano sem ter que abri-lo e isso dificultava muito o diagnóstico de doenças e fraturas nos pacientes. Mas em 1895 uma grande descoberta revolucionou a humanidade, principalmente a física e a medicina, nesse ano eram descobertos os **raios X**. Mas como isso ocorreu?



Na noite de 8 de novembro de 1895 o físico holandês Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923), seguindo as tendências de sua época, estava fazendo mais uma experiência com descargas elétricas nos tubos de raios catódicos (figura 1), estudando o fenômeno da luminescência produzida pelos raios no tubo, quando notou que algo de diferente acontecia. Em sua sala de experiências totalmente às escuras, ele viu a folha de papel, usada como tela e tratada com uma substância química fluorescente (platinocianeto de bário), colocada a uma certa distância do tubo brilhar emitindo luz. Röntgen espantado, pode imaginar que alguma coisa devia ter atingido a tela para que ela reagisse dessa forma. Mas o tubo de raios catódicos estava coberto por uma cartolina negra e nenhuma luz ou nenhum raio catódico poderia ter escapado dali.

Surpreso e perplexo com o fenômeno, ele decidiu pesquisá-lo mais a fundo. Virou a tela, de modo a que o lado sem a substância fluorescente ficasse voltado para o tubo; mesmo assim, a tela continuava a brilhar. Ele então afastou a tela para mais longe e o brilho persistiu. Depois, colocou diversos objetos (uma camada de papelão, pedaços de madeira, um livro de 1000 páginas e até finas placas metálicas)

entre o tubo e a tela e todos pareceram transparentes. Quando sua mão escorregou em frente à válvula ele viu os ossos na tela (figura 2). Descobriu “um novo tipo de raio”, conforme ele mesmo explicou em sua primeira publicação.

Figura 2

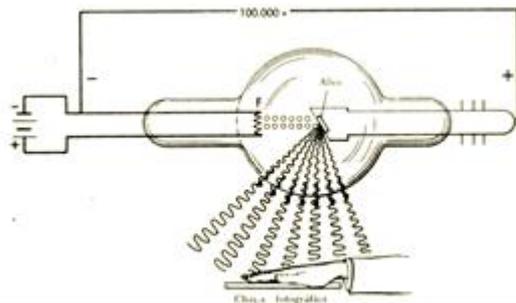


Röntgen havia ficado tão perplexo com sua descoberta, que teve que se convencer primeiro antes de falar com qualquer pessoa sobre sua descoberta do novo tipo de raio. Trabalhou sozinho durante sete semanas nessa tentativa, quando finalmente estava convencido, registrou sua descoberta (imagem da mão) em chapas fotográficas, e só então passou a ter certeza.

Em 1º de janeiro de 1896, ele distribuiu o relatório preliminar de sua descoberta, o que causou grande agitação, mas sua descoberta não podia ser refutada facilmente, pois havia fotografias dos raios X de suas mãos anexadas nele. No decorrer do mês, a notícia havia se espalhado por todo o mundo. Pode-se imaginar o deslumbramento em relação a esses raios aos quais tudo se tornava transparente e por meio dos quais todos podiam ver seus próprios ossos. Pode-se ver praticamente os dedos sem os músculos, mas com anéis, como se podia ver também uma bala alojada no corpo. As consequências para a medicina foram imediatamente percebidas. Imagine você nessa época, podendo ver os seus ossos, sem qualquer corte ou perfuração. Somente assim terá ideia da revolução causada com essa descoberta.

O trabalho de Röntgen sobre os raios X foi perfeito à luz do conhecimento existente em sua época. Mas ele, não conseguiu entender a natureza dos raios X, ou seja, ele não conseguiu comprovar que se tratava de uma radiação eletromagnética. No entanto, ele conseguiu mostrar que os raios podiam atravessar materiais sólidos,

podiam ionizar o ar, não sofriam reflexão no vidro e não eram desviados por campos magnéticos, mas não conseguiu observar os fenômenos da refração e da interferência normalmente associados a ondas (ondas eletromagnéticas, neste caso) por isso ficou o nome enigmático de raios X (X é o símbolo pra nomear o desconhecido)



Mais tarde sua natureza foi desvendada, mostrando que eles eram consequência da colisão dos raios catódicos com a parede do tubo e, por terem comprimento de onda muito pequeno, Röntgen não podia observar os fenômenos necessários para comprovar que os raios-X são ondas eletromagnéticas (radiação eletromagnética) de alta frequência.

Uma ilustração do equipamento de Röntgen é mostrado ao lado. Entre os catodos do tubo de vidro, os raios catódicos são inicialmente acelerados, com voltagem de até 100 kV (100.000 V) e, em seguida, são bruscamente freados (há uma colisão dos raios e o alvo). Por causa disso, ocorre uma emissão de radiação eletromagnética com um comprimento de onda muito pequeno (da ordem de 10^{-12} m), que corresponde a radiações de alta frequência. É assim que são produzidos os raios X.

As aplicações dos raios X são as mais diversas possíveis. Elas vão desde “simples” obtenção de chapas fotográficas (radiografias) para detectar uma fratura, uma inflamação e uma cárie até a determinação de uma certa porcentagem de uma substância em um composto, através da difração dos raios X, como é o caso da quantidade de carbono existente no aço.

Essa determinação é importante, pois permite que o aço fique mais maleável e conseqüentemente consegue-se produzir chapas mais finas. Atualmente, os raios X também são utilizados na área de segurança, como é o caso dos aeroportos. Com

eles, é possível “ver” dentro das malas e constatar se existem objetos metálicos e até mesmo se as pessoas carregam algum tipo de arma (figura 3). Sua utilização também pode ser vista na fronteira dos E.U.A com o México, onde a polícia o utiliza para vasculhar o interior dos veículos (figura 4).



Figura 3



Figura 4

Fonte: <http://nupic.incubadora.fapesp.br/portal>, acessado em 20/06/2019

APÊNDICE H – FOLDER: AS PARTÍCULAS ELEMENTARES

DO QUE SÃO FEITAS
TODAS AS COISAS?

MODELO PADRÃO

FÉRMIONS

QUARKS

LÉPTONS

BÓSONS

PARTÍCULAS ELEMENTARES

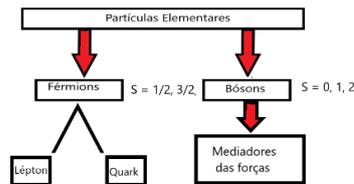
São partículas de matéria ou radiação que não podem ser divididas em partes menores e que são governadas por forças fundamentais.

Estão sintetizadas no modelo padrão.

Modelo padrão de partículas elementares

	Férmions			Bósons
massa →	2.4 MeV/c ²	1.27 GeV/c ²	171.2 GeV/c ²	0
carga →	2/3	2/3	2/3	0
spin →	1/2	1/2	1/2	0
nome →	u up	c charm	t top	γ fóton
	d down	s strange	b bottom	g gluon
	v _e neutrino eletrônico	v _μ neutrino múon	v _τ neutrino tau	Z ⁰ Z bóson
	e elétron	μ múon	τ tau	W [±] W bóson
	I	II	III	

Traço geracional de matéria (férmions)



LÉPTONS

ELÉTRON



- Primeira partícula elementar a ser descoberta.
- Descoberta por J. J. Thomson em 1897
- Quebrou a ideia que o átomo é indivisível
- Lépton

MÚON



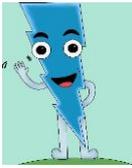
- Quarta partícula elementar a ser descoberta
- Lépton
- Massa 207 vezes maior que a do elétron
- Partícula instável
- Vida média: $2 \cdot 10^{-6}$ s

TAU

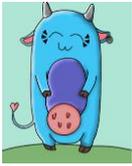


- Faz parte da terceira geração de léptons
- Descoberto em 1975
- É o lépton mais pesado
- Sua massa é cerca de 3500 vezes maior que a do elétron

NEUTRINOS



- Partícula leve e neutra
- Raramente interage com a matéria
- Muito difícil de detectar
- São chamadas de partículas mensageiras



UP E DOWN



- QUARKS
- Quarks
 - Responsável pela formação de toda matéria comum
 - Nunca foram observados livremente
 - Só existem em estados ligados formando as partículas



CHARME



- Foi o quarto quark a ser proposto
- Foi observado em 1974
- Partícula pesada e lenta
- Só aparece em aceleradores de partículas

ESTRANHO



- São produzidas aos pares
- É um quark
- São produzidos pela força forte
- Existiu apenas nos primórdios da criação do Universo

BOTTON



- Quinto quark a ser descoberto
- Só aparece em aceleradores de partículas
- Tem duração de apenas um milionésimo de segundo

TOP



- Último quark a ser descoberto
- Só existiu em condições naturais na época do big bang
- São recriados em aceleradores de partículas que atinjam altas energias
- Tempo de vida pequeno e é o mais pesado de todos os quarks

BÓSONS

FÓTON



- Segunda partícula elementar a ser descoberta
- Não possui massa
- Bóson
- Partícula mediadora da força eletromagnética

GLÚON



- Bóson
- Responsável por mediar a força forte

Z, W+, W-



- Bóson
- Responsáveis por intermediar a força fraca

HIGGS



- Última partícula elementar a ser encontrada
- Conhecida como "Partícula de Deus"
- Bóson

APÊNDICE I – MODO DE JOGAR

JOGO: DO QUE SÃO FEITAS TODAS AS COISAS?

O jogo consiste em familiarizar os alunos com os nomes das partículas elementares.

O jogo consiste em 60 cartas, sendo:

- 16 cartas de partículas elementares
- 43 cartas de propriedades das partículas
- 1 coringa – prêmio Nobel de física

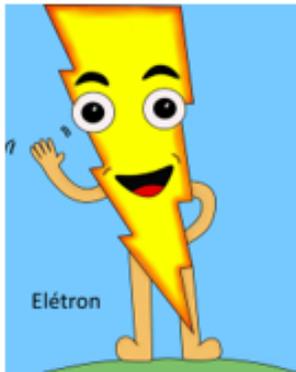
Modo de jogar: (2 a 4 pessoas)

- Cada baralho dá para jogar até 4 pessoas, se forem jogar mais pessoas precisa usar dois baralhos.
- Cada participante recebe 9 cartas e precisa formar 3 trios, sendo que cada trio deve conter 1 partícula (desenho da partícula) e 2 propriedades dessa partícula, por exemplo:
Partícula: Fóton
Propriedades: Bóson, responsável por intermediar a força eletromagnética
- As cartas que não foram distribuídas no início do jogo ficam viradas de cabeça para baixo para poderem ser compradas.
- A cada rodada o participante compra 1 carta do monte de cartas viradas para baixo ou 1 carta do monte de descarte (que são as cartas descartadas que ficam de cabeça para cima, lembrando que o jogador só pode comprar a última carta que foi descartada) e descarta 1 carta, de tal forma que ele sempre tenha 9 cartas na mão.
- A carta coringa é o prêmio Nobel de física, sendo que ela pode substituir qualquer carta das propriedades das partículas.

Vencedor:

- Será o vencedor da partida o participante que formar os três pares primeiro, porém se algum par estiver errado, o jogador recebe como penalidade não poder comprar do monte de descarte até o final da partida.

APÊNDICE J – CARTAS DO BARALHO



Quebrou a ideia que o átomo é indivisível

Lépton



Bóson

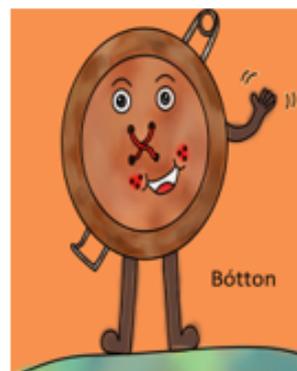
Responsável por mediar a força forte



Bóson

Conhecida como partícula de Deus

Última partícula elementar a ser encontrada



Tem duração de apenas um milionésimo de segundo

Só aparece em aceleradores de partículas

Quark



Quark

Só aparece em aceleradores de partículas



Quark



Nunca foram observados livremente

Quark

Existiu apenas nos primórdios da criação do Universo



Bóson

Não possui massa

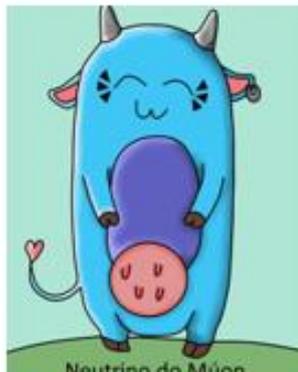
Partícula mediadora da força eletromagnética



Partícula leve e neutra

Raramente interage com a matéria

São chamadas de partículas mensageiras



Partícula leve e neutra

Raramente interage com a matéria

São chamadas de partículas mensageiras



Lépton

Massa 207
vezes maior
que a do
elétron



Partícula
leve e
neutra

Raramente
interage
com a
matéria

São chamadas
de partículas
mensageiras



Lépton

É o lépton
mais
pesado

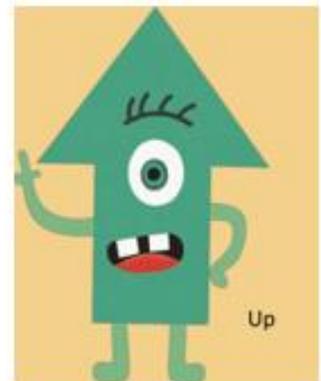
Sua massa é
cerca de 3500
vezes maior
que a do
elétron



Último quark
a ser
descoberto
em 1995

São recriados
em
aceleradores
de partículas
que atinjam
altas
energias

É o mais
pesado
de todos
os quarks



Quark

Nunca
foram
observados
livremente

Um dos
Responsáveis
pela
formação de
toda matéria
comum



Bóson

Responsáveis
por
intermediar
a força fraca

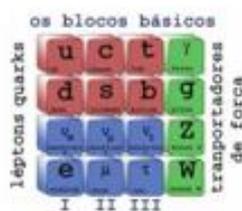


Quark

Lépton

PARTE
DETRÁS
DAS
CARTAS

DO QUE SÃO FEITAS
TODAS AS COISAS?



APÊNDICE L – TESTE FINAL



TESTE FINAL

Nome: _____

Turma: _____

Questão 1: Quais os menores constituintes da matéria?

- a) Átomos
- b) Prótons
- c) Nêutrons
- d) Partículas elementares

Questão 2: O que é uma partícula elementar?

Questão 3: Qual dessas partículas é elementar?

- a) Próton
- b) Átomo
- c) Nêutron
- d) Elétron

Questão 4: Qual dessas partículas não faz parte do modelo padrão?

- a) Fóton
- b) Múon
- c) Próton
- d) Charme

Por quê? _____

Questão 5: Quais são as partículas mediadoras das forças?

- a) Bósons
- b) Quarks
- c) Léptons

Questão 6: Relacione as colunas:

- | | |
|------------------------|--|
| a) Fóton | () Bóson responsável por dar massa as partículas |
| b) Glúon | () Bóson responsável por mediar a força fraca |
| c) W^+ , W^- , z | () Bóson responsável por mediar a força eletromagnética |
| d) Higgs | () Bóson responsável por mediar a força forte |

Questão 7: Qual dessas partículas quebrou a ideia que o átomo é indivisível?

- a) Fóton
- b) Elétron
- c) Top
- d) Up

Questão 8: Qual dessas partículas são chamadas de “partículas mensageiras”?

- a) Neutrinos
- b) Charme
- c) Glúon
- d) Higgs

Questão 9: Quais partículas são responsáveis pela formação de toda matéria comum?

- a) Up e múon
- b) Up e Down
- c) Estranho e Charme
- d) Down e Top

Questão 10: Qual dessas partículas não possui massa?

- a) Higgs
- b) Tau
- c) Estranho
- d) Fóton

Questão 11: Qual dessas partículas foi a última a ser encontrada e é conhecida como “partícula de Deus”?

- a) Higgs
- b) Tau
- c) Estranho
- d) Fóton

Questão 12: O que é o Large Hadron Collider (LHC) ou Grande Colisor de Hádrons?

- a) Um telescópio espacial.
- b) Uma nova teoria para explicar a origem do Universo.
- c) É um acelerador de partículas projetado para recriar as condições encontradas instantes após o Big Bang, localizado na Suíça
- d) Não sei.