UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA COM AUXÍLIO DO LÚDICO PARA O ESTUDO DE FÍSICA DE PARTÍCULAS NO ENSINO MÉDIO

Francisco Bandeira Amaral Filho

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Federal de Mato Grosso, Polo 25 do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientadora:

Profª. Drª. Sabrina Silva Carara

Cuiabá
Setembro de 2022

FICHA CATALOGRÁFICA

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

B214s Bandeira Amaral Filho, Francisco.
UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA COM AUXÍLIO DO LÚDICO PARA O ESTUDO DE FÍSICA DE PARTÍCULAS NO ENSINO MÉDIO / Francisco Bandeira Amaral Filho. -- 2022
xv, 175 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientadora: Sabrina Silva Carara.
Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Programa de Pós-Graduação Profissional em Ensino de Física, Cuiabá, 2022.
Inclui bibliografia.

1. Física de Partículas Elementares. 2. Aprendizagem Significativa. 3. Lúdico. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA EM REDE - PROFIS

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO : "UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA COM AUXÍLIO DO LÚDICO PARA O ESTUDO DE FÍSICA DE PARTÍCULAS NO ENSINO MÉDIO"

AUTOR: Francisco Bandeira Amaral Filho

defendida e aprovada em 04/11/2022.

COMPOSIÇÃO DA BANCA EXAMINADORA

1. DOUTORA SABRINA SILVA CARARA (PRESIDENTE BANCA / ORIENTADORA)
   INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

2. DOUTOR SÉRGIO ROBERTO DE PAULO (EXAMINADOR INTERNO)
   INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

3. DOUTOR NELSON BARRELO JUNIOR (EXAMINADOR EXTERNO)
   INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE

4. DOUTOR EDUARDO AUGUSTO CAMPOS CURVO (EXAMINADOR SUPLENTE)
   INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

5. DOUTOR FERNANDO LUIZ DE CAMPOS CARVALHO (EXAMINADOR SUPLENTE)
   INSTITUIÇÃO: UNESP

Cuiabá, 04/11/2022.

Documento assinado eletronicamente por **SABRINA SILVA CARARA**, **Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 04/11/2022, às 18:12, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020 .

Documento assinado eletronicamente por **Nelson Barrelo Junior**, **Usuário Externo**, em 04/11/2022, às 18:38, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

Documento assinado eletronicamente por **SERGIO ROBERTO DE PAULO**, **Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 05/11/2022, às 10:02, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020 .

Documento assinado eletronicamente por **Francisco Bandeira Amaral FIlho**, **Usuário Externo**, em 18/11/2022, às 14:27, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020 .

A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufmt.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **5273879** e o código CRC **2ED86418**.

Referência: Processo nº 23108.094267/2022-71 SEI nº 5273879

*A quem esteve sempre comigo em todos os momentos do mestrado, me dando força em todas as etapas da pesquisa, principalmente durante a escrita e no alívio do dever cumprido, minha força para seguir adiante, que com amor e paciência entendeu e suportou minha ausência, minha esposa Genivania, minha filha Sabrina, minha mãe Marlene, meu pai Francisco (in memorian**),** minhas irmãs Mariane e Elrilene, meu irmão Elton e ao meu cachorro Iori, dedico-lhes esta conquista com gratidão. Vocês são a razão do meu viver e da minha luta.*

Agradecimentos

A **Deus**, pelo amor e presença em todos os momentos da minha vida. Por ter me concedido a graça de superar os desafios e não permitir que desanimasse ao longo desta caminhada.

À **minha orientadora**, Sabrina Silva Carara, pela orientação e amizade, que em meio às inúmeras atividades acadêmicas, sempre confiou em mim mesmo com o prazo apertado e nos momentos mais difíceis da minha vida. Obrigado por ajudar a concretizar meu sonho.

À **minha esposa**, Genivania Silva, pelo amor e dedicação a nossa família. Obrigado por suprir a minha ausência e por ser tão cuidadosa comigo e nossa filha. Você é o meu amor.

À **minha filha**, Sabrina Martins, por entender e suportar minha ausência. Obrigado por me proporcionar tantas alegrias. Você é meu bem maior.

À **minha amiga**, Andreia Aguillera, por me ajudar na escrita e na aplicação do produto educacional, sempre sanando os meus anseios com sua preocupação e carinho. Gratidão minha amiga.

A **todos os meus colegas do mestrado**, em especial ao Henrique Moura ("masca coca") e Madson Barros obrigado pela amizade e parceria. Nossas discussões, vivências e trocas de experiências foram o diferencial do processo.

A **todos os professores do MNPEF - Polo 25 UFMT**, pelos ensinamentos, incentivo e disponibilidade que foram fundamentais na minha formação, proporcionando assim um novo olhar no ensinamento de Física.

À **minha sobrinha**, Vitória Amaral, obrigada pelo seu carinho em todos os momentos.

Ao **meu amigo**, Josélio Sousa, por tantas vezes ter me acolhido em sua casa durante a realização do mestrado.

Aos amigos, em especial ao **Bruno Nascimento (*in memorian*)** e **Marco Aúrelio** os quais são mais que irmãos. Obrigado por me incentivarem a prosseguir na caminhada, pelas risadas, pela amizade. Vocês me fazem sentir muito especial.

Por fim, a todos aqueles que contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização deste trabalho, deixo minha gratidão.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

“O que se faz por amor está muito além do bem
e do mal.”
Friedrich Nietzsche

RESUMO

UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA COM AUXÍLIO DO LÚDICO PARA O ESTUDO DE FÍSICA DE PARTÍCULAS NO ENSINO MÉDIO

Francisco Bandeira Amaral Filho

Orientadora:

Profª. Dra. Sabrina Silva Carara

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Federal de Mato Grosso, Polo 25 do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Nesta dissertação apresento uma proposta para adequação do currículo do Ensino Médio através da inserção de Física de Partículas Elementares. Como a componente curricular de Física vem perdendo espaço com a reforma do Ensino Médio, a qual reduz o número de aulas, ensinar Física de Partículas Elementares torna-se um grande desafio para o docente. Como ministro aula de Física para os estudantes do terceiro ano desde 2015, foi observado que os alunos, além de demonstrarem desinteresse pelo estudo de Física ocasionado pela utilização do método da aprendizagem mecânica, possuem dificuldades relacionadas à definição e compreensão dos conceitos envolvendo o que constitui a matéria e o átomo. Para isso, aplicamos uma sequência didática diferenciada para trazer sugestões sobre o conteúdo a partir das metodologias de Ausubel (Aprendizagem Significativa - AS) e de Delizoicov e Angotti (Os Três Momentos Pedagógicos - 3MP). As atividades foram desenvolvidas em duas turmas de terceiro ano do Ensino Médio no período vespertino da Escola Estadual Ulisses Guimarães, na cidade de Campo Verde – MT. A proposta apresentada e testada tem como principal objetivo avaliar a eficácia do produto no quesito de melhora na identificação e compreensão dos constituintes fundamentais da matéria e suas interações, utilizando construções de mapas conceituais, uso de simuladores para a compreensão dos modelos atômicos, visita virtual ao CERN, glossário com as principais informações das partículas elementares e o jogo de cartas "**Quem sou eu? Com as partículas elementares**". Os resultados obtidos foram averiguados durante o desenvolvimento das atividades teóricas e práticas, bem como com a aplicação dos questionários pré-teste e pós-teste. Verificou-se que, além de potencializar uma melhor compreensão dos conceitos da estrutura fundamental da matéria, essa proposta também pode vir a contribuir de forma positiva às interações interpessoais, pois a maioria dos alunos participaram ativamente das atividades descritas na sequência didática.

Palavras-chaves: Física de Partículas Elementares; Aprendizagem Significativa; Lúdico.

Cuiabá

Setembro de 2022

ABSTRACT

A TEACHING SEQUENCE WITH THE AID OF PLAYGROUNDS FOR THE STUDY OF PARTICLE PHYSICS IN HIGH SCHOOL

Francisco Bandeira Amaral Filho

Supervisor: Profª. Drª. Sabrina Silva Carara

Master's Dissertation presented to the Graduate Program in Physics Teaching at the Federal University of Mato Grosso, Pole 25 of the National Professional Master's Degree in Physics Teaching (MNPEF), as part of the necessary requirements to obtain the title of Master in Physics Teaching.

In this dissertation i present a proposal for the adequacy of the High School curriculum through the insertion of Elementary Particle Physics. Based on the fact that the curricular component of Physics has been losing ground with the reform of High School, which reduces the number of classes and makes teaching Elementary Particle Physics a great challenge for the teacher. As a Physics class minister for third year students since 2015, it was observed that the students, in addition to showing a lack of interest in the study of Physics caused by the use of the mechanical learning method, also have difficulties related to the definition and understanding of concepts involving the that makes up matter and the atom. Based on that, we applied a differentiated didactic sequence to bring suggestions about the content from the methodologies of Ausubel (Significant Learning - AS) and Delizoicov and Angotti (The Three Pedagogical Moments - 3MP). The activities were carried out in two classes of the third year of high school in the afternoon of the State School Ulisses Guimarães, in the city of Campo Verde - MT. The proposal presented and tested has as main objective to evaluate the effectiveness of the product in the questions of improvement in the identification and understanding of the fundamental constituents of the matter and its interactions, using constructions of mental maps, use of simulators for the understanding of atomic models, virtual visit to the CERN, glossary with the main information of elementary particles and the card game "**Who am I? With elementary particles**". The results obtained were verified during the development of theoretical and practical activities, as well as with the pre-test and post-test questionnaires. It was found that, in addition to enhancing a better understanding of the concepts of the fundamental structure of the subject, this proposal can also contribute positively to interpersonal interactions, as most students actively participated in the activities described in the didactic sequence.

Keywords: Elementary Particle Physics; Meaningful Learning; Ludic.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 16
1.1 Motivação e justificativa 17
1.2 Objetivos 20
2 REFERENCIAL TEÓRICO 20
2.1 Os Três Momentos Pedagógicos (3MP) 20
2.2 Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) na contribuição do Ensino de Física 23
2.3 Tipos de Aprendizagem Significativa 27
2.4 Aprendizagem Significativa × Aprendizagem Mecânica 28
2.5 Estratégias didáticas na construção do conhecimento por um processo de ensino significativo 29
2.6 Mapas Conceituais 29
2.7 Jogos como estratégias didáticas 30
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 35
3.1 Modelos Científicos 36
3.2 Modelos Atômicos 36
3.3 Muito Além do Átomo, o Modelo Padrão das Partículas Elementares 46
3.4 As Interações Fundamentais 56
4 METODOLOGIA 60
4.1 Metodologia de Ensino 60
4.2 Sequência Didática Baseada nos Três Momentos Pedagógicos e na Aprendizagem Significativa 62
4.3 Desenvolvimento da Sequência Didática 64
4.4 Metodologia de Pesquisa e Contexto da Pesquisa 72
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES 75
5.1 Discussão sobre o que é Matéria 75
5.2 Apresentando os Modelos Atômicos 76
5.3 Construções de Mapas Conceituais 77
5.4 Modelo Padrão de Partículas Elementares e as Interações Fundamentais da Natureza 78
5.5 Visitando o Experimento ATLAS 78
5.6 Jogando “Quem Sou Eu?” com as Partículas Elementares. 79
5.7 Resultados dos Questionários Pré-Teste e Pós-Teste. 80
6 CONCLUSÃO 101

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 104
APÊNDICE A: SEQUÊNCIA DIDÁTICA 108
APÊNDICE B: QUESTIONÁRIO PRÉ-TESTE E PÓS-TESTE 111
APÊNDICE C: QUESTIONÁRIO SOCIOECONÔMICO 115
APÊNDICE D: MAPAS CONCEITUAIS SOBRE A EVOLUÇÃO DOS MODELOS ATÔMICOS CONSTRUÍDOS PELOS ALUNOS 118
APÊNDICE E: MATERIAL PARA O PROFESSOR 120

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa conceitual que apresenta, de forma cronológica, a evolução do conceito do átomo e suas partículas constituintes. 35
Figura 2: Linha do tempo da Evolução dos Modelos Atômicos. 36
Figura 3: Modelo atômico de Dalton. 38
Figura 4: Modelo Atômico de Thomson. 40
Figura 5: Hans Geiger e Ernest Rutherford no laboratório. 40
Figura 6: Ilustração da experiência de Rutherford. 41
Figura 7: Ilustração do resultado da experiência de Rutherford 41
Figura 8: Representação do átomo de acordo com o modelo de Rutherford. 42
Figura 9: Representação de um elétron colapsando no núcleo do átomo. 42
Figura 10: Modelo Atômico de Bohr. 43
Figura 11: Ilustração do experimento realizado por Chadwick. 44
Figura 12: Modelos da Nuvem Eletrônica do átomo em diferentes níveis de energia. .. 46
Figura 13: Esquema simplificado para o Modelo Padrão. 48
Figura 14: Diagrama de Feynman representando uma possibilidade de obtenção do Bóson de Higgs. 55
Figura 15: Infográfico do Modelo Padrão. 55
Figura 16: Mapa Conceitual das Interações fundamentais. 58
Figura 17: Mapa Conceitual sobre a Teoria de Tudo. 60
Figura 18: Alunos realizando o pré-teste. Fonte: próprio autor, 2022. 65
Figura 19: Print do site Escala do Universo. 65
Figura 20: Aula expositiva e dialogada sobre os Modelos Atômicos. 66
Figura 21: O experimento de Rutherford no simulador phet. 66
Figura 22: Discente construindo Mapa Conceitual dos Modelos Atômicos. 67
Figura 23: Os Quarks e suas principais características. 68
Figura 24: Visita virtual ao Experimento ATLAS. 69
Figura 25: Alunos jogando "Quem sou eu?" no modo iniciante. 70
Figura 26: Alunas jogando "Quem sou eu?" no modo avançado. 71
Figura 27: Escola Estadual Ulisses Guimarães. 72
Figura 28: Apresentando os Modelos atômicos. 77
Figura 29: Os Quarks e suas principais características. 78
Figura 30: Alunos jogando "Quem sou eu?" no modo avançado. 80

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Resultado do questionário pré-teste sobre a 1ª questão..... 81
Gráfico 2: Resultado do questionário pós-teste sobre a 1ª questão. 81
Gráfico 3: Resultado do questionário pré-teste sobre a 2ª questão..... 82
Gráfico 4: Resultado do questionário pós-teste sobre a 2ª questão. 82
Gráfico 5: Resultado do questionário pré-teste sobre a 3ª questão..... 83
Gráfico 6: Resultado do questionário pós-teste sobre a 3ª questão 83
Gráfico 7: Resultado do questionário pré-teste sobre a 4ª questão..... 84
Gráfico 8: Resultado do questionário pós-teste sobre a 4ª questão. 84
Gráfico 9: Resultado do questionário pré-teste sobre a 5ª questão..... 85
Gráfico 10: Resultado do questionário pós-teste sobre a 5ª questão. 86
Gráfico 11: Resultado do questionário pré-teste sobre a 6ª questão..... 87
Gráfico 12: Resultado do questionário pós-teste sobre a 6ª questão. 87
Gráfico 13: Resultado do questionário pré-teste sobre a 7ª questão..... 88
Gráfico 14: Resultado do questionário pós-teste sobre a 7ª questão. 88
Gráfico 15: Resultado do questionário pré-teste sobre a 8ª questão..... 89
Gráfico 16: Resultado do questionário pós-teste sobre a 8ª questão. 90
Gráfico 17: Resultado do questionário pré-teste sobre a 9ª questão..... 91
Gráfico 18: Resultado do questionário pós-teste sobre a 9ª questão. 92
Gráfico 19: Resultado do questionário pré-teste sobre a 10ª questão..... 92
Gráfico 20: Resultado do questionário pós-teste sobre a 10ª questão. 93
Gráfico 21: Resultado do questionário pré-teste sobre a 11ª questão..... 94
Gráfico 22: Resultado do questionário pós-teste sobre a 11ª questão. 94
Gráfico 23: Resultado do questionário pré-teste sobre a 12ª questão..... 95
Gráfico 24: Resultado do questionário pós-teste sobre a 12ª questão. 96
Gráfico 25: Resultado do questionário pré-teste sobre a 13ª questão..... 96
Gráfico 26: Resultado do questionário pós-teste sobre a 13ª questão. 97
Gráfico 27: Resultado do questionário pré-teste sobre a 14ª questão..... 98
Gráfico 28: Resultado do questionário pós-teste sobre a 14ª questão. 99
Gráfico 29: Número de acertos no pré-teste. 100
Gráfico 30: Número de acertos no pós-teste. 100

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Quarks – Descobridor / Onde/ Ano 49
Tabela 2: Quarks – Características / Propriedades 50
Tabela 3: Antiquarks – Características / Propriedades. 51
Tabela 4: Léptons – Descobridor / Onde/ Ano 52
Tabela 5: Léptons – Características / Propriedades 52
Tabela 6: Antiquarks – Características / Propriedades. 53
Tabela 7: Bósons – Hipótese Teórica / Descoberta 54
Tabela 8: Bósons – Características / Propriedades 54
Tabela 9: Ações para abordagem dos 3MP na Sequência didática. 63

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CERN: Organização Europeia de Pesquisas Nucleares

BNCC: Base Nacional Comum Curricular

FPE: Física de Partículas Elementares

LHC: Grande Colisor de Hadróns

MP: Modelo Padrão

QCD: Cromodinâmica Quântica

3MP: Três Momentos Pedagógicos

PCN's: Parâmetros Curriculares Nacionais

TAS: Teoria da Aprendizagem Significativa

TQC: Teoria Quântica de Campos

TGU: Teoria da Grande Unificação

TOE's: *Theory of Everything*

1 INTRODUÇÃO

Temos avanços e descobertas a comemorar: decodificação da estrutura do DNA, a teoria da relatividade, a mecânica quântica, a teoria evolucionista, a descoberta da eletricidade, a penicilina etc. Para Alexander King (1998, p.63) o nosso mundo e a sociedade são sustentados por uma tecnologia bem sucedida, baseada nas descobertas da ciência.

Por outro lado, muitos desafios ainda restam às Ciências Naturais. Atualmente, a combinação entre mecânica quântica e teoria da relatividade, no que diz respeito a desafios da Física, pode produzir resultados inconsistentes. A explicação do que ocorre no interior de buracos negros e o próprio Big Bang são dois exemplos.

Outros desafios da Física estão na área de Física de Partículas Elementares: o que é matéria e energia escura, a existência de dimensões extras, a predominância de matéria e não antimatéria, etc. Desafios como estes são pesquisados pelo Centro Europeu de Pesquisa Nuclear (CERN), onde segundo Alexander King (1998, p.82) se faz ciência "grande". O CERN foi estabelecido após a Segunda Guerra Mundial para dar à Europa uma instituição de pesquisa básica sobre Física de partículas que promovesse a excelência científica e a paz.

No Ensino Básico, não é dada oportunidade aos alunos de estudarem Física de Partículas na grade curricular. Consideramos que é perdida uma janela de oportunidades de apresentação de tal área de conhecimentos.

Compreendendo a necessidade de uma educação com qualidade nas escolas públicas e a importância de abordar a Física de Partículas Elementares no Ensino Médio, já que tal assunto muitas vezes não é facilmente compreendido nem por parte de alguns professores, este trabalho tem como intuito elaborar, aplicar e avaliar a eficiência de uma sequência didática baseada nos Três Momentos Pedagógicos (3MP) de Delizoicov e Angotti (1994) e na Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) de Ausubel (1982) de forma a propiciar aos alunos situações em que os mesmos sejam autores e protagonistas do seu próprio saber. Com isso, tentaremos mostrar que a Física, em específico a Física de Partículas Elementares, não é somente um conteúdo cheio de cálculos, mas também uma ferramenta muito importante para a compreensão do mundo que nos cerca.

Realizaremos todo o trabalho com alunos do 3º ano do Ensino Médio da Escola Estadual Ulisses Guimarães localizada em Campo Verde-MT, tendo como foco principal o despertar para a aprendizagem significativa em Física de Partículas Elementares.

Inicialmente aplicamos um questionário pré-teste com o intuito de investigar qualitativamente o conhecimento prévio dos alunos sobre Física de Partículas Elementares.

Investigaremos as concepções iniciais que os alunos têm sobre a Física de partículas elementares, para orientar a construção de jogo de cartas, baseado no conhecido jogo "quem sou eu? Com as partículas elementares" o qual foi desenvolvido para que haja uma melhor assimilação de tal conteúdo, já que jogos são uma das ferramentas da aprendizagem significativa que facilita a assimilação dos conceitos físicos.

1.1 Motivação e justificativa

Buscando levar um ensino de qualidade às escolas públicas que valorize o conhecimento prévio de nossos alunos apresentaremos a Física Moderna e Contemporânea de uma forma diferente, dando ênfase em Física de Partículas Elementares, utilizando métodos não convencionais, que permitam ao aluno construir o seu próprio conhecimento, pois entende-se que "...aprendizagem é por natureza um esforço ativo do aluno e diferentes pessoas aprendem de maneira diferente… (NETO, 2013)" pretende-se com este trabalho levar ao alcance dos alunos a Física Moderna e Contemporânea através de estratégias de ensino que abordem esse tema de forma diferenciada.

Como eu trabalho desde 2015 com o Ensino Médio, principalmente com alunos do último ano, passei a inserir conteúdos de Física Moderna, como a Teoria da Relatividade e Física de Partículas Elementares, pois acredito que esses conteúdos são de suma importância para que os alunos entendam a dinâmica do Universo e o que constitui a matéria.

É comum que os alunos tragam para as aulas de Física discussões sobre assuntos dos mais diversos, que leram em revistas, jornais ou na internet e que, por serem mais atuais e interessantes, por estarem em destaque nas mídias ou presentes no seu dia-a-dia, despertam um interesse maior em conhecer e entender os princípios físicos que explicam tais fenômenos.

Visando divulgar a ciência e estimular jovens, o CERN mantém um programa de Educação, destinado a professores de diversos países da Europa, do qual constam visitas às suas instalações e laboratórios, além de cursos sobre tópicos de Física, ministrados no idioma dos participantes. No âmbito deste programa de Educação, desde 2007, o CERN tem mantido em suas instalações uma Escola de Física destinada a professores de escolas secundárias portuguesas, na qual são desenvolvidas aulas sobre Física de Partículas e áreas associadas, sessões experimentais e visitas aos laboratórios do CERN. Os professores brasileiros de Física não poderiam participar do supracitado programa se Portugal, país membro do CERN, não cedessem algumas de suas vagas.

É no CERN que encontramos o *Large Hadron Collider* – Grande Colisor de Hadróns[1] (LHC). O LHC é o maior e mais poderoso acelerador de partículas do mundo. Ele começou a funcionar em 10 de setembro de 2008 e consiste em um anel de 27 km de circunferência de ímãs supercondutores com uma série de estruturas de aceleração para aumentar a energia das partículas ao longo do caminho. O objetivo é provocar colisões entre as partículas e detectar os produtos, visando ao entendimento da estrutura da matéria. Parece coisa fácil, mas segundo o CERN as partículas são tão pequenas que a tarefa de colidir é semelhante a disparar duas agulhas a 10 km de distância com tanta precisão que elas se encontrem na metade do caminho.

Um dos resultados mais esperados e comemorados pelos estudiosos de Física de partículas foi a comprovação da existência do bóson de Higgs. Com isso, Peter Higgs e François Englert, foram agraciados com o Prêmio Nobel de Física de 2013. Os cientistas, juntamente com Robert Brout – falecido em 2011 e por isso não laureado com o nobel, fizeram a proposta do chamado mecanismo de Higgs. Esse mecanismo explica a existência da massa das partículas.

A ideia de desenvolver um produto educacional sobre o ensino de Física de partículas de forma a propiciar aos alunos situações em que eles sejam autores e protagonistas do seu próprio saber veio justamente após minha participação na **Escola de Física do CERN em 2016**.

[1] Do grego hadros que significa grande, largo, forte (ETYMONLINE, 2021a), por conta dessas partículas interagirem via força forte. Tal nome foi sugerido pela primeira vez em um trabalho publicado na Conferência Internacional de Física de Altas Energias de 1962 pelo físico russo Lev Okun (OKUN, 1962, p. 845).

Em 2020 tive o privilégio de ser um dos selecionados para participar da **Escola Sirius para Professores do Ensino Médio – ESPEM**, a qual é realizada pelo **Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais – CNPEM** em parceria com a **Sociedade Brasileira de Física –SBF** e visa promover o compartilhamento de ideias através de projetos pedagógicos que possam contribuir significativamente para a divulgação dos conteúdos científicos e sobre o ensino de Ciência Moderna apresentados durante a Escola.

Durante uma semana tive uma experiência de imersão na atmosfera de pesquisa e desenvolvimento de fronteira do CNPEM, o que me levou a ter ideias mais amplas sobre Ciência Moderna a qual pude levar para as salas de aula onde atuo. Mais que uma iniciativa para dar conhecimento à sociedade sobre as atividades do Sirius e do CNPEM, a ESPEM tem o potencial de ser um ponto de inflexão na formação dos professores participantes e em sua prática dentro e fora da sala de aula.

Essas duas participações me fizeram mergulhar ainda mais nessa temática que envolve o fascinante mundo das partículas elementares e me fez entender o que diz no livro do O Pequeno Príncipe[2]: "**O essencial é invisível aos olhos**".

Com a necessidade de modificar a rotina em sala de aula e, assim, despertar o interesse dos alunos pelas aulas de Física, principalmente na área de Física de Partículas Elementares, novos recursos de ensino vêm sendo utilizados como, por exemplo, as atividades lúdicas, em função de apresentarem características importantes que contribuem no desenvolvimento cognitivo dos alunos. As atividades lúdicas têm se mostrado eficientes na autonomia e motivação de alunos e professores, promovendo a construção em sala de aula, de maneira que possam contextualizar e relacionar os conhecimentos do cotidiano com o científico (SOUZA et al., 2018; JERZEWSKI, 2015; OSTERMANN; CAVALCANTI, 2001; CALIARI, 2018).

Diante da natureza abstrata da Física de Partículas Elementares, as atividades lúdicas se configuram como uma importante estratégia que visa promover a compreensão dos conceitos mais complexos e abstratos em ambientes de ensino-aprendizagem como a sala de aula. Além disso, as atividades lúdicas podem auxiliar o processo de apropriação de novos conceitos, uma vez que essa estratégia aplicada em sala, e associada aos pressupostos teóricos, contribuem para a construção dos conceitos científicos.

[2] Autoria de Antoine de Saint-Exupéry.

1.2 Objetivos

Objetivo geral:

O objetivo deste trabalho é elaborar, aplicar e avaliar a eficácia de uma sequência didática baseada nos Três Momentos Pedagógicos (3MP) de Delizoicov e Angotti (1994) e na Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) de Ausubel (1982) para introduzir de forma lúdica o conteúdo de Física de Partículas Elementares no Ensino Médio, proporcionando aos alunos situações de aprendizagem nas quais possam atuar como autores do seu próprio conhecimento através da utilização de estratégias de Aprendizagem Significativa e uso de jogos. Mostrando que a Física, em específico a Física de Partículas Elementares, não é somente um conteúdo cheio de cálculos, mas também uma ferramenta muito importante para a compreensão do mundo que nos cerca.

Objetivos específicos:

Através da sequência de ensino-aprendizagem (*teaching-learning sequences* – TLS) almeja-se:

- ✓ Utilizar estratégias de aprendizagem significativa no ensino de Física de Partículas Elementares no desenvolvimento da TLS;
- ✓ Proporcionar aos alunos meios de como identificar as partículas elementares do modelo padrão;
- ✓ Entender as estruturas subatômicas e como são formadas estruturas maiores (não elementares);
- ✓ Reconhecer quarks, léptons e bósons.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Apresenta-se nesta seção as contribuições de algumas estratégias didáticas da Teoria de Aprendizagem baseada nos Três Momentos Pedagógicos (3MP) juntamente com a Aprendizagem Significativa para o Ensino de Física.

2.1 Os Três Momentos Pedagógicos (3MP)

A metodologia que se baseia em Momentos Pedagógicos é atualmente incorporada em diversas propostas de ensino. Os Momentos Pedagógicos se

fundamentam em três etapas que são elas: *problematização inicial*, *organização do conhecimento* e a *aplicação do conhecimento*.

- **Problematização Inicial**

Esse primeiro Momento caracteriza-se por apresentar questões ou situações reais que os discentes conhecem e presenciam. Os discentes são desafiados a expor o que pensam sobrem determinadas situações abordadas sobre a temática que o docente irá trabalhar em sala. Esse momento é muito importante para que o professor possa ir conhecendo o que pensam os discentes sobre a temática a ser abordada.

É neste Momento que o docente questiona, dialoga e lança dúvidas sobre determinado conhecimento prévio que os alunos trazem sobre a temática. O objetivo desse momento é buscar que os alunos reconheçam que o conhecimento sobre o assunto abordado não é suficiente para esclarecer suas dúvidas, com isso sintam-se instigados a buscar novos conhecimentos que lhe auxiliem na compreensão de tal temática. Esse momento constitui um primeiro passo para a contextualização dos saberes escolares, uma vez que convém problematizar a "relação entre o que se pretende ensinar juntamente com as explicações e concepções que o aluno já tem, pois, a natureza faz parte tanto do mundo cotidiano como do mundo científico." (BRASIL, 2006, p.51).

De acordo Delizoicov e Angotti (1992), a problematização ocorre em pelo menos dois sentidos. O primeiro é o conhecimento empírico, no qual os alunos adquirem conhecimentos com a própria experiência. O segundo ocorre quando um problema há de ser resolvido a partir de questionamentos feitos pelo professor regente, onde é imprescindível sua participação. É neste momento que são criadas as situações para que os alunos sintam a necessidade de entender e resolver o problema desencadeado pelas dúvidas que surgiram e sintam-se motivados.

- **Organização do Conhecimento**

O segundo momento é caracterizado pela organização do conhecimento, o qual se dar sob orientação do docente, esses conhecimentos são necessários para a compreensão dos temas e da problematização inicial a serem estudados. Este conhecimento a ser abordado é orientado pelo professor de forma sistemática, a fim de que os alunos adquiram novos conhecimentos ou (re)significar alguns já iniciados, e que lhes permitirão compreender o tema de forma mais plena.

De acordo com Albuquerque, Santos e Ferreira (2015, p. 467) esse é o momento em que os conhecimentos científicos passam a ser incorporados nas discussões. Os alunos começam a desenvolver uma compreensão a respeito da problematização ou situação inicial. Entretanto, para que isso ocorra, materiais devem ser consultados e atividades devem ser sugeridas para complementar as discussões, no sentido de incentivar e melhorar a sistematização dos conhecimentos.

Então, neste momento de organização do conhecimento os docentes devem utilizar-se dos mais variados métodos, envolvendo atividades, valorizando a utilização de diversos recursos como aulas expositivas, trabalhos, experiências e ainda promover atividades que promovam a interação aluno-aluno como também professor-aluno.

As experiências despertam em geral um grande interesse nos alunos, além de propiciar uma situação de investigação. Quando planejadas, levando em conta estes fatores, elas constituem momentos particularmente ricos no processo de ensino-aprendizagem (DELIZOICOV e ANGOTTI, 1994, p. 22).

Ainda de acordo com Carvalho (2004), só existirá aprendizagem e desenvolvimento se houver a ação do aluno durante a resolução de um problema proposto pelo professor. Estes problemas a serem investigados/resolvidos gerarão ideias a partir de buscas, discussões, reflexões, permitindo que novos conhecimentos sejam estudados de forma sistemática a fim de buscar explicação e resolução para tal situação problema.

Desta forma, ocorre uma inversão de postura do docente, deixando de agir como transmissor e passando a atuar como mediador no processo de ensino e aprendizagem.

- **Aplicação do Conhecimento**

O terceiro momento fundamenta na valorização de atividades como todo, afastando-se de um modelo pontual e finalístico de avalição. Este é o momento importante para que os alunos encontrem relações entre os temas abordados, não apenas através dos conceitos, mas também de fenômenos que possam ter alguma conexão com as informações apresentadas. No entanto, o professor mantém a postura problematizadora, podendo trazer questionamentos que não foram levantados pelos alunos, como informações e problemas que surgiram no decorrer dos momentos. Além disso, este é um bom momento para o professor formalizar alguns conceitos que não foram aprofundados pelos alunos (Albuquerque, Santos e Ferreira, 2015).

É neste momento que propostas de tomadas de decisão são contempladas, valorizando assim a multiplicidade de estratégias entre elas: estudo de caso, debate e outras atividades mais complexas.

Esse último momento aborda sistematicamente o conhecimento que vem sendo incorporado pelo aluno para analisar e interpretar situações iniciais que determinaram o seu estudo, como outras situações que não estejam diretamente ligadas ao motivo inicial, mas que são explicadas pelo mesmo conhecimento (Delizoicov e Angotti, 1992, p. 31).

2.2 Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) na contribuição do Ensino de Física

Ensinar Física de altas energias no Ensino Médio se tornou um grande desafio aos docentes devido à complexidade apresentada pela disciplina, principalmente quando a temática é associada às partículas elementares, mesmo estando presentes nos conteúdos ministrados que explicam uma ligação química por meio do compartilhamento de elétrons ou descrever a estrutura atômica e nuclear, na qual temos um núcleo formado por prótons e nêutrons rodeados por uma nuvem eletrônica denominada eletrosfera (SOUZA, et al, 2018).

Partindo desses entendimentos, mergulhar no universo da Física não é tarefa fácil. Compreender a radioatividade e a instabilidade nuclear em núcleos radioativos, entender conceitos quânticos da radiação do campo eletromagnético, o fóton entre outros, se tornou um grande desafio tanto para os docentes como aos discentes. Sendo assim, as teorias de aprendizagem podem contribuir de forma significativa no processo de ensino de temáticas consideradas tão complexas.

A Teoria de Aprendizagem Significativa foi proposta por Ausubel (1963) e com o passar do tempo foi resgatada por Novak (2000) e descrita por Moreira e Mansini (2002). De acordo com os autores, Ausubel, Novak e Hanesian (1980), a teoria de aprendizagem é conceituada como um processo que se dá quando uma nova informação é correlacionada com a estrutura cognitiva de maneira intencional e concreta denominada de subsunçor.

O processo de informação se dá por meio do qual uma informação nova, relaciona-se com conhecimento específico já existente na estrutura do indivíduo. Este processo propõe aproveitar os conhecimentos que os estudantes trazem consigo de certos

conceitos, usando esses conhecimentos como subsunçores para formação de outros conceitos (AUSUBEL, 1963).

O subsunçor caraterizado pelo autor refere-se ao conhecimento específico já existente na estrutura do conhecimento do indivíduo, permitindo ao indivíduo dar novo significado ao conhecimento que é lhe apresentado ou, até mesmo, por ele descoberto. Esses subsunçores funcionam como base de apoio para que novos conceitos e informações sejam ancorados a outros e, assim, ampliados.

Os subsunçores são os pontos essenciais na Teoria de Aprendizagem Significativa de Ausubel. O conceito da palavra subsunçor é relativamente usado na Psicologia para direcionar ao que pode ser dito como estrutura cognitiva própria de cada sujeito, nesse caso o discente, responsável por facilitar novas aprendizagens.

Moreira (2011) salienta que os primeiros subsunçores se constroem através de processos de dedução, abstração, discriminação, representação e descobrimento, isso tudo diretamente ligado em sucessivos encontros do sujeito com objetos, eventos e conceitos.

Ainda o autor ressalta que muitas vezes se pensa que os subsunçores são apenas conceitos e até mesmo usa-se o termo conceitos subsunçores. Isso está relacionado porque Ausubel referencia os conceitos à estrutura diretamente ligada a cada disciplina que deveriam ser identificados e ensinados aos alunos e que, uma vez aprendidos significativamente, serviriam de subsunçores para novas aprendizagens.

De acordo com Moreira (2011) as informações no cérebro são bem-organizadas e hierarquizadas quanto aos aspectos conceituais de aprendizagem, pois têm a capacidade de armazenar as situações prévias, as quais servirão como âncora, assim, possibilitando dar significado ao novo conhecimento. Esse processo de ancoragem de nova informação se torna essencial, o qual resultará em crescimento e modificação do conceito subsunçor.

Moreira (2011), consequentemente, descreve que essas ideias prévias não se tratam de qualquer ideia, “[...], mas sim com algum conhecimento especificamente relevante já existente na estrutura cognitiva do sujeito que aprende” (MOREIRA, 2011, p. 13).

Portanto, o conceito de aprendizagem ocorreria quando a nova informação ancorasse conceitos já existentes na estrutura cognitiva do indivíduo e a forma de organização dessas informações se processa de maneira estruturada no cérebro, dentro de

uma hierarquia conceitual, na qual elementos mais específicos de conceitos são relacionados e assimilados a conceitos mais gerais e mais inclusos.

Segundo Ausubel, citado por Moreira e Mansini (1989), o fator mais importante que influencia a aprendizagem é a valorização do que o aluno traz consigo, devendo o professor avaliar isso e ensinar de acordo.

Moreira (2011, p. 14)

> Reitera que aprendizagem significativa se caracteriza pela interação entre conhecimentos prévios e conhecimentos novos e que essa interação é não literal e não arbitrária. Nesse processo, os novos conhecimentos adquirem significado para o sujeito e os conhecimentos prévios adquirem novos significados ou maior estabilidade cognitiva.

Ainda de acordo com o autor citado, as novas aprendizagens significativas, que se dão da interação entres os novos conhecimentos e os subsunçores, ficarão cada vez mais estáveis. Assim, quando as informações são apreendidas de forma significativa e se relacionam com outras ideias, outros conceitos que se mostrem relevantes e inclusivos, quanto a sua clareza e disponibilidade na mente do sujeito, vão funcionar como âncora na aquisição de novos conhecimentos.

No entanto, costuma-se pensar nas hipóteses de o sujeito não dispor de subsunçores adequados que lhe permitam atribuir novos significados aos novos conhecimentos. Sendo assim, Moreira (2011) destaca na solução proposta por Ausubel, que o problema poderia ser solucionado com os chamados organizadores prévios, mas que muitas vezes não funcionam.

Os organizadores prévios têm como objetivo fornecer ao docente o "ponto de partida" para o desenvolvimento das etapas do novo conhecimento através de materiais potencialmente significativos mais adequados para o sujeito analisado, servindo de ponte entre o que o estudante já sabe e o que deve ter para que ocorra a aprendizagem significativa.

> Ausubel, por outro lado, recomenda o uso de organizadores prévios que sirvam de âncora para a nova aprendizagem e levem ao desenvolvimento de conceitos subsunçores que facilitem a aprendizagem subsequente. O uso de organizadores prévios é uma estratégia proposta por Ausubel para, deliberadamente, manipular a estrutura cognitiva a fim de facilitar a aprendizagem significativa (MOREIRA e MASINI, 1982, p. 11).

Esses materiais potencialmente significativos podem ser propostos em diversos formatos como: figuras, vídeos, gráficos, textos e demonstrações experimentais.

Partindo do pressuposto que só ocorrerá aprendizagem significativa se o docente considerar os conhecimentos prévios que os estudantes trazem consigo. Tais conhecimentos serão verificados posteriormente, os quais poderão ou não serem usados como subsunçores necessários para atuar na interação de novos conceitos de aprendizagem. Entretanto, se o discente não possuir os subsunçores necessários para aprendizagem significativa de um novo conceito, surge então, a necessidade de modificar a estrutura cognitiva desse aprendiz através da utilização dos organizadores prévios.

Pode-se destacar algumas características que os organizadores prévios devem apresentar, comparados ao novo conteúdo a ser aprendido como: inclusivo, maior nível de abstração e mais geral. Em outras palavras:

> Organizadores prévios podem ser usados para suprir a deficiência de subsunçores ou para mostrar a relação e a discriminabilidade entre novos conhecimentos e conhecimentos já existente, ou seja, subsunçores (MOREIRA, 2011, p. 31).

Portanto, a proposta da aprendizagem significativa (AS) se baseia em um material hierarquizado e fundamentado teoricamente, que está relacionado com a estrutura do estudante, de forma que desperte a sua estrutura cognitiva. Dessa forma, esta proposta evita a memorização e aprendizagem mecânica relacionados a muitos conteúdos no ensino de Física que muitas vezes se restringem à memorização de fórmulas e conceitos bem distantes da realidade do estudante.

Moreira (2011) salienta duas condições para aprendizagem significativa que são elas: i) o material apresentado ao aprendiz dever ser potencialmente significativo, ou seja, tenha significado lógico à estrutura cognitiva apropriada e relevante ao estudante; ii) o aprendiz deve apresentar uma predisposição para aprender, ou seja, o aprendiz deve querer relacionar os novos conhecimentos, de forma não-arbitrária e não-literal, aos conhecimentos prévios. Isso significa querer aprender, que não está diretamente ligado à motivação ou de gostar da matéria, mas sim, por alguma razão, o aprendiz deve predispor a relacionar a priori os novos conhecimentos a sua estrutura cognitiva prévia, de forma que possa modificá-la, enriquecê-la, dando assim, novos significados aos novos conhecimentos.

Muitas vezes os alunos não demonstram a predisposição para aprender, pois as vezes os conteúdos se apresentam de forma mecânica, pautados na memorização, levando assim a falta de interesse do estudante, pois não conseguem se ancorar ao conhecimento

prévio que trazem de certos conceitos de Física. Por isso, a importância do material disponibilizado ao aprendiz ser potencialmente significativo.

Ausubel e Novak (2000) relacionam o conteúdo com a aprendizagem significativa tal que para haver uma aprendizagem significativa, o conteúdo também deverá ser significativo, isto é, valer a pena de ser aprendido. Trabalha-se muito conteúdo em Física que não representa nenhum significado na estrutura cognitiva do aluno. Portanto, fazer um estudo de currículo e trabalhar os conteúdos mais relevantes já é um passo importante, para que o aluno possa ancorar novos conceitos aos já existentes na sua estrutura.

2.3 Tipos de Aprendizagem Significativa

- **Representacional**

Esse tipo de aprendizagem está direcionado ao tipo básico de aprendizagem da espécie humana. Nesse tipo de aprendizagem o sujeito que aprende relaciona o objeto ao símbolo que o representa. Os símbolos são estabelecidos e permitem ao sujeito conhecer e organizar o mundo, de modo que possa conectar o que é observado no mundo exterior como sua parte interiorizada. De acordo com Ausubel (1980) esse tipo de aprendizagem é a que mais se aproxima da aprendizagem mecânica ou automática.

> O processo através do qual ele aprende isso, denominado aprendizagem representacional, é coextensivo com o processo pelo o qual novas palavras passam a representar para ele as ideias ou objetos correspondentes aos quais as palavras se referem. As novas palavras passam a significar para ele as mesmas coisas que os referentes e remetem ao mesmo conteúdo significativo diferenciado (AUSUBEL; NOVAK e HANESIAN, 1980, p. 39).

- **Conceitual**

Esse tipo de aprendizagem para Ausubel (1980) possui atributos de condição geral nomeados por símbolos. A aquisição de conceitos pode ser por formação ou assimilação.

Outro ponto observado dentro da aprendizagem conceitual é que a formação de conceitos pode ser observada no aluno de qualquer idade, sendo mais comum e notado no período pré-operacional do desenvolvimento cognitivo. Enquanto a assimilação de conceitos ocorre através da obtenção de conceitos secundários pelo aluno que já possui o desenvolvimento cognitivo completo.

> Na formação de conceitos, os atributos criteriais dos conceitos são adquiridos pela experiência direta [...]. É um processo de aprendizagem por descoberta. “Entretanto, à medida que a criança vai adquirindo uma determinada quantidade de conceitos por esse processo, vai se tornando capaz de aprender novos conceitos por assimilação, pois os atributos criteriais desses conceitos podem ser apresentados (aprendizagem por

> recepção) em termos de novas combinações de conceitos (e referentes) já existentes na estrutura cognitiva da criança (MOREIRA, 2006, p.26).

Cabe ressaltar acerca da aprendizagem conceitual que o indivíduo pode aprender o símbolo do conceito antes do conceito propriamente dito ou, então, o contrário. Aprende-se, por exemplo, o conceito de caixa e associa-se ao seu objeto, como se pode também aprender o conceito de planta ou animal na regularidade observada em vários animais e plantas que se conhece.

- **Proposicional**

Refere-se aos significados expressos por grupos de palavras combinadas em proposições ou sentenças. Ausubel (1980) destaca que, ao se aprender o significado de uma proposição verbal, podemos exemplificar, sendo que aprendemos primeiramente o significado de cada um dos termos componentes. Partindo daí pode-se atingir formas mais complexas de aprendizagem significativa.

Ausubel (1980) considera que a aprendizagem significativa proposicional é mais complexa do que as aprendizagens representacional e conceitual, no sentido de que as representações e os conceitos podem constituir os subsunçores para a formação de proposições. Sendo assim, é necessário antes saber o significado dos conceitos envolvidos que irão interagir com os conhecimentos considerados importantes criados na estrutura cognitiva e, dessa relação, passe a manifestar os significados da nova sugestão.

2.4 Aprendizagem Significativa × Aprendizagem Mecânica

A busca de uma aprendizagem que influencie na construção de aprendizagem dos discentes passou a ser um grande desafio, mas o que podemos observar ainda nas escolas é que prevalece ainda a aprendizagem mecânica, aquela praticamente sem significado, puramente memorística, que serve apenas para realizações de provas, que logo após é apagada (MOREIRA, 2011).

Ausubel (1980) definiu a Aprendizagem Mecânica, ou também denominada como Aprendizagem Automática, como sendo a aprendizagem de novos conteúdos com a mínima ou nenhuma agregação com conhecimentos prévios do estudante. Na Aprendizagem Mecânica, muitas vezes não se observa uma interação entre o conhecimento prévio de um determinado conceito que está sendo discutido sobre aquele conteúdo.

Para Ausubel, a Aprendizagem Significativa e a Aprendizagem Mecânica não são opostas, mas ambas pertencem ao processo contínuo de aprendizagem. “Na verdade, Ausubel não estabelece a distinção entre aprendizagem significativa e mecânica como sendo uma dicotomia, e sim como um *continuum* (MOREIRA, 2006, p. 17)”.

Diante das potencialidades discutidas na Teoria de Aprendizagem Significativa destaca-se na próxima seção algumas estratégias didáticas.

2.5 Estratégias didáticas na construção do conhecimento por um processo de ensino significativo

O ensino de Física em pleno século XXI nas escolas ainda continua o mesmo do século XIX. Isto é considerado por Moreira (2011) uma verdadeira incoerência, pois os estudantes veem a Física como um aglomerado de fórmulas que memorizam mecanicamente, não conseguindo aplicá-los em seu cotidiano. Diante disso, o docente procura estratégias e ferramentas que possam contribuir na aprendizagem significativa dos estudantes.

As estratégias didáticas de ensino se caracterizam como estratégias usadas pelos docentes com objetivos de tornar a aprendizagem mais prazerosa e compreensiva ao aluno. Podemos citar: jogos, brincadeiras, histórias em quadrinhos, teatro, palavras cruzadas, quiz, investigação experimental com viés lúdico e simuladores computacionais, entre tantas outras. Todas essas atividades possuem inúmeros benefícios no processo de aprendizagem e ensino, pois estimulam relações verbais, cognitivas, psicológicas, sociais e motoras.

As experiências vivenciadas pelos alunos durante essas estratégias geram uma reação criativa, ativa e recreativa (BALLESTEROS SILVA et al., 2004 apud CLEOPHAS e SOARES, 2018). Portanto, enfatizaremos algumas atividades lúdicas e sua importância no processo de construção para o ensino.

2.6 Mapas Conceituais

O Mapa Conceitual se apresenta como uma ferramenta mediadora de grande importância, usada pelo docente como uma maneira de auxílio pedagógico na construção de ensino e aprendizagem do discente. Técnicas usadas como essas se caracterizam por analisar os conhecimentos que os estudantes obtiveram durante o estudo de uma temática abordada.

Na década de 70, Joseph Novak desenvolveu a teoria a respeito de mapas conceituais baseando sua elaboração na aprendizagem significativa de David Ausubel. Segundo Novak, o mapa conceitual se trata de uma estratégia para os docentes, prestigiado como o método de resgate do que se quer aprender e um recurso esquemático para representar uma estrutura de conceitos (NOVAK,1981).

Os mapas conceituais podem ser usados como atividades de avaliação, permitindo ao docente avaliar o processo de evolução de ensino e aprendizagem do estudante. O processo de acompanhamento dessas atividades e através do retorno dessas, é possível criar estratégias para melhorar a aprendizagem. Uma avaliação formativa envolvendo mapas conceituais evidencia o processo de aprendizagem tanto quanto favorece uma visão longitudinal deste mesmo processo (BUCHWEITZ; MOREIRA,1993).

O mapa conceitual é uma técnica muito flexível e em razão disso pode ser usado em diversas situações, para diferentes finalidades como: instrumento de análise do currículo, didática, recurso de aprendizagem, meio de avaliação (MOREIRA E BUCHWEITZ, 1993).

Segundo Moreira e Masini (2011) existem várias formas de traçar o mapa conceitual, em diferentes tópicos ou disciplinas e ainda acrescentam que diferentes especialistas numa mesma área refletirão diferentes entendimentos e interpretações das relações entre os conceitos-chave da área em questão. O mapa conceitual então não é chamado de “mapa mental”, pois “o mapa conceitual”, tem por objetivo à apresentação de uma das possíveis representações de uma certa estrutura conceitual.

Os mapas como ferramentas educacionais dentre da Teoria da Aprendizagem Significativa se tornaram relevante, pois podem aproximar conceitos. Em um texto corrido a percepção dos conceitos são distanciadas, mas através do mapa há uma identificação mais facilitada que permite criar pontes para ligá-los, negociá-los, entender suas semelhanças e diferenças.

2.7 Jogos como estratégias didáticas

Entre as estratégias buscadas pelos docentes, os jogos vêm se destacando no âmbito educacional, principalmente na disciplina de Física. Os jogos têm mostrado grande potencial para a aprendizagem significativa, colocando-se em destaque entre as estratégias usadas pelos docentes como uma maneira lúdica de ensino. Há muito tempo

jogos vêm sendo usados pelos egípcios, maias, romanos e incas como uma maneira de educar.

Platão (427-348) estimulava os jogos educativos na infância e nos esportes para valorizar a cultura moral e educativa. Ele pregava a importância de se aprender através de brincadeiras, mas para essa aprendizagem acontecer, ela deveria ser estimulada e supervisionada pelo adulto. Essa estratégia de ensino está presente desde o início da história e ultrapassa os princípios da atividade puramente física ou biológica (HUIZINGA, 2014). Sua intensidade e poder de satisfação não podem ser explicados por análises biológicas. Além disso, é uma atividade que envolve tensão, alegria e diversão. Esse último elemento define a essência do jogo e resiste a análises e interpretações lógicas.

É notório como a discussão envolvendo os jogos como estratégias de aprendizagem vem sendo discutido por várias décadas. Sendo assim, discutir como os jogos contribuem nesse processo de ensino e aprendizagem e de que forma ocorre essa contribuição passa a ser extremamente importante na área educacional.

Portanto, falaremos de jogos como forma de aprendizagem e sobre as características, dimensões e nomenclaturas que estão atribuídas aos jogos nos espaços educacionais. De acordo com Cleophas e Soares (2018) os quais destacam ser imprescindíveis essas definições como jogos didáticos – JD, jogos pedagógicos – JP e jogos educativos. Esses termos são empregados como sendo uma metonímia no nosso dia a dia sendo perceptível uma relação entre esses termos, porém devemos apontar algumas congruências e divergências entre esses.

Segundo o dicionário Aurélio, a palavra “didático” significa “a arte de bem ensinar, de transmitir conhecimento”. Quanto ao termo “pedagógico” apresenta definição “doutrinas, princípios e métodos de educação e instrução que tendem a um objeto prático”. Já a palavra “educativo” tem a definição de que “concerne para educação”. Percebemos que as palavras apresentam sentidos congruentes, portanto, vão se afunilando com entendimento destinado para espaço o educacional, objetivando nas ações que esse caminho leve ao ensino e ao processo de construção de conhecimento.

Ainda conforme Cleophas e Soares (2018) quando se trata dos jogos, fica perceptível a polissemia ou ambiguidade do seu significado e quando é analisada dentro do campo educacional e no sentido da sua aplicabilidade em ciências da natureza

atualmente, fica evidenciado que há diferentes significados quanto ao emprego dos termos “jogo didático”, “jogo educativo”, e “jogo pedagógico”.

Acerca disso, é bem comum ouvirmos esses termos serem empregados como se fossem iguais, portanto, ressaltam a ideia de que existem algumas discrepâncias entre eles, sendo assim, é essencial analisar suas especificidades, com objetivo de distingui-los. Vale salientar alguns conceitos atribuídos a esses conceitos, para que possamos refletir e dialogar sobre a importância de entendermos a didatização lúdica, quando está atrelada à educação científica, quanto à compreensão desses conceitos para podermos ter uma pesquisa bem embasada de aportes teóricos. Em relação ao significado desses termos, Dias se posiciona da seguinte forma:

> Os objetivos pedagógicos passam a visar as competências a adquirir pelos alunos ao longo do seu percurso acadêmico. O processo de desenvolvimento e aprendizagem sublinha o progresso do conhecimento e da personalidade através da vivência de experiências significativas e de atividades pedagógicas cuidadosamente concebidas e planejadas**.** (DIAS, 2010, p.7 apud CLEOPHAS e SOARES, 2018, p. 35).

Em razão disso, deve-se ter em mente o que é realmente o jogo educativo. Os autores Cleophas e Soares (2018, p.35) chamam a atenção formalizando que o jogo educativo não é jogo, pois, analisando os seus vocábulos no sentido filosófico, conceituado por Brougére (2002), que, não há como o jogo ser educativo, a não ser que seja construído no ambiente de pura informalidade, desprovido de uma intenção de didatização.

Tendo isso em vista, não vamos nos ater a discutir as diversas definições de jogo que está conceituada nas definições de diversos autores como Cailois (2017), Huizinga (2012), Porto (2015), Soares (2015) entre outros. Segundo os autores Cleophas e Soares (2018), o jogo em seu sentido *strictu*, filosófico, é considerado aquele que é lúdico apresentando característica prazerosa e divertida entre outros aspectos. Portanto, devemos nos atentar se o jogo é educativo ou não.

O jogo em si é aquele que não tem a intenção de ensinar algo a alguém. Logo, o que chamamos de jogo educativo segundo Cleophas e Soares (2018, p. 36), “é arremedo de uma nova categoria ou variante do próprio jogo de tal como definimos, que não pode ser considerado como jogo com aportes teóricos filosóficos”.

O jogo educativo não visa formalidade de didatização ou até mesmo objetiva aprendizagem, ele não tem nenhuma intenção de ensinar alguém ou treiná-lo para algo.

Tudo se procede de maneira não intencional, quando o ser humano de alguma maneira, por meio do uso do jogo, consegue desenvolver alguma característica marcante, podendo analisar a influência do jogo no seu desenvolvimento como sujeito ativo e crítico, então podemos denominá-lo como um jogo educativo.

Ressaltando que os jogos educativos ocorrem em ambientes não formais, caracterizados por não objetivar nenhuma forma de ensinar ou promover aprendizado, ocorrendo de forma dinâmica sem nenhuma obrigatoriedade.

Ao que nos remetem ao jogo pedagógico, caracterizado por ser um jogo educativo formalizado, ou seja, não foi adaptado por nenhum outro jogo. Esse tipo de jogo visa desenvolver habilidades cognitivas referentes a conteúdo específico, como também é um jogo que objetiva aprendizagem pois é intencional e planejado, possuem regras simples e claras para não confundir o aluno.

Os jogos contribuem na interação em sala de aula de forma dinâmica e ainda facilita a construção de conceitos durante a sua aplicação. Cunha (2012) recomenda que a utilização de jogos como proposta pedagógica seja consistente e que faça o planejamento adequado. O professor deve se embasar de pressupostos para aplicação de um jogo, pois segundo Messeder e Moradillo (2016), sem esses pressupostos e fundamentação adequada "o lúdico pode cair em espontaneísmo sem tamanho e o potencial dos jogos em sala de aula não ser devidamente explorado" (MESSEDER NETO; MORADILLO, 2016, p. 30).

Cleophas e Soares (2018), evidenciam que esse tipo de jogo educativo formal é aquele que pode ser flexível, ou seja, usado para discutir conceitos sem a necessidade de o professor discutir um conteúdo em aulas anteriores, podendo introduzir o jogo para ensinar os conceitos durante a aula, mas também utilizar como estratégia para reforçar alguns conceitos que foram estudados em aulas passadas. Os autores ainda citam alguns jogos que consideram como jogo educativo formativo: ARG (Jogo de Realidade Alternativa), RPG, jogos psicodramáticos, jogos simulados entre outros.

Adentrando ao jogo didático, apresenta-se como um jogo educativo formal, aquele que é adaptado a partir de um jogo educativo informal e que apresenta conteúdos didáticos de uma determinada área de conhecimento, fundamentada e designada a um objetivo, onde as regras sejam previamente estipuladas.

Segundo Cleophas e Soares (2018) é importante que o jogo tenha finalidades e estas sejam alinhadas ao objetivo lúdico apresentado pelo jogo, sendo esses educacionais, que ainda, seja antecipadamente planejado pelo elaborador, ressaltando o que se quer alcançar, propondo desafios e resolução de problemas nele.

Esse tipo de jogo acaba se alinhando ao conceito proposto por Kishimoto (1996), que caracteriza este como uma estratégia, podendo ser utilizada como uma forma de reforçar o conteúdo ou ainda usar como uma forma de avaliação diagnóstica. O autor ainda afirma que esse tipo de jogo é aquele aplicado depois de uma apresentação e discussão de um conteúdo. Esse tipo de jogo é adaptado de um jogo já existente, no cotidiano lúdico como também na literatura, que inclui jogos de tabuleiros até os eletrônicos; exemplos: jogos de quebra-cabeça, jogo da velha, jogos de roleta russa, entre outros.

Pode-se afirmar que jogos usam de um meio lúdico para alcançar o objetivo de um material mais atrativo para os alunos como diz Alves (ALVES, 2010),

> ...é importante explicar que a palavra "jogo" se origina do vocábulo latino ludus, que significa diversão, brincadeira e que é tido como um recurso capaz de promover um ambiente planejado, motivador, agradável e enriquecido, possibilitando a aprendizagem de várias habilidades. Dessa maneira, alunos que apresentam dificuldades de aprendizagem podem aproveitar-se do jogo como recurso facilitador na compreensão dos diferentes conteúdos pedagógicos. (ALVES, 2010).

Os jogos se destacam por ser tratar de uma atividade voluntária, na qual a liberdade é explícita no prazer em brincar. Um outro ponto relevante é promover a imersão do jogador em dado momento. Outras características gerais são a tensão e a incerteza que se apresentam diante dos desafios e da vontade de vencer.

Ainda neste sentido, os jogos contribuem no processo de interação entre o conhecimento prévio e os conceitos científicos dos estudantes e assim, vão surgindo novos significados, funcionando também como estratégia na construção emancipadora e integradora desses conceitos, favorecendo ao aluno a aquisição de conhecimento em diversas dimensões.

Estas estratégias de ensino podem trabalhar os conflitos de ideias, problematizá-los, trazendo as ideias concebidas pelos alunos e objetivando ancorar outras informações a partir dessa discussão. Ressalta-se a importância de o professor auxiliar nesses conflitos

de forma explícita, assim, contribuindo na construção e formação integral desse aluno (MARTINS, 2022).

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Quantas vezes nos deparamos com tais perguntas: de onde viemos? Para onde vamos? Como surgiu o Universo? E principalmente, **o que constitui toda a matéria?**

A figura 1 nos mostra um mapa conceitual de forma cronológica e a evolução do conceito de átomos juntamente com as partículas que o constituem para facilitar o entendimento do que é feito o Universo.

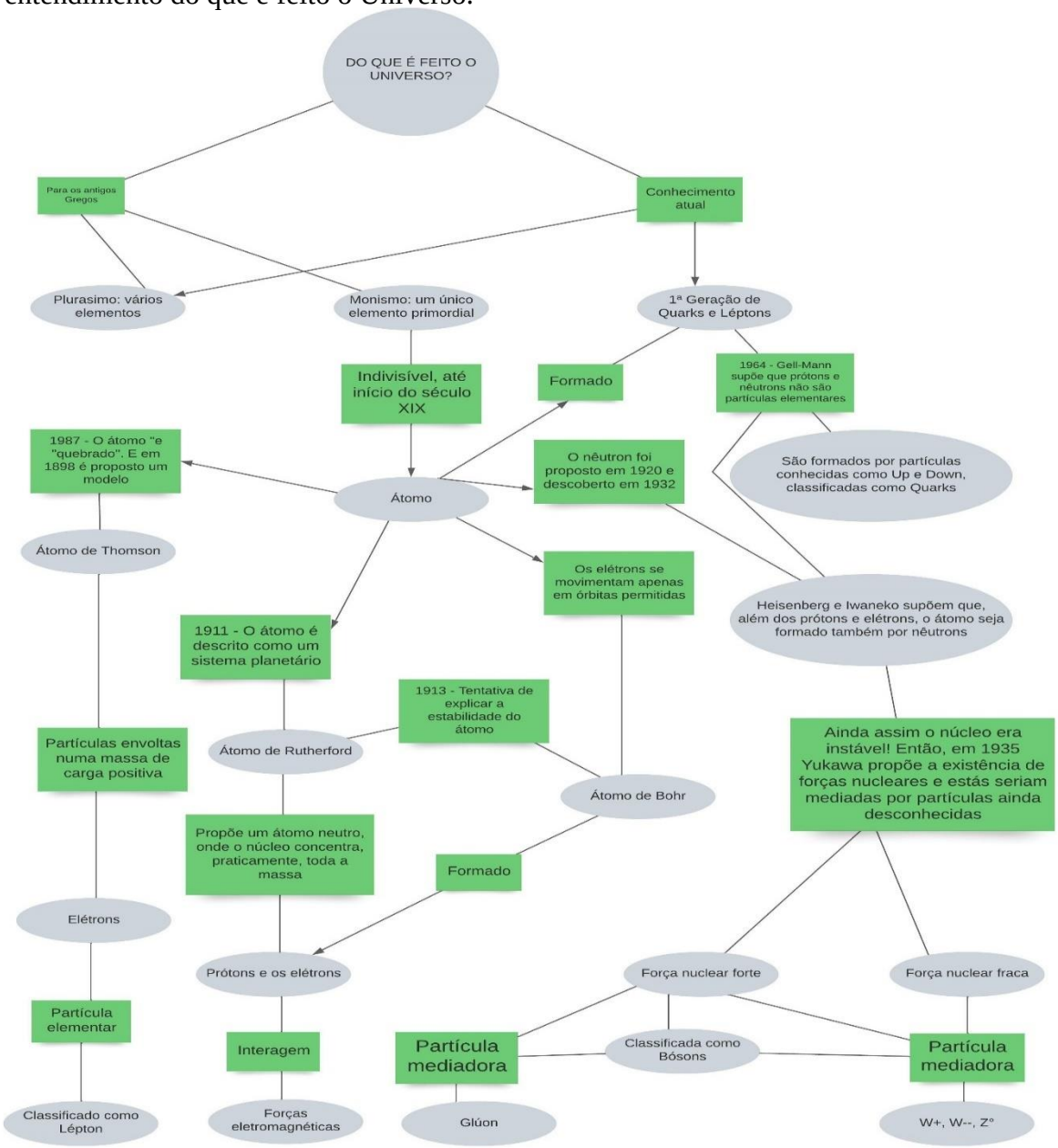


Figura 1: Mapa conceitual que apresenta, de forma cronológica, a evolução do conceito do átomo e suas partículas constituintes.
Fonte: Alves; Alanis, Costa, 2010 (Adaptado).

Uma área muito importante da Física, a Física de Partículas Elementares, é a responsável por estudar as partículas elementares e poderá nos ajudar a responder essas perguntas.

Nesta seção, iremos apresentar as fundamentações teóricas sobre Física de Partículas Elementares.

3.1 Modelos Científicos

A Ciência tem por objetivo descrever e/ou predizer o comportamento de sistemas e fenômenos do mundo real, e para isso, faz uso de **modelos científicos** para externalizar o que pensam sobre determinados sistemas ou fenômenos da natureza.

Esses modelos científicos são abstrações construídas pelos cientistas, os mesmos não existem na natureza e podem ser constituídos por proposições semânticas, representações externas simbólicas (como são as equações), pictóricas (como gráficos e diagramas), ou ainda via artefatos físicos ou simulações computacionais.

Segundo Moreira (2011), a Ciência está em constante evolução e não há modelos científicos imutáveis, sendo que, com o decorrer do tempo e acesso a novas tecnologias esses modelos necessitam ser melhorados e atualizados.

Como não se pode ver um átomo, o homem no decorrer da história criou vários modelos atômicos, para explicar e externalizar o que seria um átomo. Tais modelos atômicos que foram idealizados no decorrer dos anos serão apresentados a seguir.

3.2 Modelos Atômicos

No decorrer dos anos os modelos atômicos foram criados e consequentemente, melhorados, como podemos ver na linha do tempo da figura 2.

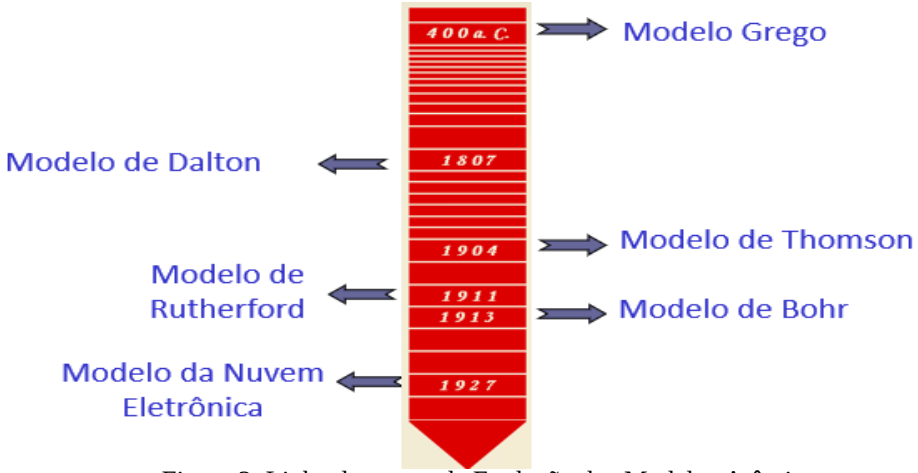


Figura 2: Linha do tempo da Evolução dos Modelos Atômicos.
Fonte: Próprio autor, 2022.

Um famoso seriado de televisão[3] americano diz, em uma parte de sua música de abertura, que "todo universo estava num estado quente e denso até que cerca de 14 bilhões de anos atrás a expansão começou... Matemática, Ciência, História, revelando os mistérios de que tudo começou com o Big Bang!

O Big Bang existiu? O universo teve seu início há cerca de 14 bilhões de anos atrás? Buscar explicações para questões como essas ainda continuam a estimular cientistas de todo o mundo.

O ser humano demonstra interesse pelas coisas que o cercam desde a antiguidade. Esse interesse não era apenas por curiosidade, mas por necessidade, uma vez que conhecer os fenômenos e poder prevê-los tinha vital importância. Ao longo dessa jornada (História das Ciências) diversos pensadores buscaram respostas para ampliar os conhecimentos a respeito da natureza e de seus fenômenos.

O conceito de átomo e os modelos atômicos podem ser descritos a partir da busca da resposta para a pergunta: de que todas as coisas são feitas?

Buscando resposta, os sábios gregos do século V a.C., tais como: Leucipo (450 a.C.) e Demócrito (380 a.C.) definiram que todos os elementos na natureza eram formados por: Terra, Ar, Fogo e Água e suas combinações.

O pensamento para a resposta desta pergunta mudou no decorrer do tempo. Desde o século V a.C. o homem passou a ser um experimentador e começou a observar o elemento indivisível, indestrutível que não poderia ser criado.

Com a evolução do pensamento humano novas perguntas foram formuladas e observamos a busca da explicação para a composição da matéria.

A seguir iremos apresentar detalhadamente cada modelo atômico que está na linha do tempo acima (figura 2).

3.2.1 O Átomo Grego

O primeiro modelo atômico foi descrito por Leucipo (450 a.C.) e Demócrito (380 a.C.), sendo que esse modelo era baseado apenas na intuição e na lógica. Tanto Leucipo quanto Demócrito afirmavam que a matéria era descontínua e formada por partículas discretas, indivisíveis e invisíveis, corroborando que a mesma teria forma diferente,

[3] The Big Bang Theory é uma série de TV americana transmitida originalmente pelo canal CBS.

tamanho diferente, arranjo diferente, justificando as diferentes estruturas ao nosso redor, batizando-as de átomo (do grego indivisível) (BROCKINGTON; SIQUEIRA; PIETROCOLA, 2017).

Por volta de 350 a.C., outro filósofo grego muito conhecido, Aristóteles (384-322 a.C.), retomou a ideia de Leucipo e Demócrito que todos os elementos na natureza eram formados por: Terra, Ar, Fogo e Água e suas combinações. Para Aristóteles a matéria era descontínua e formada por partículas discretas, indivisíveis e invisíveis, acrescentando que cada um desses elementos que compõem a matéria tinha um devido lugar e procurava permanecer nele ou encontrá-lo. Por exemplo, a terra estava no centro dos quatro elementos, em seguida vinha a água, acima vinha o ar e, por último, acima de todos, o fogo (CARUSO; SANTORO, 2012).

3.2.2 Modelo Atômico de Dalton

Passaram-se anos desde o primeiro modelo atômico proposto por Leucipo e Demócrito, até que na segunda metade do séc. XVIII, a Física sofreu uma grande evolução.

Certos fatos não podiam ser explicados pela teoria de Aristóteles, como a Lei de Lavoisier: “A massa dos reagentes é igual à massa dos produtos”. Para explicar estes fatos, em 1807, o químico, físico e meteorologista John Dalton “ressuscita” a teoria atômica e propôs seu modelo atômico.

Dalton apoiado pelo individualismo, buscando em Demócrito as justificativas para apoiar sua teoria, define que a matéria seria formada por diferentes combinações dos átomos, tido como partícula fundamental, sendo uma esfera maciça, sem constituintes e indivisíveis, definindo a origem das diversas substâncias conhecidas (BROWN; LEMAY; BURSTEN, 2005).

Para Dalton, os átomos do mesmo elemento eram iguais entre si, ou seja, teriam a mesma massa, e a matéria era formada pela união de diferentes átomos em proporções definidas (MAIA; BIANCHI, 2007). Na figura 3 podemos ver a representação do Modelo atômico proposto por Dalton.

Figura 3: Modelo atômico de Dalton.
Fonte: próprio autor, 2022.

3.2.3 Modelo Atômico de Thomson

Em 1904, o Físico britânico Joseph John Thomson (1856 – 1940) acabou com a indivisibilidade do átomo. Thomson realizou uma série de experiências utilizando um tubo de raios catódicos (tubo semelhante aos tubos existentes no interior dos televisores antigos). Neste tubo havia uma passagem de feixe de elétrons através de um gás rarefeito, os quais foram denominados como raios catódicos (MAIA; BIANCHI, 2007).

Thomson aplicou uma diferença de potencial entre o catodo e o anodo em um tubo de raios catódicos observando um feixe com uma mudança de direção dentro de um campo eletromagnético e estudando essa deflexão percebeu uma diferença de aproximadamente 2000 vezes entre a razão carga/massa do feixe entre dois momentos distintos.

Ao estudar a passagem do feixe no interior deste aparelho, Thomson observou uma fluorescência esverdeada devido à existência de uma partícula com natureza corpuscular de carga negativa que sai dos átomos do catodo (MAIA; BIANCHI, 2007).

A massa desta partícula era muito menor que a massa de qualquer átomo conhecido e com essas observações Thomson descobriu o **elétron** (BROWN; LEMAY; BURSTEN, 2005).

Thomson provou que os elétrons eram corpúsculos, dotados de carga elétrica e de massa, que fazem parte de toda a matéria.

O modelo proposto por Thomson definia o átomo como:

- uma esfera maciça de carga elétrica positiva, estando os elétrons dispersos na esfera;
- o número de elétrons seria tal que a carga total do átomo seria zero.

Esse modelo, o qual está representado na figura 4 é conhecido como pudim de passas ou de ameixas, passando a ser o átomo uma esfera agora divisível, recheada de **elétrons**, mas com característica neutra, sem termos ainda o conhecimento do próton.

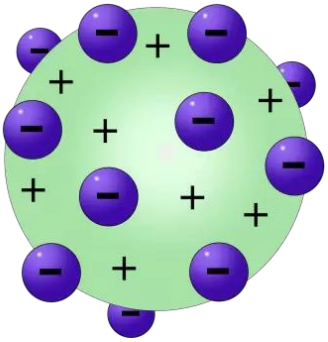


Figura 4: Modelo Atômico de Thomson.
Fonte: pt.energia-nuclear.net[4].

3.2.4 Modelo Atômico de Rutherford

O modelo atômico proposto por Thomson teve uma vida curta pois em 1911 o físico e químico neozelandês Ernest Rutherford (1871 – 1937), juntamente com seus colaboradores Geiger e Marsden realizaram uma experiência que lhes permitiu propor um novo modelo atômico (BROWN; LEMAY; BURSTEN, 2005). Na figura 5 podemos observar Hans Geiger e Ernest Rutherford no laboratório.

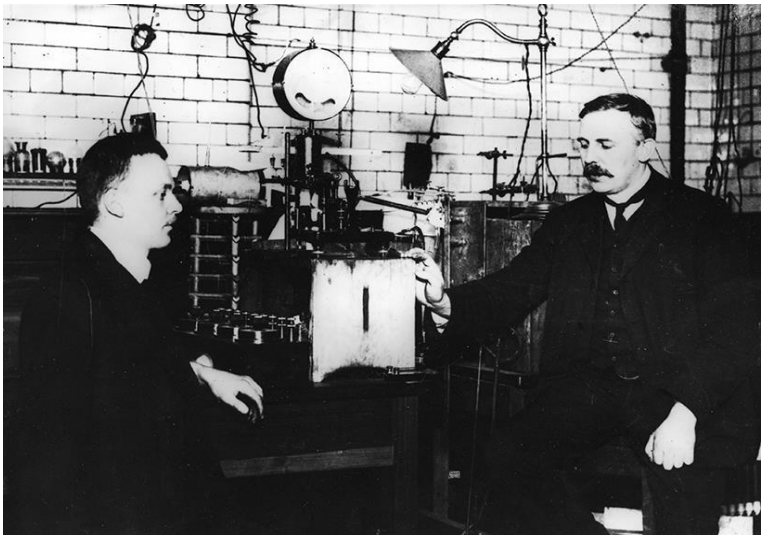


Figura 5: Hans Geiger e Ernest Rutherford no laboratório.
Fonte: https://www.researchgate.net[5]

[4]Disponível em: https://cdn-0.energia-nuclear.net/uploads/cms/que-e-a-energia-nuclear/atomo/modelos-atomicos/modelo-atomico-de-thomson.webp?ezimgfmt=rs:350x350/rscb2/ng:webp/ngcb2.
[5]Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Cristiano-Moura/publication/304080186/figure/fig5/AS:374421148717060@1466280366692/Figura-IV5-Hans-Geiger-e-Ernest-Rutherford-no-laboratorio-Fonte-Acervo-de-Physics.png

Rutherford propôs aos seus colaboradores Geiger e Marsden que observassem espalhamentos a ângulos altos, o qual consistia em bombardear uma folha fina de ouro com partículas positivas alfa, como mostra a ilustração desse experimento na figura 6.

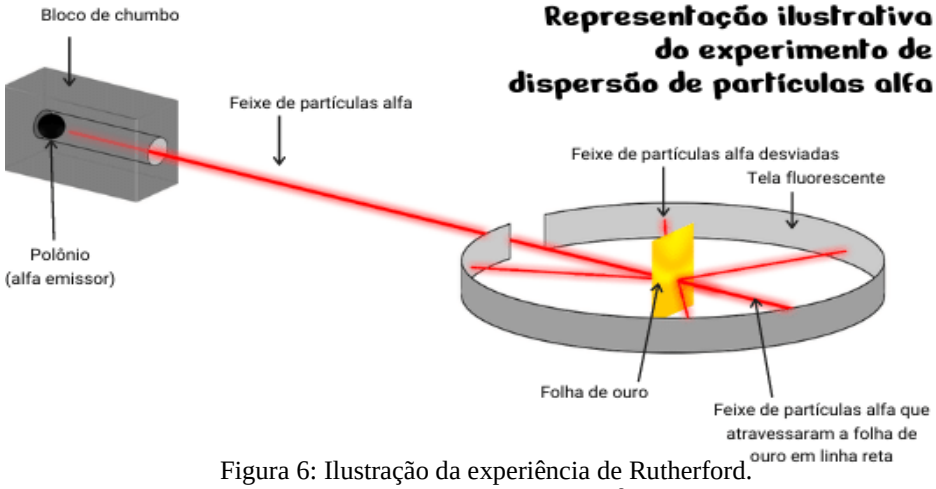


Figura 6: Ilustração da experiência de Rutherford.
Fonte: vaiquimica.com.br[6].

Embora a maior parte das partículas se comportasse como esperado, uma parte significativa não só foi desviada, como algumas retornaram na direção de lançamento, observando incompatibilidade com o modelo de Thomson, propondo que existe, no interior do átomo, uma região central positiva (o núcleo), que exerce fortes forças repulsivas sobre as partículas alfa (MAIA; BIANCHI, 2007). Na figura 7 podemos ver a ilustração do resultado do experimento de Rutherford.

O átomo passou a ter um núcleo positivo sendo orbitado por elétrons em esferas concêntricas.

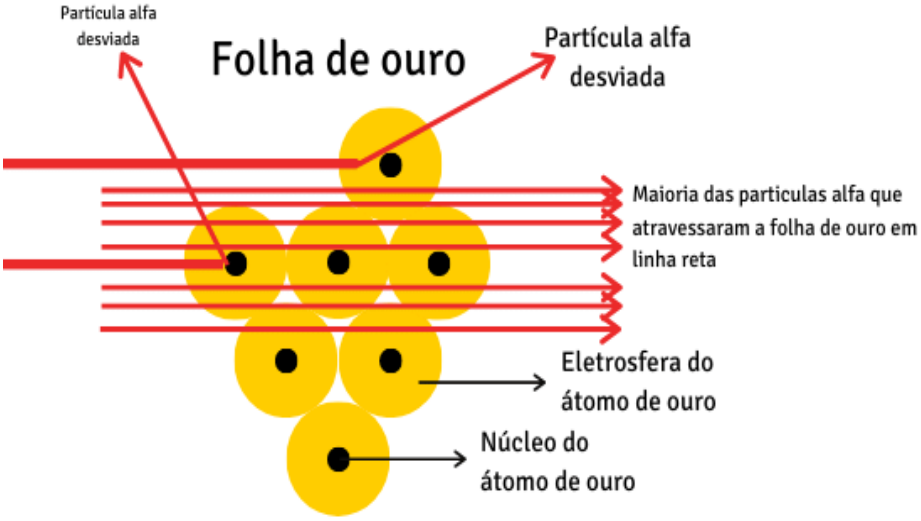


Figura 7: Ilustração do resultado da experiência de Rutherford
Fonte: vaiquimica.com.br[7].

[6] Disponível em: https://vaiquimica.com.br/wp-content/uploads/2021/02/experimento_de_rutherford.png
[7] Disponível em: https://vaiquimica.com.br/wp-content/uploads/2021/02/comportamento_das_particulas_alfa.png

Com esse experimento Rutherford propõe o seu modelo atômico como uma estrutura praticamente vazia, e não uma esfera maciça, o qual é constituído por:

- **Núcleo** muito pequeno com a carga positiva, onde se concentra quase toda a massa do átomo.
- **Elétrons** com carga negativa movendo-se em volta do núcleo.

Este modelo é conhecido como **Modelo Planetário**, pois o átomo seria um sistema semelhante ao sistema solar, como mostra a figura 8.

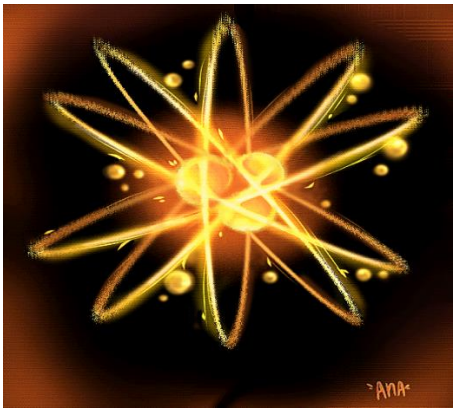


Figura 8: Representação do átomo de acordo com o modelo de Rutherford.
Fonte: próprio autor, 2022.

3.2.4 Modelo Atômico de Bohr

O modelo proposto por Rutherford era incompatível com algumas das teorias da Física.

De acordo com o que se conhecia na Eletrodinâmica, os elétrons ao percorrerem suas órbitas perderiam energia na forma de radiação, pois os elétrons possuem carga negativa e o núcleo possui carga positiva, fazendo com que o raio da órbita diminuísse gradativamente tornando seu movimento espiralado e assim iria acabar por cair sobre o núcleo, afetando a estabilidade do átomo, como ilustra a figura 9 (BROCKINGTON; SIQUEIRA; PIETROCOLA, 2017).

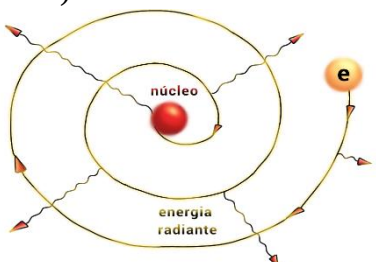


Figura 9: Representação de um elétron colapsando no núcleo do átomo.
Fonte: próprio autor.

Então, em 1913, o físico dinamarquês Niels Bohr (1885 – 1962), que trabalhou com Thomson e posteriormente com Rutherford, continuou o trabalho destes dois físicos, aperfeiçoando o modelo atômico de Rutherford.

Bohr propôs um refinamento no modelo de Rutherford, pois pela Física clássica o modelo de Rutherford não se sustentava. Segundo as leis do Eletromagnetismo, os elétrons ao orbitar o núcleo do átomo emitem radiação perdendo energia; a consequência seria um movimento em espiral com diminuição do raio da órbita até colapsar com o núcleo atômico.

Bohr postulou que os elétrons estariam fixos nas órbitas circulares propondo uma quantização do momento angular com valores específicos e múltiplos da constante de Planck dividido por 2π, chegando em um modelo estável (MAIA; BIANCHI, 2007).

Os elétrons poderiam se movimentar em órbitas circulares com uma certa quantidade de energia constante que poderia ser transformada quando o elétron muda de nível, como mostra a figura 10 (CARUSO; SANTORO, 2012).

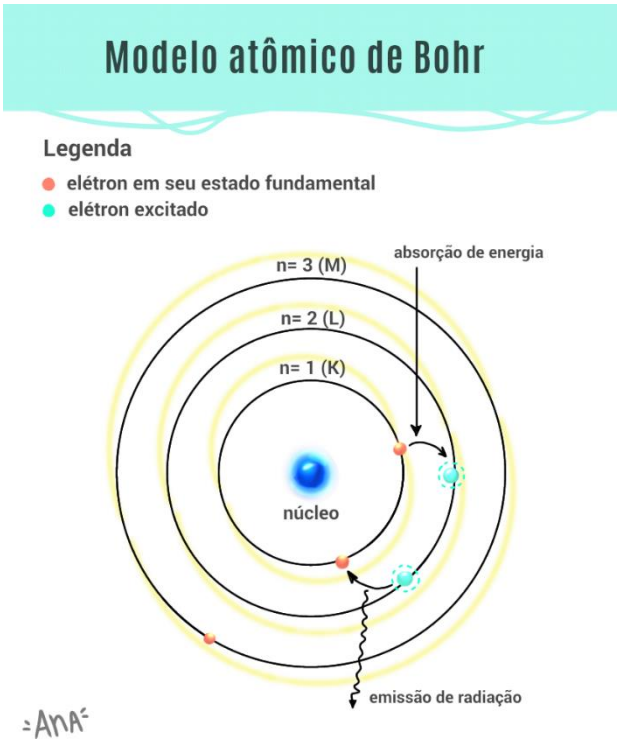


Figura 10: Modelo Atômico de Bohr.
Fonte: próprio autor, 2022.

O modelo atômico de Bohr foi descrito através dos postulados, citados a seguir:

- O elétron gira em torno do núcleo sem perder energia;

- Apenas as órbitas com momento angular com múltiplo inteiro de $\frac{h}{2\pi}$ são permitidas. Onde h é a constante de Planck = 6,62607015.10^{-34} J/s.
- Quando o elétron absorve energia (fóton) ele salta para uma órbita mais externa.
- Quando o elétron salta para uma órbita mais interna ele emite energia (fóton) (SEARS; ZEMANSKY, 2016).

Assim o modelo proposto por Bohr considerava que:

- Apenas algumas órbitas seriam permitidas aos elétrons.
- Cada órbita correspondia a um nível de energia bem definido.
- Os elétrons podem saltar de uma órbita para outra ao absorver ou emitir energia.
- O nível mais energético seria o mais distante do núcleo e o menos energético o mais próximo.

Esses postulados renderam a Niels Bohr o prêmio Nobel de Física em 1922.

3.2.5 A descoberta do Nêutron

Em 1932, o físico britânico James Chadwick (1891 – 1974), colaborador de Ernest Rutherford, utilizou o Princípio de Conservação da Quantidade de Movimento para comprovar a previsão de Ernest Rutherford, a qual previa que no núcleo do átomo haveria uma partícula sem carga, mas com a massa igual ao do próton que era originada de uma possível ligação de um próton com um elétron. O Princípio de Conservação da Quantidade de Movimento diz que: se a resultante das forças externas que atuam sobre o sistema for nula, a quantidade de movimento é conservada, ou seja, em um sistema isolado, a quantidade de movimento é constante.

Chadwick colidiu feixes de partículas alfa contra um disco composto de berílio, como mostra a figura 11. Com isso, apareceu um tipo de radiação diferente. Depois de fazer vários cálculos e medir a massa dessas partículas, Chadwick verificou que o núcleo do berílio radioativo emitia partículas sem carga elétrica e de massa praticamente igual a dos prótons, assim Chadwick descobriu outro tipo de partícula existente no núcleo do átomo, o **nêutron**. Os nêutrons são partículas sem carga elétrica (CARUSO; SANTORO, 2012).

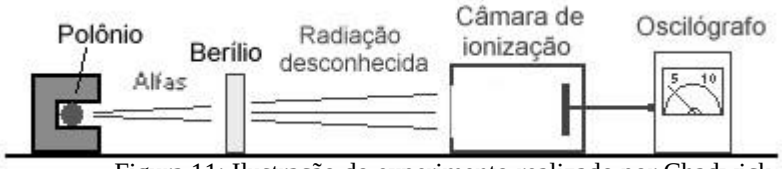


Figura 11: Ilustração do experimento realizado por Chadwick.
Fonte: https://seara.ufc.br[8]

[8] https://seara.ufc.br/wp-content/uploads/2019/03/setupchadwick.jpg

3.2.6 Modelo Atômico da Nuvem Eletrônica

Apesar do modelo proposto por Bohr ser utilizado por muitos cientistas, visto ser de fácil visualização, o mesmo apresentava algumas falhas. Pode-se verificar as inconsistências deste modelo analisando um átomo de hidrogênio que apresenta um único elétron, as inconsistências seriam:

- Sendo um único elétron girando em torno de um único próton, teria-se um modelo plano (semelhante a um disco de vinil com uma única órbita), o que tornaria impossível um gás formado por esse elemento exercer pressão em todas as direções do espaço com essa configuração plana. A aglomeração de átomos de hidrogênio, desta forma, teria a tendência de ficar empilhadas como se fossem discos um em cima do outro;
- Com o movimento circular de um elétron em torno do núcleo em um modelo plano pelas leis do Eletromagnetismo, teria-se a formação de um campo magnético, tendo em vista que uma carga girando origina a formação de polos positivo e negativo, consequentemente haveria uma ação entre os átomos vizinhos. Nesta configuração poderíamos ter átomos com polo positivos para cima e outros para baixo, o que provocaria anulação do campo magnético;
- Esse modelo não explica as ligações interatômicas;
- Este modelo adequava-se a átomos com apenas um elétron, falhando para átomos com vários elétrons;
- Este modelo também não explicava a interação entre vários átomos.

Por volta de 1927 os cientistas deixaram de acreditar que o elétron teria uma trajetória bem definida em torno do núcleo.

O austríaco Erwin Rudolf Josef Alexander Schrödinger, (1887 – 1961), o qual foi um físico teórico, trouxe a ideia do que seria o orbital com um conceito diferente de órbita, como sendo uma região do espaço onde o elétron poderia surgir com uma certa probabilidade de ser encontrado (EISBERG; RESNICK 1988).

Na figura 12 observamos nuvens de probabilidade de elétrons em diferentes níveis de energia. Essas nuvens foram propostas por Schrödinger para o átomo de Hidrogênio no qual:

- o elétron passou a ser descrito por uma nuvem de densidade eletrônica;
- onde for mais densa a nuvem, maior é a probabilidade de encontrar o elétron;
- a nuvem é mais densa próximo do núcleo, e menos densa longe do núcleo.

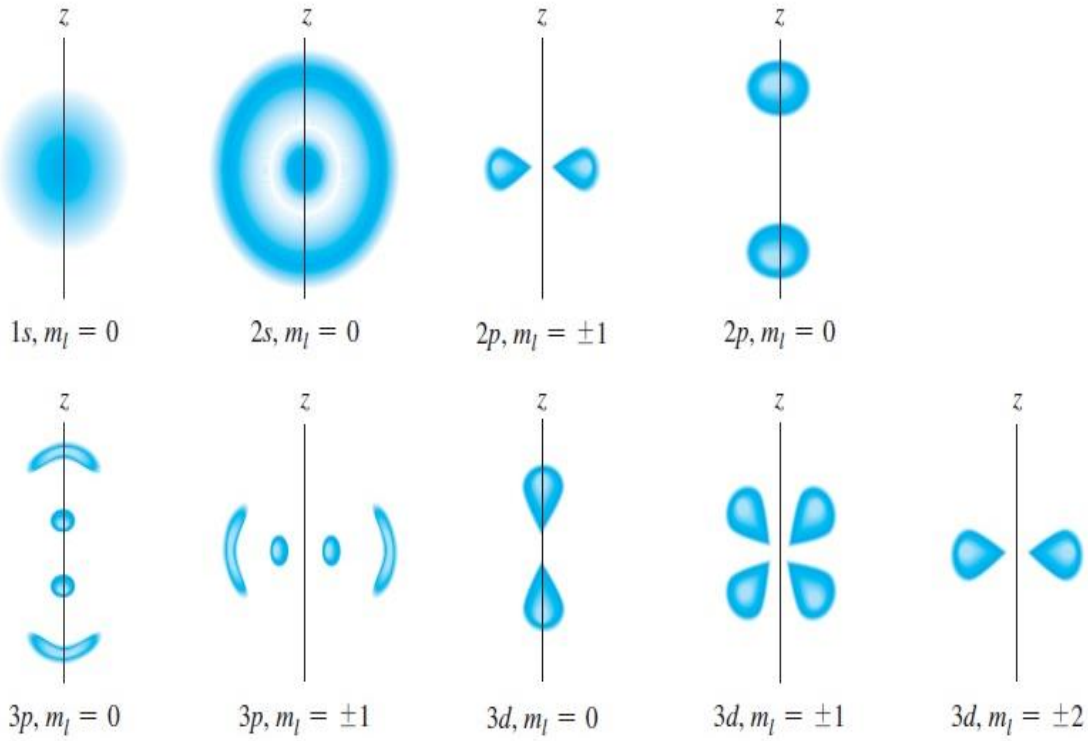


Figura 12: Modelos da Nuvem Eletrônica do átomo em diferentes níveis de energia.
Fonte: SEARS; ZEMANSKY, 2016.

Desde 1923 esse é o modelo mais atual, no entanto, ainda não chegou-se a um consenso de qual nome ser utilizado para referir-se a tal modelo. Alguns nomes são utilizados, tais como: Modelo Atômico da Nuvem Eletrônica; Modelo Atômico de Schrödinger; Modelo Atômico Quântico e Modelo Atômico Atual. Neste trabalho decidiu-se referir-se a este modelo como sendo o **Modelo Atômico da Nuvem Eletrônica**.

3.3 Muito Além do Átomo, o Modelo Padrão das Partículas Elementares

Hoje seguimos um modelo teórico proposto em 1964, chamado de **Modelo Padrão das Partículas Elementares** (Figura 13), que se consolidou em 2012 com a comprovação do Bóson de Higgs, verificado experimentalmente no Grande Colisor de Hádrons, ou LHC (*Large Hadron Collider*), localizado no Centro Europeu de Pesquisa Nuclear (CERN), com sede em Genebra – Suíça (ABDALLA, 2016).

Na tabela periódica, encontramos pela presença dos prótons e nêutrons em todos os elementos, um fator unificador pois os elementos são formados por diferentes combinações destes. A simetria observada nos levou para um novo modelo atômico a partir da hipótese de Bohr.

Em 1913, Bohr propôs em uma hipótese a estabilidade para o átomo, fortalecida pela explicação do espectro de emissão de luz pelo átomo de hidrogênio para certas frequências. Em 1914, o próton é descoberto por E. Rutherford, o qual percebeu que os núcleos dos átomos não eram elementares, sendo necessária a existência de outra partícula, pois sua massa era maior que a dos prótons que lá existiam. Em 1932, os nêutrons foram descobertos (MAIA; BIANCHI, 2007).

Em 1935, Yukawa propôs que para os prótons ficarem junto aos nêutrons seria necessária a existência de uma força "forte", com troca de partículas mediadoras, os **píons** ou **méson pi**, apoiado pela Teoria Quântica de Campos (QED) (BROCKINGTON; SIQUEIRA; PIETROCOLA, 2017).

Um físico brasileiro que teve contribuição decisiva para a descoberta dos **píons** foi César Lattes. Físico com grande renome no cenário internacional a ponto de muitos dizerem que Lattes deveria estar no grupo de vencedores do Prêmio Nobel de 1950.

Lattes foi muito importante para a Física brasileira, ao lado de outros grandes físicos brasileiros, ajudou a desenvolver uma infraestrutura de pesquisa que até hoje tem sua marca. Lattes fundou e foi o primeiro diretor do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF), também fundou o CNPq, e a Universidade de Brasília entre outras grandes contribuições. Sem dúvida, Lattes foi um dos maiores nomes da ciência e que poucos têm conhecimento (SOARES et al, 2018).

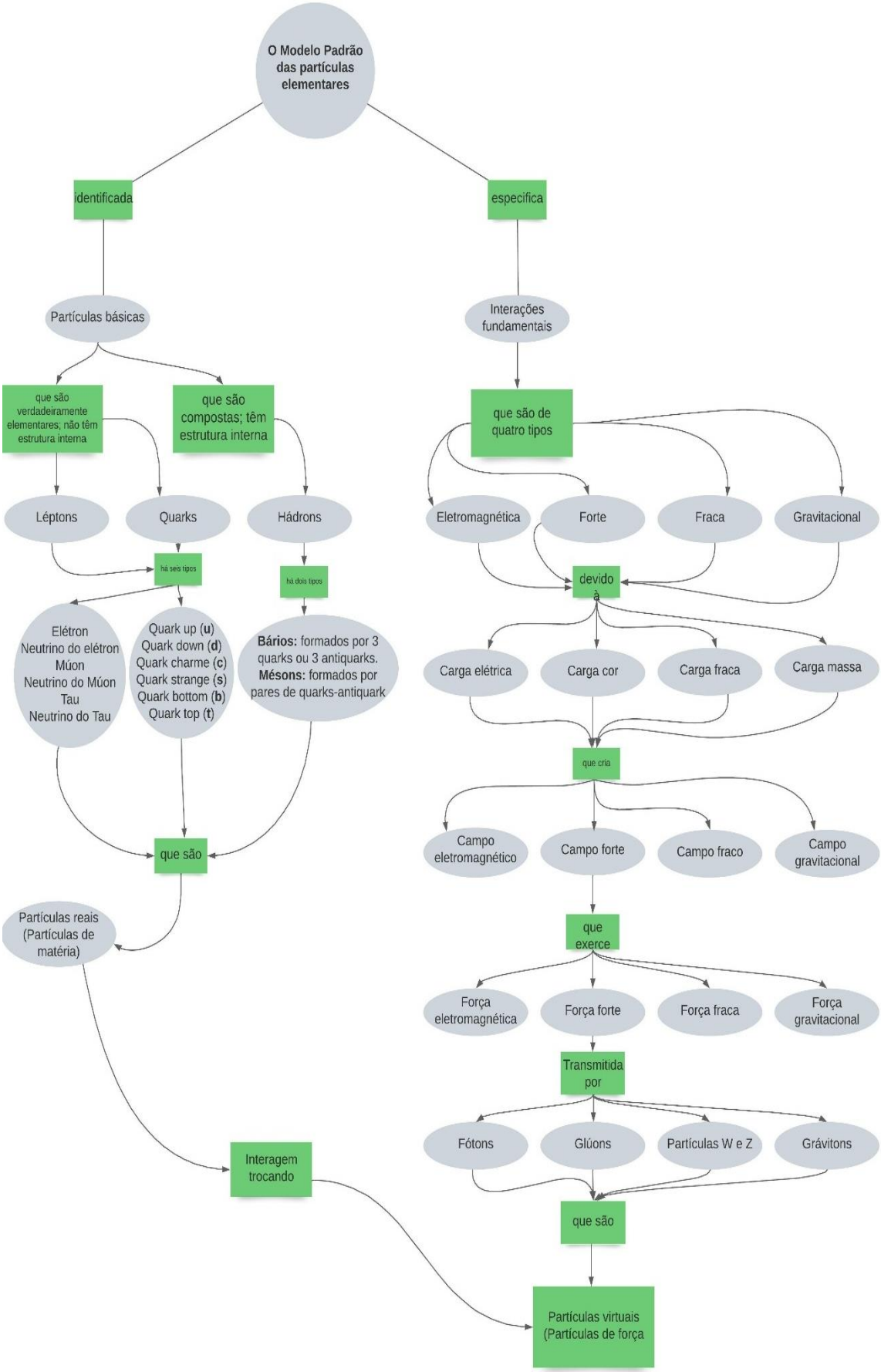


Figura 13: Esquema simplificado para o Modelo Padrão.
Fonte: Moreira, 2011 (Adaptado).

3.3.1 Os Quarks e Anti Quarks

Em 1964, Murray Gell-Mann e Kazuhito Nishijima propõem que algumas características dos prótons e nêutrons só poderiam ser definidas se alguns outros elementos pudessem coexistir dentro dos prótons e nêutrons, os chamados "tijolinhos" fundamentais. Nesta proposta os prótons e os nêutrons deixaram de ser partículas elementares.

Segundo o modelo proposto por Gell-Mann existiriam partículas elementares que foram chamadas de **Quarks** que formam os hádrons.

Os **Quarks** são divididos em três gerações ou famílias, com seis tipos chamados de "**sabores**" sendo eles: **Up (u)**, **Down (d)**, **Strange (s)**, **Charm (c)**, **Bottom (b)** e **Top (t)** (ABDALLA, 2016).

Na tabela 1 podemos ver o ano, o local e os descobridores dos Quarks e na tabela 2 podemos ver as características e propriedades de cada um dos Quarks.

Tabela 1: Quarks – Descobridor / Onde/ Ano

Quark	Descobridor	Onde / Ano
Up	M. Gell-Mann e George Zweig / 1964	SLAC Collb. / 1968
Down	M. Gell-Mann e George Zweig / 1964	SLAC Collb. / 1968
Strange	M. Gell-Mann / 1964	Raios cósmicos
Charm	C.C.Ting e B. Richter	SLAC e BNL / 1974
Bottom	Leon M. Lederman	Fermilab Collb / 1977
Top	CDF e DØ Collb.	Fermilab / 1995

Fonte: SLAC – Stanford Linear Accelerator Center; BNL – Brookhaven National Laboratory

Tabela 2: Quarks – Características / Propriedades

Quark	Símbolo	Carga	Massa (MeV/c^2)	Spin
Up	u	$+\frac{2}{3}e$	2,2	$\frac{1}{2}$
Down	d	$-\frac{1}{3}e$	4,7	$\frac{1}{2}$
Charm	c	$+\frac{2}{3}e$	1.280,0	$\frac{1}{2}$
Strange	s	$-\frac{1}{3}e$	96	$\frac{1}{2}$
Top	t	$+\frac{2}{3}e$	173.100,00	$\frac{1}{2}$
Bottom	b	$-\frac{1}{3}e$	4.180,00	$\frac{1}{2}$

Fonte: SLAC - Stanford Linear Accelerator Center; BNL – Brookhaven National Laboratory

Os Quarks possuem duas propriedades distintas que os diferenciam; a primeira é chamada de confinamento, já que Quarks livres não são observados separadamente na natureza, pois quanto mais se tenta afastá-los maior é a interação entre eles. A segunda é conhecida como liberdade assintótica pelo fato de que a maior proximidade entre os Quarks proporciona menor interação entre eles (ABDALLA, 2016).

O físico Paul Dirac (1829) propôs que cada partícula tem sua antipartícula correspondente. Uma antipartícula tem a mesma massa e o mesmo spin da partícula em questão, porém carga oposta. Quando uma partícula colide com sua antipartícula, há sua aniquilação, e assim havendo transformação na sua forma de energia. Portanto, antipartículas não são partículas completamente diferentes (MOREIRA, 2007).

Assim para cada Quark há seu Antiquark, com a mesma massa e o mesmo spin do Quark em questão, porém com carga oposta, perfazendo um total de 36 constituintes elementares [(6 Quarks + 6 Anti Quarks) x 3 “sabores” = 36 constituintes elementares)]. Na tabela 3 podemos observar as características e propriedades dos Antiquarks.

Tabela 3: Antiquarks – Características / Propriedades.

Antiquark	Símbolo	Carga	Massa (MeV/c^2)	Spin
Anti Up	$\bar{u}$	$-\frac{2}{3}e$	2,2	$\frac{1}{2}$
Anti Down	$\bar{d}$	$+\frac{1}{3}e$	4,7	$\frac{1}{2}$
Anti Charm	$\bar{c}$	$-\frac{2}{3}e$	1.280,0	$\frac{1}{2}$
Anti Strange	$\bar{s}$	$+\frac{1}{3}e$	96	$\frac{1}{2}$
Anti Top	$\bar{t}$	$-\frac{2}{3}e$	173.100,00	$\frac{1}{2}$
Anti Bottom	$\bar{b}$	$+\frac{1}{3}e$	4.180,00	$\frac{1}{2}$

Fonte: SLAC - Stanford Linear Accelerator Center; BNL – Brookhaven National Laboratory.

Os prótons e nêutrons, partículas constituintes do núcleo atômico, são chamadas de **Hádrons**, que do grego significa forte, massiva ou robusta. Existem dois tipos de Hádrons: os mésons que são partículas formados por um quark e um antiquark e os bárions constituídos por três quarks ou três antiquarks (ENDLER, 2010).

3.3.2 Os Léptons e Anti Léptons

Não somente os quarks, mas também os léptons (leves) são partículas fundamentais constituintes da matéria, as quais não experimentam a força forte, podendo ter carga elétrica ou não (neutrinos), sem possuir cor (“brancos”), pois a cor é uma propriedade dos quarks, com seis sabores ou tipos, em três gerações ou famílias, sendo eles: **Elétron**, **Neutrino do elétron**; **Múon**, **Neutrino do Múon**; **Tau**, **Neutrino do Tau** (ABDALLA, 2016; ENDLER, 2010).

Na tabela 4 podemos ver o ano, o local e os descobridores dos Léptons e na tabela 5 podemos ver as características e propriedades de cada um dos Léptons.

Tabela 4: Léptons – Descobridor / Onde/ Ano

Lépton	Descobridor	Onde / Ano
Elétron	J.J.Thompson	ampola de Crookes / 1897
Múon	S. Neddermeyer e C.Anderson	raios cósmicos / 1937
Neutrino do Elétron	C.Cowan e F.Reines	Reator / 1956
Neutrino do Múon	L.Lederman, M.Schwartz e J.Steinberger	BNL / 1962
Tau	M.Perl	SLAC / 1976
Neutrino do Tau	DONUT Collab.	Fermilab / 2000

Fonte: SLAC - Stanford Linear Accelerator Center; BNL – Brookhaven National Laboratory

Tabela 5: Léptons – Características / Propriedades

Lépton	Símbolo	Carga	Massa (MeV/c^2)	Spin
Elétron	E	–1	0,511	$\frac{1}{2}$
Neutrino do Elétron	υ_e	0	< 0,00001	$\frac{1}{2}$
Anti Múon	μ	–1	105,658	$\frac{1}{2}$
Neutrino do Múon	υ_μ	0	< 0,27	$\frac{1}{2}$
Anti Tau	T	–1	1776,99	$\frac{1}{2}$
Neutrino do Tau	υ_t	0	< 31	$\frac{1}{2}$

Fonte: Abdalla, 2006, adaptado.

Assim como os Quarks que possuem seus respectivos Antiquarks, para cada Lépton há um Anti Lépton associado a ele, perfazendo um total de 12 constituintes elementares (6 Léptons + 6 Anti Léptons = 12 constituintes elementares) (ABDALLA, 2016; ENDLER, 2010).

Na tabela 6 podemos ver as características e propriedades de cada um dos Anti Léptons.

Tabela 6: Antiquarks – Características / Propriedades.

Anti Lépton	Símbolo	Carga	Massa (MeV/c^2)	Spin
Anti Elétron ou Pósitron	$\bar{e}$	1	0,511	$\frac{1}{2}$
Anti Neutrino do elétron	$\overline{U_e}$	0	< 0,00001	$\frac{1}{2}$
Anti Múon	$\bar{\mu}$	1	105,658	$\frac{1}{2}$
Anti Neutrino do múon	$\overline{U_\mu}$	0	< 0,27	$\frac{1}{2}$
Anti Tau	$\bar{t}$	1	1776,99	$\frac{1}{2}$
Anti Neutrino do tau	$\overline{U_t}$	0	< 31	$\frac{1}{2}$

Fonte: Abdalla, 2006, adaptado.

Quarks e Léptons são chamados de férmions por obedecerem a um princípio de exclusão proposto por Pauli segundo o qual duas partículas do mesmo tipo não podem ocupar o mesmo estado quântico, ou seja, de energia e spin, sendo o spin dos férmions comuns, justificando os mesmos a orientação quantizada espacial da partícula. Os férmions possuem spin semi-inteiro.

3.3.3 Os Bósons

Os Bósons são partículas mediadoras das forças fundamentais da natureza de spin inteiro. O modelo padrão sendo restrito à força gravitacional indica o fóton como partícula mediadora da força eletromagnética; os Glúons mediadores da força forte e as partículas W^+, W^- e Z_0 mediadores da força fraca.

A força eletromagnética está presente em todos os Quarks e Léptons que possuem carga elétrica; no total 08 Glúons com combinação de cores. Os Glúons são responsáveis pela transmissão da força forte entre os mésons e bárions constituídos pelos Quarks que interagem fortemente (ABDALLA, 2016; ENDLER, 2010).

Na tabela 7 podemos observar o ano e quem teorizou cada um dos Bósons.

Tabela 7: Bósons – Hipótese Teórica / Descoberta

Partícula	Hipótese Teórica	Ano
Fóton	Albert Einstein	1905
Glúons	Oscar W. Greenberg	1964
W^+	Steven Weinberg	1960
W^-	Steven Weinberg	1960
Z^0	Steven Weinberg	1960
Higgs	Peter Higgs e François Englert	1964

Fonte: DESy – Deutscher Elektronen-Syn-chrotron; CERN - European Organization for Nuclear Research

Já na tabela 8 observa-se as características e propriedades de cada um dos Bósons.

Tabela 8: Bósons – Características / Propriedades

Partícula	Símbolo	Carga	Massa (GeV/c^2)	Spin
Fóton	γ	0	0	1
glúons	g	0	0	1
W^+	W^+	+1	80,39	1
W^-	W^-	-1	80,39	1
Z^0	Z	0	91,19	1
Higgs	H	0	125,30	0

Fonte: DESy – Deutscher Elektronen-Syn-chrotron; CERN - European Organization for Nuclear Research

3.3.4 O Modelo Padrão

O Modelo Padrão se fundamenta nas teorias da Física Quântica e da Relatividade Restrita sendo constituído atualmente por 61 partículas ditas elementares, sendo algumas constituintes da estrutura da matéria, definindo a estrutura do átomo como conhecemos. É quase uma “teoria de tudo” ou uma “teoria de quase tudo” (OERTER, 2006).

O Modelo Padrão abrange duas áreas distintas de estudo, sendo a primeira a Teoria Eletrofraca que agrega as dimensões atômicas pela interação eletromagnética e a interação nuclear fraca. A outra área é a Cromodinâmica Quântica (QCD) que estuda as interações fortes entre os Quarks.

O modelo possui também ferramentas matemáticas que permitem calcular grandezas físicas para sua fundamentação, como os diagramas de Feynman que descrevem os processos possíveis nas interações (ENDLER, 2010).

Na figura 14 vemos um diagrama de Feynman que representa uma das possibilidades de obtenção do Bóson de Higgs pela análise probabilística deste processo.

O Bóson de Higgs, também chamado de "partícula de Deus", foi previsto por Peter Higgs e François Englert em 1964 pela Teoria Quântica de Campos (TQC) e detectado no LHC em 2012 (ENDLER, 2010; CARUSO; OGURI; SANTORO, 2012).

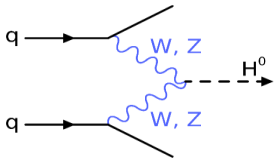


Figura 14: Diagrama de Feynman representando uma possibilidade de obtenção do Bóson de Higgs. Fonte: próprio autor, 2022.

Para a TQC, a matéria é descrita através do conceito de campo quântico que pelo pressuposto teórico existe em todo o universo, associado à localização das partículas elementares fundamentais e suas propriedades.

Pela proposta teórica de Peter Higgs e François Englert, cobrindo uma lacuna deixada pela TQC, as massas das partículas elementares seriam determinadas por um outro campo denominado como campo de Higgs.

O campo de Higgs possui energia constante que atua de modo resistente a outras partículas sendo transformada em massa pela equivalência da equação relativística $E=mc^2$.

Na figura 15 observa-se o infográfico com as informações do Modelo Padrão que contêm: as Partículas Elementares, ano da descoberta e o local onde foram descobertas.

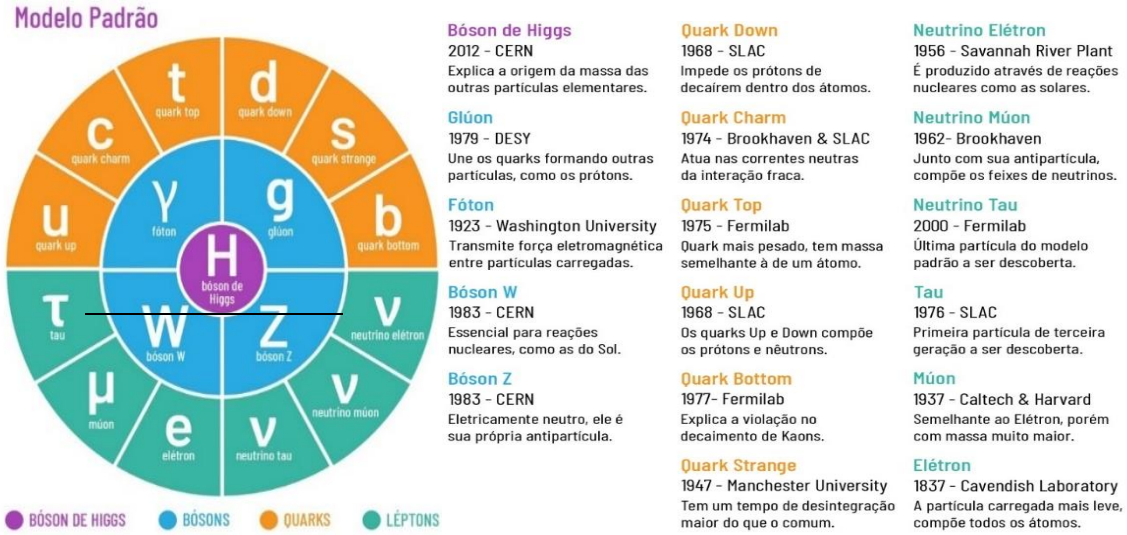


Figura 15: Infográfico do Modelo Padrão.
Fonte: Beatriz Abdalla/Jornal da USP, baseada na publicação de Symmetry Magazine

3.4 As Interações Fundamentais

A interação entre as partículas elementares do Modelo Padrão ocorre nas três grandes forças da natureza pelas partículas mediadoras como descrito anteriormente. Os Fótons mediam a força eletromagnética por uma distância infinita, os Glúons mediam a força forte com alcance de 10^{-15} m e as partículas mediadoras da força fraca W^+, W^- e Z^0 próximo de 10^{-13} cm.

A Física é a Ciência responsável pelo estudo da natureza e de seus fenômenos naturais. Na Física há uma área que estuda as partículas elementares que constituem a matéria, se dedicando também ao estudo da radiação emitida pelas partículas e a interação entre elas, essa área chama-se **Física de Partículas Elementares** ou também **Física de Altas Energias**, uma vez que várias partículas elementares são criadas apenas a energias elevadas, assim, só há possibilidade de detecção delas com altas energias de aceleração.

Há quatro tipos de interações fundamentais que são: **Eletromagnética**, **Gravitacional**, **Interação Forte** e a **Interação Fraca**. (MOREIRA, 2011).

A seguir veremos detalhadamente essas interações que a Física de Partículas estuda.

3.4.1 A Interação Eletromagnética

A Interação Eletromagnética ocorre entre as partículas que possuem carga elétrica, podendo ser classificada como atrativa ou repulsiva; tal interação é nula para toda matéria eletricamente neutra, com equilíbrio entre as cargas positivas e negativas, como a encontramos na natureza em sua composição comum. Em uma escala pontuada por uma potência de base 10, sua ordem de grandeza tem intensidade 10^{-2} N, alcance infinito e tempo médio de vida 10^{-15} segundos (CARUSO; SANTORO, 2012).

3.4.2 A Interação Gravitacional

A Interação Gravitacional ocorre entre as partículas que possuem massa, sendo sempre atrativa, estando presente no núcleo atômico. Em um estudo comparativo das interações no núcleo do átomo, observamos que a Interação Eletromagnética é bem maior que a Interação Gravitacional. Sua intensidade na escala apontada corresponde à ordem de 10^{-40} N, alcance infinito e tempo médio de vida indeterminado; o fato de possuir uma ordem de grandeza de pequeno valor, em comparação às demais interações, corrobora com sua não aplicação no estudo da Física de partículas (CARUSO; SANTORO, 2012).

3.4.3 A Interação Forte

A Interação Forte está presente nas partículas que apresentam cor[9], tem intensidade 10 na ordem de grandeza apontada, alcance de 10^{-13} cm e tempo de vida médio de 10^{-23} segundos, sendo responsável pela permanência dos prótons e nêutrons no núcleo atômico. Tal interação por sua característica afeta os Bárions e Mésons formados por Quarks, mas não atingem os Léptons por não possuírem tal propriedade quântica (ABDALLA, 2016).

3.4.4 A Interação Fraca

A Interação Fraca atua sobre as partículas que possuem sabor[10] como Léptons e Quarks, sendo descaracterizada pela sua intensidade nos Bárions e Mésons devido a maior ação das interações eletromagnética e forte. É muito significativa nas interações entre os neutrinos pois se manifesta de modo exclusivo para essas partículas. Os decaimentos radioativos alfa, beta e gama são exemplos de atuação da interação fraca pela instabilidade do núcleo atômico. No decaimento alfa há emissão de núcleos de hélio ou partículas alfa, no decaimento beta há emissão de elétrons ou pósitrons e no decaimento gama há emissão de um *quantum* de radiação eletromagnética. A intensidade da Interação Fraca é da ordem de grandeza 10^{-5} N, alcance muito menor que 10^{-13} cm e tempo de vida médio 10^{-8} segundos (MOREIRA, 2011).

Na figura 16 podemos observar um mapa conceitual sobre as interações fundamentais.

[9] É uma propriedade dos quarks. Os quarks tem três tipos de cores diferentes. A cor permite que quarks se unam para formar prótons, nêutrons e outras partículas (BALTHAZAR; OLIVEIRA, 2010).

[10] São os tipos de Quarks, os quais são: u (quark up); c (quark charm); e t (quark top), de carga +2/3 e d (quark down); s (quark strange) e b (quark bottom) de carga –1/3 (BALTHAZAR; OLIVEIRA, 2010).

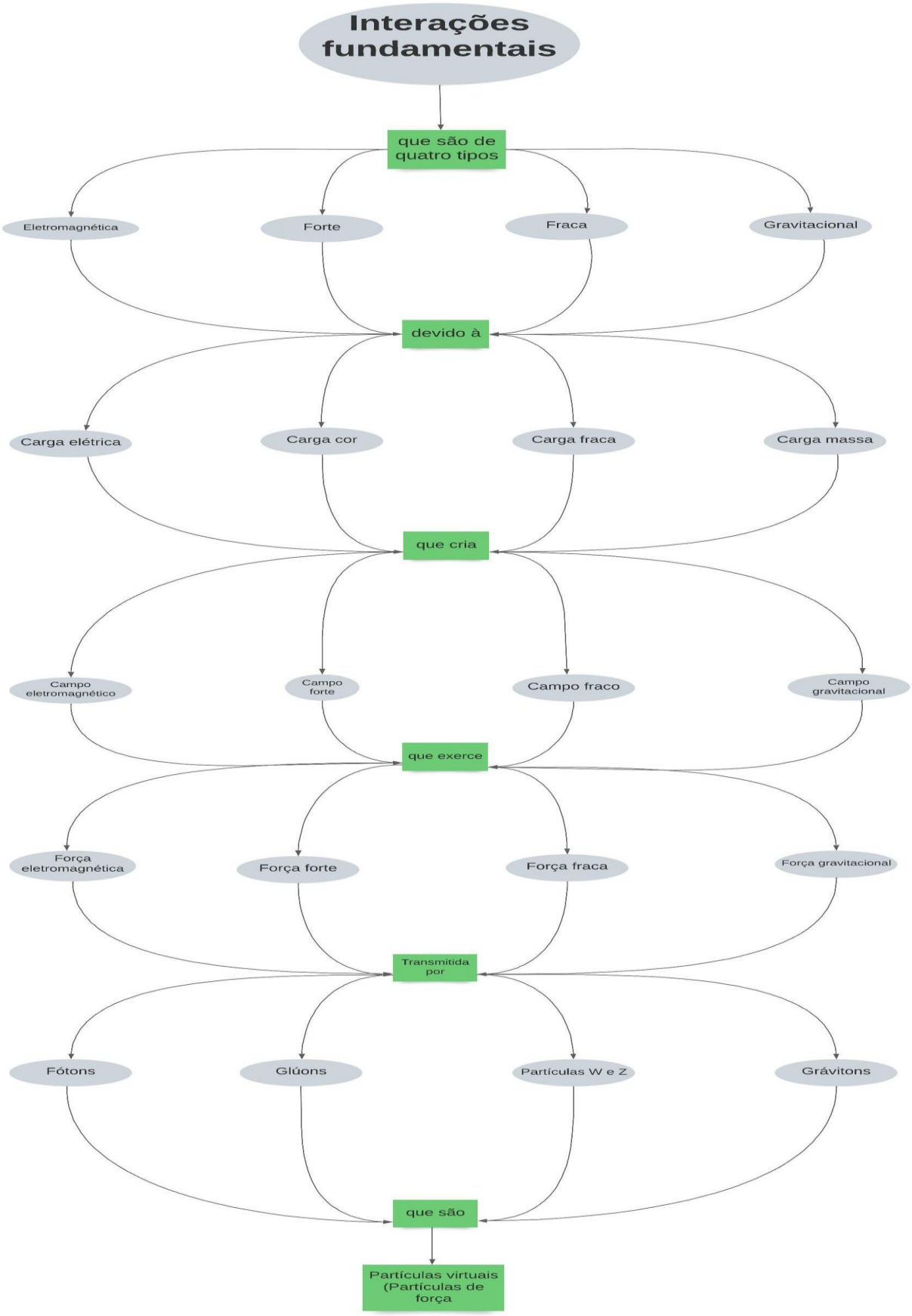


Figura 16: Mapa Conceitual das Interações fundamentais.
Fonte: Moreira, 2011 (Adaptado).

3.4.5 A Unificação das Quatro Interações Fundamentais

As quatro interações fundamentais tiveram sua justificativa teorizada no século XX em conjunto com a Física Quântica e a teoria da Relatividade Geral.

A busca pelo "Santo Graal" da Física passou ser a tentativa de unificação de todas as áreas do conhecimento através da junção das interações fundamentais, já tentada por Albert Einstein em seus últimos dias, assim como vislumbrada em filmes como Interestelar de Christopher Nolan.

Esta proposta ganhou o nome de **Teoria da Grande Unificação** (TGU). Na década de 60, S. Glashow, A. Salam e S. Weinberg apresentaram uma teoria unificadora para as interações eletromagnética e fraca: a teoria eletrofraca; como resultado da proposta, os bósons W^+, W^- e Z^0 foram encontrados pelo CERN em 1983 com colisões energéticas a 540 GeV entre prótons e sua antipartícula.

A experiência mostrou que os fótons e os bósons de Gauge que possuem massa nula em baixas energias, apresentam massividade na mistura de suas massas em uma única interação com energias acima de 100 GeV.

A unificação apresentada e experimentalmente comprovada no acelerador *Large Electon Positron collider* (LEP), corrobora com a busca da TGU como o "Santo Graal" em altas energias.

O modelo padrão das partículas elementares propõe energias da ordem de 10^{16} GeV e nesta proximidade se pressupõe a unificação das interações eletrofraca e forte na TGU; tal pressuposto é aceito pelo motivo das interações fracas e fortes energeticamente serem semelhantes nesta proximidade, tendo em vista que a interação eletrofraca aumenta com a energia enquanto a forte diminui.

Na figura 17 observamos um mapa conceitual sobre a Teoria de Tudo ("*Theory of Everything – TOEs*") que propõe uma continuidade desse nível energético, aceito para energias acima de 10^{19} GeV (escala de Planck) a unificação de todas as interações fundamentais da natureza.

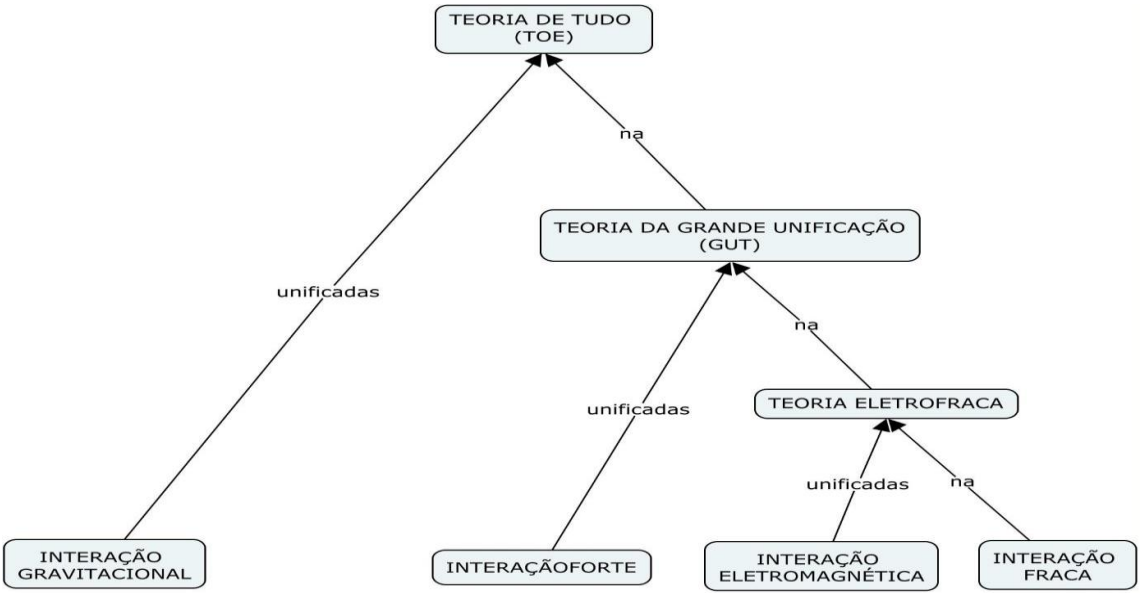


Figura 17: Mapa Conceitual sobre a Teoria de Tudo. Fonte: Moreira, 2011.

4 METODOLOGIA

Neste capítulo será discutida a metodologia utilizada para a realização deste trabalho.

4.1 Metodologia de Ensino

Observa-se que o estudo da Física seguindo práticas metodológicas tradicionais, contextualiza um aprendizado mecanicista em que a aplicação das relações matemáticas atreladas às leis do estudo da natureza propicia a resolução de problemas sem nenhum significado ou contextualização com a realidade vivida. É preciso que uma nova proposta seja levada ao Ensino Médio com a contemporaneidade da Ciência atrelada ao uso de recursos tecnológicos, de modo que:

> "o ensino de Física, na escola média, contribua para a formação de uma cultura científica efetiva, que permita ao indivíduo a interpretação dos fatos, fenômenos e processos naturais, situando e dimensionando a interação do ser humano com a natureza como parte da própria natureza em transformação" (BRASIL, 2000, pág. 22).

Após uma análise de conteúdos nos livros didáticos de Ensino Médio, percebemos que é necessária uma atualização do currículo escolar, incluindo Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio, pois há uma evolução tecnológica promovida por esse novo campo de estudo e sua funcionalidade. Tendo em vista que o currículo escolar ainda é dominado pela Física Clássica e está desatualizado, levando em conta o desenvolvimento científico posterior ao início do Século XX. Essa atualização vem acompanhada com a necessidade de quebrar paradigmas na compreensão de evolução da

Ciência no Ensino Médio, levando o discente ao pensamento crítico e evolutivo quanto a questões atuais envolvendo ciência, tecnologia, sociedade e ambiente. (SILVA; ARENGHI; LINO, 2013).

A partir da elaboração da BNCC com a inclusão de tópicos de Física Moderna e Contemporânea, observamos com o novo direcionamento a necessidade de romper velhos paradigmas no Ensino da Física pela evolução do conhecimento e da ciência em nossa contemporaneidade no século XXI. Os Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCNEM) trazem o seguinte registro:

> É preciso rediscutir qual Física ensinar para possibilitar uma melhor compreensão do mundo e uma formação para a cidadania mais adequada. Sabemos todos que, para tanto, não existem soluções simples ou únicas, nem receitas prontas que garantam o sucesso. (BRASIL, 2000, p. 23).

Não é preciso ter discussões sobre a inclusão da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio, uma vez que há documentos oficiais deliberando a contemplação de tópicos, tais como os apresentados nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN's) (MARQUES et al, 2019).

Segundo os autores há uma necessidade de discussões metodológicas, aplicabilidades em sala de aula e complementação na formação acadêmica dos professores. Pesquisas apontaram um crescimento de proposta buscando uma maior interação dos professores com o tema (Física Moderna e Contemporânea). Entre a metade das propostas estudadas, observou-se a não aplicação do como fazer de modo prático possíveis intervenções sobre o tema em sala de aula, fato que não corrobora com a apresentação de subsídios aos professores (MARQUES et al, 2019).

Entre os temas em construção da Física Moderna e Contemporânea com proposta de estudo introdutória apontada nos PCN's, a Física de Partículas Elementares (FPE) destaca-se pela contemporaneidade e aplicabilidade em novas tecnologias.

Com isso, a mudança deve ocorrer na metodologia e não apenas na inclusão das tecnologias digitais no ensino. É necessário o acompanhamento nas mudanças culturais na qual estamos inseridos, pois o ensino ainda se encontra atrelado ao modelo tradicional, priorizando o mesmo método de comunicação de séculos atrás, no qual o professor ocupa a posição de protagonista principal, detentor e transmissor da informação (VALENTE, 2014).

As mudanças sociais provocadas pelo desenvolvimento da tecnologia alteraram as necessidades dos discentes. Atualmente o ensino através de ferramentas digitais permitem a construção e desenvolvimento de aprendizagem dos discentes, principalmente as que já estão presentes no cotidiano dos alunos como: o celular, computador entre outros. A visão de Sales et al (2017, pg.48) justifica esse pensamento quando diz:

> O jovem na atualidade não pode mais estar numa sala de aula com um professor de Física que faça uso de pincel e quadro apenas, mas do profissional que faça uso de metodologias ativas e das tecnologias digitais, como outros recursos didáticos, para a devida motivação de sua aula, não somente de forma extrínseca, mas principalmente aquela que vem de dentro, a motivação intrínseca, afinal, existem muitos atrativos sedutores para o nativo digital extra-ambiente de aprendizagem.

4.1.1 Metodologia Baseada na Aprendizagem Significativa

Segundo Ausubel, é essencial que o professor valorize os conhecimentos prévios do discente, os quais poderão servir como subsunçores, assim contribuindo para que ocorra uma aprendizagem significativa. A valorização desses conhecimentos poderá ocorrer com a utilização de materiais significativos que estejam relacionados com a estrutura cognitiva do discente de maneira não literal e não arbitrária, os quais ajudarão no reforço dos subsunçores, evitando a aprendizagem mecânica, através da memorização. Esse tipo de estratégia de ensino tem como essência: a participação dos discentes; a motivação, os conhecimentos prévios, seus interesses, tudo deve ser considerado e aproveitado em todas as etapas do processo ensino aprendizagem.

4.2 Sequência Didática Baseada nos Três Momentos Pedagógicos e na Aprendizagem Significativa

Um estudo de caso se pauta no estudo específico de um caso de interesse do investigador, dentro do ambiente ou contexto da vida real (YIN, 2015). Ainda de acordo com o autor, este tipo de abordagem envolve múltiplas fontes de informações como: observações, entrevistas, materiais audiovisuais, documentos e relatórios. Assim, elaborou-se uma sequência didática com atividades lúdicas e aplicações de tecnologias digitais com o objetivo de inserir conceitos básicos sobre Física de Partículas Elementares no Ensino Médio baseada nos **3MP (Três Momentos Pedagógicos)** proposto inicialmente por Delizoicov e Angotti (1992) e na Aprendizagem Significativa estabelecida por Ausubel.

Este produto educacional poderá ser aplicado aos discentes do terceiro ano do Ensino Médio, no momento em que o professor ministre eletrostática, mais precisamente, quando for apresentar os modelos atômicos. Com isso, os alunos poderão perceber que a constituição da matéria vai muito além do átomo.

A seguir, na tabela 9 estão descritas as ações que contemplarão os 3MP na sequência didática com atividades lúdicas e aplicações de tecnologias digitais com o objetivo de inserir conceitos básicos sobre Física de Partículas Elementares no Ensino Médio.

Tabela 9: Ações para abordagem dos 3MP na Sequência didática.

Fases dos 3 MP	Ação	Etapa
Problematização Inicial	Aplicar o pré-teste com questões objetivas para verificação dos conhecimentos prévios.	I
	Discutir sobre o que é a matéria e do que a mesma é composta para identificação dos conhecimentos prévios dos estudantes.	II
Organização do conhecimento	Apresentar o site "**Escala do Universo**", disponível em: https://htwins.net/scale2/.	III
	Apresentar um breve histórico da Física de partículas e os Modelos Atômicos.	IV
	Apresentar o simulador - Experimento de Rutherford, disponível em: https://phet.colorado.edu/en/simulation/rutherford-scattering	V
	Construir mapas conceituais sobre evolução dos modelos atômicos ao longo da história.	VI
	Apresentar o Modelo Padrão de Partículas e as interações fundamentais da natureza.	VII
	Visita virtual guiada ao LCH, CERN, Suíça. Disponível em:https://atlas.cern/discover/visit/virtual-visit/escola-estadual-ulisses-guimaraes e https://youtu.be/XoNiR04pq3o.	VIII
	Aplicação do produto educacional.	IX

Aplicação do conhecimento	Aplicação do pós-teste para verificação do conhecimento após o desenvolvimento das atividades da sequência didática.	X

As aulas foram ministradas de modo expositivo e dialogadas com a utilização de recursos como: audiovisual, leituras, utilização de simuladores, construção de mapas conceituais, visitas virtuais e aplicação dos questionários pré-teste e pós-teste com o objetivo de averiguar o processo de ensino aprendizagem antes e depois do desenvolvimento da metodologia baseada nos 3MP e na Aprendizagem Significativa.

A Sequência Didática foi composta por planos de atividades explicitando os Modelos Atômicos e o Modelo Padrão da Partículas Elementares no decorrer de oito aulas, com duração de 55 minutos cada, conforme pode ser verificada no **apêndice A**. Foi preciso essa revisão sobre os modelos atômicos, pois os discentes tiveram dificuldades de lembrar os conceitos de cada um desses modelos.

4.3 Desenvolvimento da Sequência Didática

Nesta seção iremos detalhar como foi desenvolvida toda a sequência didática proposta.

4.3.1 I Etapa – 55 minutos

No dia 04 de abril de 2022 iniciou-se a aplicação da sequência didática, sendo apresentada a proposta aos discentes de dois terceiros anos vespertinos da Escola Estadual Ulisses Guimarães, juntamente com a aplicação do questionário pré-teste (**Apêndice B**), o qual é composto por 15 questões objetivas, no intuito de levantar os conhecimentos prévios dos discentes referentes à estrutura da matéria, modelos atômicos e partículas elementares. O questionário foi aplicado em sala de aula com a utilização do *google forms*[11], conforme mostra a figura 18.

[11] Disponível em: https://forms.gle/VuND6Q2HqkMeRRir6

Figura 18: Alunos realizando o pré-teste. Fonte: próprio autor, 2022.

4.3.2 II Etapa – 10 minutos

Nesta etapa iniciou-se uma discussão sobre o que é a matéria e de que a mesma é composta para identificar os conhecimentos prévios dos discentes.

4.3.3 III Etapa – 10 minutos

Nesta etapa o professor fez a seguinte pergunta: "**Até onde podemos ver na escala do Macro e no Micro?**" com isso, em cerca de 10 minutos apresentou-se o site "**Escala do Universo**", de acordo com a figura 19[12]. Assim, os discentes puderam fazer uma viagem do Macro ao Micro conhecendo mais sobre a matéria e sua estrutura.

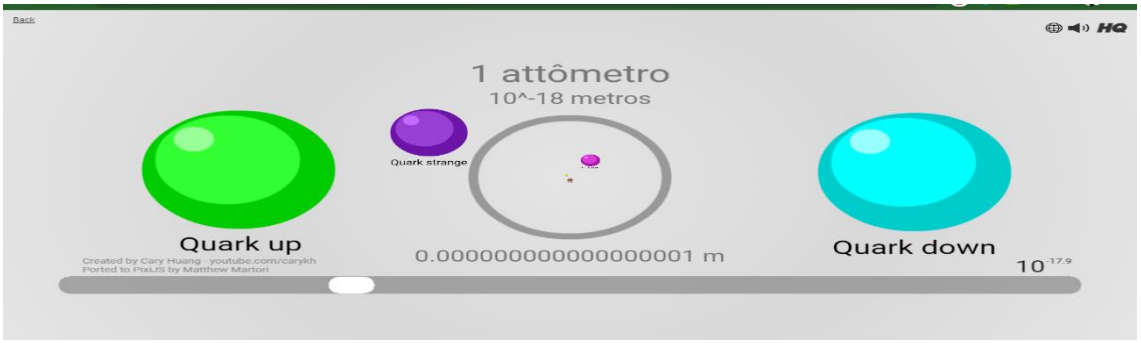


Figura 19: Print do site Escala do Universo.
Fonte: https://htwins.net/scale2/

[12] Disponível em: https://htwins.net/scale2/

4.3.4 IV Etapa – 30 minutos

Os discentes tiveram uma aula expositiva para recordar os principais **Modelos Atômicos**, desde o Modelo Atômico Grego (Demócrito) até o Modelo Atômico de Nuvem Eletrônica (Schrödinger), dando ênfase principalmente ao Modelo Atômico de **Nuvem Eletrônica**, conforme a figura 20 pois os outros modelos (Demócrito, Dalton, Thomson, Rutherford e Bohr) já são vistos em Química no primeiro ano do Ensino Médio.

Figura 20: Aula expositiva e dialogada sobre os Modelos Atômicos.
Fonte: próprio autor, 2022.

4.3.5 V Etapa – 5 minutos

Nesta etapa, para que os discentes tivessem uma visão de como foi o experimento de Rutherford, apresentou-se no simulador phet[13] tal experiência, conforme mostra a figura 21.

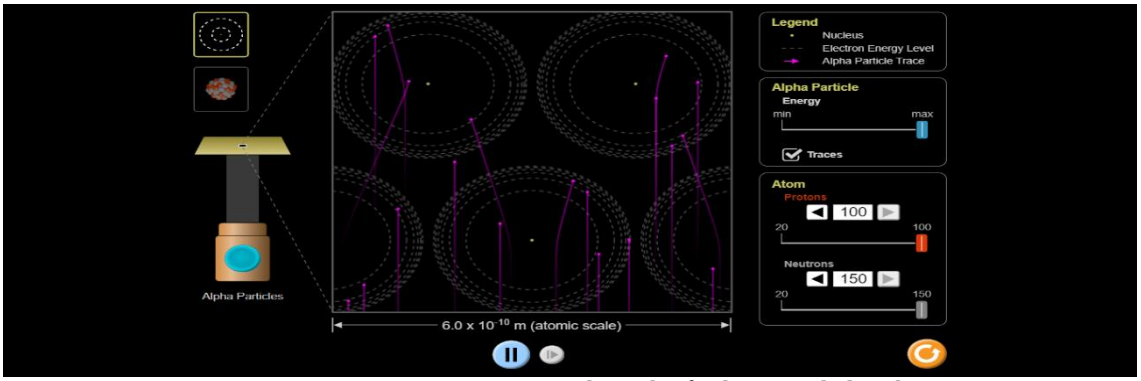


Figura 21: O experimento de Rutherford no simulador phet.
Fonte: https://phet.colorado.edu/en/simulation/rutherford-scattering.

[13] Disponível em: https://phet.colorado.edu/en/simulation/rutherford-scattering.

4.3.6 VI Etapa – 55 minutos

Essa etapa iniciou-se com a proposta de construção de **Mapas Conceituais**[14] de acordo com a figura 22 que se encontra logo abaixo sobre a Evolução dos Modelos Atômicos ao longo da história. Os discentes tiveram aproximadamente 40 minutos para desenvolver essa atividade.

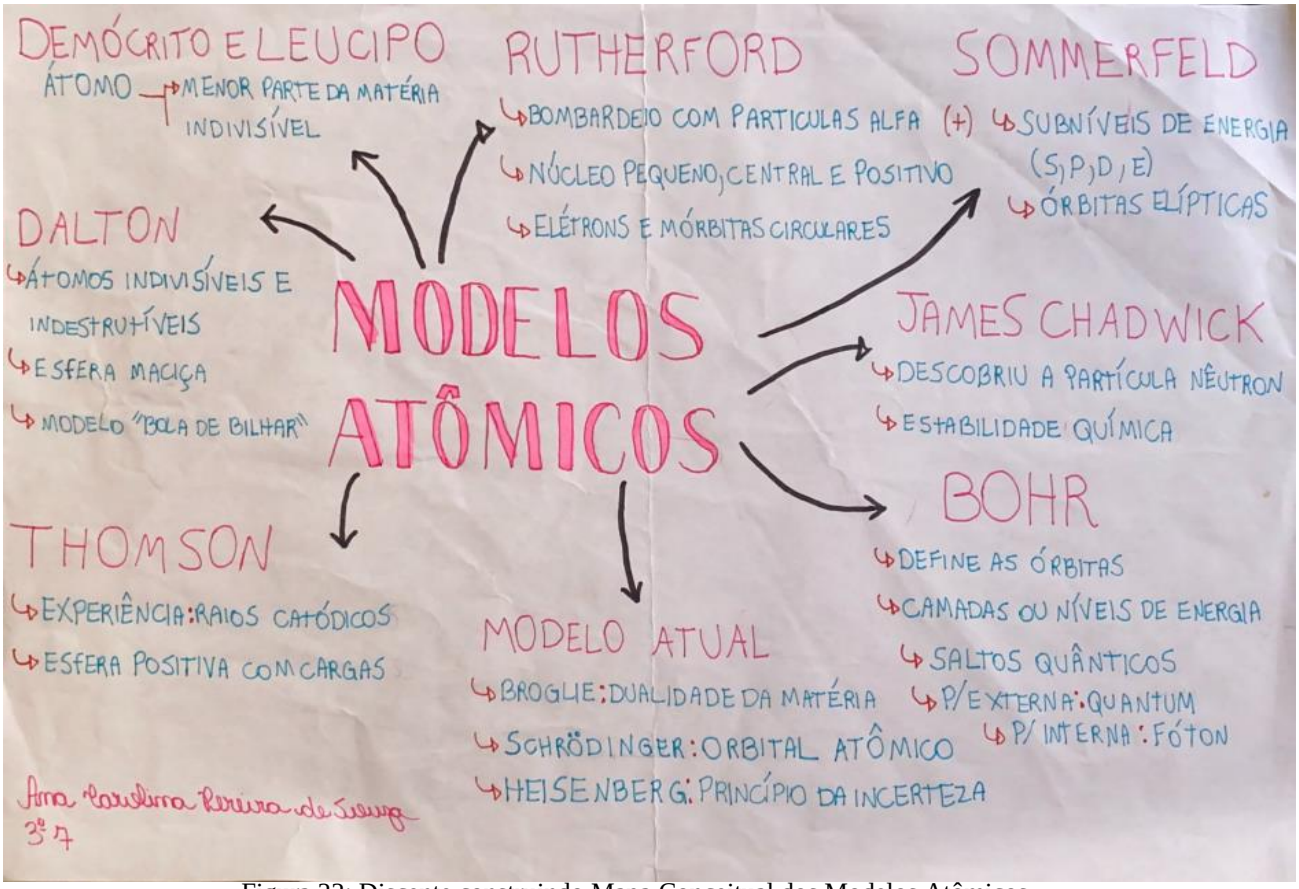


Figura 22: Discente construindo Mapa Conceitual dos Modelos Atômicos.
Fonte: próprio autor, 2022.

[14] **Mapas conceituais**, ou mapas de conceitos, são apenas diagramas indicando relações entre conceitos, ou entre palavras que usamos para representar conceitos.

Mapas mentais são livres, associacionistas, não se ocupam de relações entre conceitos, incluem coisas que não são conceitos e não estão organizados hierarquicamente.

Após a construção dos Mapas Conceituais o professor passou um vídeo sobre o Modelo Padrão das Partículas Elementares, com duração de 15 minutos estando disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=Nqi-bM90vfg.

4.3.7 VII Etapa – 110 minutos

Ao término da atividade de construção dos Mapas Conceituais, iniciou-se uma aula expositiva e dialogada com os discentes para introduzir o Modelo Padrão de Partículas Elementares e Interações Fundamentais da Natureza. Nessa etapa os discentes tiveram a oportunidade de conhecer melhor as forças fundamentais, as partículas elementares (Quarks, Léptons e Bósons) e suas principais características.

Os slides usados para essa aula expositiva e dialogada, fazem parte do acervo do **Grupo de Extensão, Divulgação, Ensino e Pesquisa em Física** (GEDEP – Fis), do qual o autor faz parte, de acordo com a figura 23 abaixo.

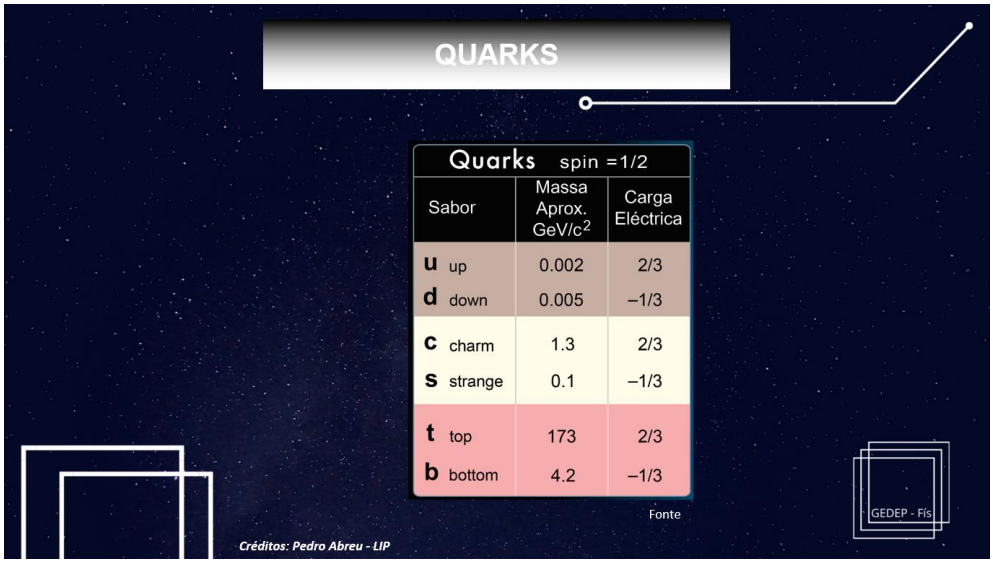


Figura 23: Os Quarks e suas principais características.
Fonte: GEDEP – Fis, 2022.

Ao fim da aula expositiva foi proposta uma leitura do artigo "**Sobre o Discreto Charme das Partículas Elementares**" que está disponível em: http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol6/Num1/charme.pdf. Este artigo tem como referência o livro **O Discreto Charme das Partículas Elementares** da autora Maria Cristina Batoni Abdalla, o qual fala das principais características das Partículas Elementares e suas interações de modo lúdico e com um linguajar acessível a todos.

4.3.8 VIII Etapa – 55 minutos

No dia 27 de abril de 2022 os discentes visitaram virtualmente, através do aplicativo *Zoom*, o Experimento ATLAS pertencente à Organização Europeia para a Pesquisa Nuclear (CERN), o qual se encontra em Genebra na Suíça.

A visita foi guiada pelo pesquisador Denis Oliveira Damazio que mostrou detalhes do experimento ATLAS, juntamente com a sala de controles e falou sobre várias curiosidades que deixaram os discentes entusiasmados. Ao final da visita houve um tempo para que os discentes pudessem fazer perguntas ao pesquisador.

O organizador convidou o professor Mestre Marco Aurélio de Jesus que é professor de Física no IFRO, *Campus* Ji-Paraná e o mesmo fez-se presente com as suas turmas, conforme a figura 24.

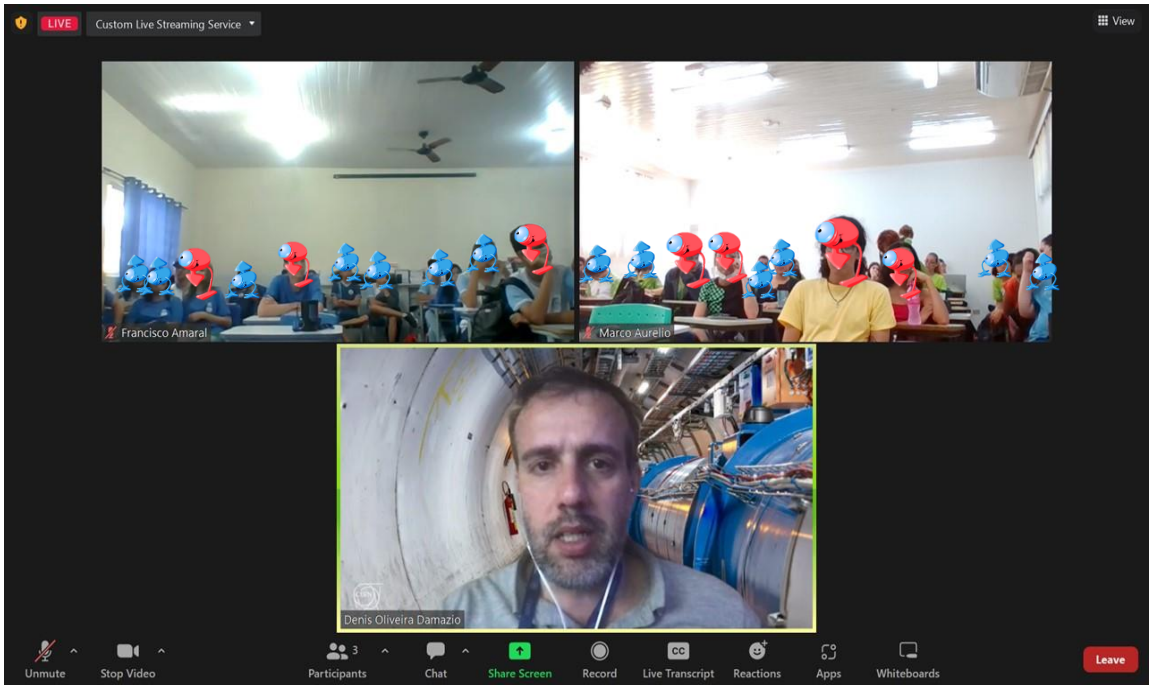


Figura 24: Visita virtual ao Experimento ATLAS.
Fonte: Próprio autor, 2022.

Mais detalhes da visita virtual ao Experimento ATLAS, juntamente com a gravação está disponível em: https://atlas.cern/discover/visit/virtual-visit/escola-estadual-ulisses-guimaraes e https://youtu.be/XoNiR04pq3o.

4.3.9 IX Etapa – 55 minutos

Nesta etapa aplicou-se, o jogo "**Quem sou Eu? Com as Partículas Elementares**". A aplicação deu-se em dois momentos:

- ✓ No primeiro momento, os discentes jogaram no modo iniciante, que consiste em três ou mais jogadores dispostos em círculo diante de uma mesa ou cadeira. As cinquentas cartas foram divididas em quatro grupos, que são classificados como: **Quarks** e **Antiquarks**; **Léptons** e **Antiléptons**; **Bósons** e **Detectores de partículas**; **Interações**, **Pesquisadores** e **conceitos fundamentais**. Inicialmente as cartas foram embaralhadas e um discente chamado de "**Protagonista X**" retira apenas uma do monte, olha o nome e a guarda para si. Se desejar relembrar os dados da carta que foi retirada, pode consultar o glossário e então fazer a pergunta "**Quem sou eu?**" para o colega da direita. Este deve fazer uma, e somente uma, pergunta por rodada ao "**Protagonista X**" cujas respostas só podem ser **SIM** ou **NÃO**. Cada um tem direito a uma pergunta por rodada e não é permitido arriscar uma resposta ("**chutar**") antes do término da primeira rodada. Após esse período de restrição, quem "**chutar**" errado sairá do jogo, voltando somente após alguém acertar a resposta. Os outros jogadores também podem fazer consulta ao glossário e quando a identidade do "**Protagonista X**" é descoberta, o vencedor marca um ponto, o jogador da direita assume sua função, retirando uma ficha e reconduzindo a turma à sessão de perguntas. Ao término de seis jogos, quem tiver mais pontos é o vencedor, como mostra a figura 25.

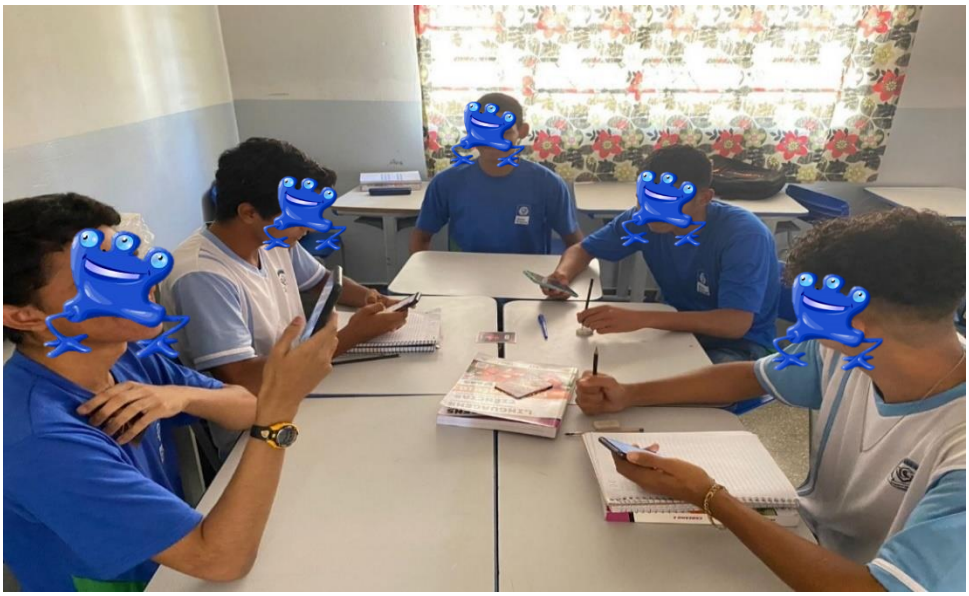


Figura 25: Alunos jogando "Quem sou eu?" no modo iniciante.
Fonte: Próprio autor, 2022.

- ✓ No segundo momento, os discentes jogaram no modo avançado, que consiste em que cada aluno deve retirar uma carta do monte, não olha o nome retirado, em

seguida, coloca a carta no suporte que estará fixo em sua testa, de modo que o jogador não saiba qual carta está colada no suporte. O "**Protagonista X**" pode fazer uma pergunta para cada jogador sobre a carta que está em sua testa e as respostas só podem ser **SIM** ou **NÃO**. Ao final da rodada, ele deve responder "**Eu sou...**" e dizer o nome que está na carta. Se o jogador acertar sua "**carta misteriosa**" que está no suporte, marcará um ponto e após todos terem tentado descobrir "**sua carta misteriosa**" é iniciada outra partida. Da mesma forma que no nível iniciante, se os alunos quiserem podem recorrer ao glossário, conforme a figura 26.

Figura 26: Alunas jogando "Quem sou eu?" no modo avançado.
Fonte: Próprio autor, 2022.

4.3.10 X Etapa – 55 minutos

Nesta última etapa aplicou-se uma verificação de aprendizagem em forma de pós-teste (**Apêndice B**) com as mesmas perguntas do pré-teste. O questionário foi aplicado em sala de aula com a utilização do *google forms*, o qual está disponível em: https://forms.gle/yJxrg2wYFfhgG9PL7.

4.4 Metodologia de Pesquisa e Contexto da Pesquisa

A sequência didática (**Apêndice A**) foi aplicada no primeiro bimestre de 2022, mais precisamente nos meses de abril e maio, em duas turmas de terceiros anos do Ensino Médio no período vespertino, totalizando 39 alunos da Escola Estadual Ulisses Guimarães que se localiza na cidade de Campo Verde – Mato Grosso.

Vale ressaltar aqui que o professor começou a trabalhar na referida escola no ano de 2022, com isso, esta foi a primeira vez que os discentes tiveram contato com professor e, portanto, acredita-se que houve neutralidade na elaboração, aplicação e análise dos dados.

4.4.1. Local da Pesquisa.

A Escola Estadual Ulisses Guimarães, figura 27, se localiza na zona urbana da cidade de Campo Verde – Mato Grosso. Fundada em 21 de novembro de 1997, atualmente atende 979 alunos do nível médio nos três períodos, sendo 445 no matutino, 269 no vespertino e 265 no noturno.

No período matutino, a escola tem cinco turmas de primeiro ano, cinco turmas de segundo ano e quatro turmas de terceiro ano. No período vespertino, a escola tem três turmas de primeiro ano, quatro turmas de segundo ano e duas turmas de terceiro ano. No período noturno, a escola tem duas turmas de primeiro ano, três turmas de segundo ano e três turmas de terceiro ano.

Figura 27: Escola Estadual Ulisses Guimarães.
Fonte: Próprio autor, 2022.

4.4.2 Infraestrutura do Local da Pesquisa.

A escola tem 14 salas de aulas amplas, bem iluminadas e climatizadas. Também conta com 2 banheiros para alunos e 1 banheiro PNE. Para os funcionários há 3 banheiros, 1 sala climatizada para os professores, 1 sala para a direção e uma sala para secretaria. A escola ainda possui uma biblioteca e 5 laboratórios, sendo: 1 de matemática, 1 de física, 1 de química, 1 de biologia e 1 de informática.

4.4.3 Perfil socioeconômico dos Alunos do terceiro ano vespertino.

Para traçar o perfil dos alunos do terceiro ano do ensino médio vespertino, aplicou-se um questionário socioeconômico (**Apêndice C)** no *google forms,* disponível em: https://forms.gle/2E4UhgcmtCBjsPdF6, o qual mostrou que 35,9% dos alunos (14) são do sexo masculino e 64,2% (25) são do sexo feminino. Desse total, 2,6% dos alunos (1) têm menos de 17 anos, 15,4% (6) tem 18 anos e 82,1% (32) tem 17 anos.

Desse total de entrevistados 7,7% (3) deles se consideram negros, 23,1% (9) se consideram brancos e 69,2% (27) se consideram pardos. 10,3% (4) são casados/moram com um(a) companheiro(a) e 89,7% (35) são solteiros. E todos moram em casa ou apartamento com a família.

Quando perguntados com quem eles moram, 2,6% (1) mora com esposo(a)/companheiro(a); 7,7% (3) moram com outros parentes, amigos(as) ou colegas; 53,8% (21) moram com irmãos(ãs); e 92,3% (36) moram com pai e/ou mãe.

Sobre quem mora na casa deles, contando pais, irmãos ou outras pessoas, 5,1% (2) têm 2 pessoas que moram na casa; 5,1% (2) têm mais de 6 pessoas morando na mesma casa; 25,6% (10) têm quatro pessoas morando na mesma casa; 28,2% (11) têm três pessoas morando na mesma casa; e 35,9% (14) têm cinco pessoas morando na mesma casa. Sobre a quantidade de filhos(as): 2,6% (1) dos alunos têm um filho(a); 2,6% (1) dos alunos têm dois filhos(as) e 94,4% (37) dos alunos não têm filhos(as).

Quanto ao grau de escolaridade dos pais dos alunos: 2,6% (1) não estudou; 5,1% (2) ensino superior incompleto; 5,1% (2) ensino superior completo; 7,7% (3) têm o ensino médio incompleto; 12,8% (5) têm o ensino médio completo; 23,1% (9) têm da 1ª a 4ª série do ensino fundamental (antigo primário) e 28,2% (11) têm da 5ª a 8ª série do ensino fundamental (antigo ginásio).

Já sobre o grau de escolaridade das mães dos alunos: 2,6% (1) não estudou; 2,6% (1) ensino superior incompleto; 2,6% (1) têm pós-graduação; 5,1% (2) não sabe o grau de escolaridade da mãe; 10,3% (4) têm o ensino superior completo; 12,8% (5) têm o ensino médio completo; 12,8% (5) têm da 1ª a 4ª série do ensino fundamental (antigo primário) e 20,5% (8) têm da 5ª a 8ª série do ensino fundamental (antigo ginásio) e 38,5% (15) têm ensino médio completo.

Quando questionados sobre em que seu pai trabalha ou trabalhou, na maior parte da vida, tem-se: 2,6% (1) não trabalha; 2,6% (1) trabalha como doméstico em casa de outras pessoas (faxineiro, cozinheiro, mordomo, motorista particular, jardineiro, vigia, acompanhante de idosos/as etc.); 2,6% (1) trabalha em sua casa em serviços (alfaiataria, cozinha, aulas particulares, artesanato, carpintaria, marcenaria etc); 2,6% (1) funcionário público do governo federal, estadual ou municipal; 5,1% (2) trabalha na indústria; 7,7% (3) trabalha no comércio, banco, transporte, hotelaria ou outros serviços; 10,3% (4) trabalha fora de casa em atividades informais (pintor, eletricista, encanador, feirante, ambulante, guardador de carros, catador de lixo etc.); 15,4% (6) não sabe com o que o pai trabalha; 20,5% (8) trabalha com outras coisas e 30,8 % (12) trabalha na agricultura, no campo, em fazenda ou na pesca.

Já sobre o trabalho da mãe, tem-se: 2,6% (1) é profissional liberal, professora ou técnica de nível superior; 5,1% (2) funcionária pública do governo federal, estadual ou municipal; 5,1% (2) trabalha na indústria; 7,7% (3) trabalha em sua casa em serviços (alfaiataria, cozinha, aulas particulares, artesanato, carpintaria, marcenaria etc); 10,3% (4) trabalha no comércio, banco, transporte, hotelaria ou outros serviços; 10,3% (4) trabalha na agricultura, no campo, em fazenda ou na pesca; 10,3% (4) não sabe com o que a mãe trabalha; 12,8% (5) não trabalha; 12,8% (5) trabalha com outras coisas e 23,1% (9) trabalha como doméstica em casa de outras pessoas (faxineira, cozinheira, mordomo, motorista particular, jardineira, vigia, acompanhante de idosos/as etc.).

Sobre a renda familiar dos alunos, somando com a dos estudantes: 2,6% (1) não têm nenhuma renda; 5,1% (2) têm uma renda de mais de 10 salários mínimos mais de (R$ 12.120,00); 23,1% têm (9) tem uma renda de 1 salário mínimo (até R$ 1.212,00 inclusive); 33,3% (13) têm uma renda de 1 a 2 salários mínimos (de R$1.212,00 até R$ 2.424,00 inclusive) e 35,9% (14) têm uma renda de 2 a 5 salários mínimos (de R$ 2,424,00 até R$ 6.060,00 inclusive).

Os alunos quando questionados em que tipo de escola cursaram o ensino fundamental, apenas 2,6% (1) estudou em escola particular, enquanto 97,4% (38) estudaram em escola pública.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção serão analisados e discutidos os dados coletados através de uma aplicação de um pré-teste e um pós-teste para 39 alunos de duas turmas do terceiro ano do Ensino Médio vespertino da Escola Estadual Ulisses Guimarães, sendo 17 alunos do 3° E e 22 do 3º F.

Por ter poucos dados para inferência, optou-se por agrupar os dados das duas turmas para analisarmos o pré-teste e o pós-teste de forma conjunta, trazendo uma estatística do desempenho das turmas em cada questão.

Os questionários foram aplicados através do *google forms* e fez-se uso do próprio site para gerar os gráficos, os quais serão analisados posteriormente.

5.1 Discussão sobre o que é Matéria

Após a aplicação do pré-teste deu-se início a uma discussão sobre o que é a matéria e de que ela é composta para identificação dos conhecimentos prévios dos alunos, pois para Ausubel essa discussão é necessária para organizar os conhecimentos prévios dos alunos, os quais servirão como um elo de ligação entre os conhecimentos empíricos e os conhecimentos que eles ainda necessitam aprender ou serem reforçados.

Em seguida perguntou-se aos alunos: "**O que queremos ver?**" Após essa pergunta foi apresentado aos alunos o *site* a "**Escala do Universo**[15]", assim, puderam fazer uma viagem do Macro ao Micro conhecendo mais sobre a matéria e sua estrutura. Percebeu-se que os alunos ficaram vislumbrados com o *site*, pois eles não imaginavam que havia um *site* para viajar na estrutura da matéria.

Após esse momento, os alunos responderam com as suas palavras as seguintes perguntas: "**O que é matéria?**"; "**O que constitui a matéria?**"; "**O que queremos ver?**". A seguir são citadas algumas perguntas e frases na íntegra que foram obtidas durante a aula:

- **O que é matéria?**

[15] Disponível em: https://htwins.net/scale2/

"é tudo que tem massa e ocupa lugar no espaço."

"matéria tem a ver com peso do corpo."

"pra mim é algo que se pode pesar."

- **O que é o átomo?**

"*é uma bolinha que não se divide."*

"é a menor parte da matéria."

"pra mim átomo não se destrói."

- **O que constitui a matéria?**

"*pra mim é o elétron que constitui a matéria."*

"a matéria tem moléculas."

"o átomo é a menor parte da matéria e o único que constitui tudo."

- **O que queremos ver?**

"*Acho que queria ver um átomo."*

"Eu queria ver todo o Universo."

Segundo os alunos, eles gostariam de ver como o Universo do início ao fim e como o Universo foi formado do "nada", pois na concepção deles não faz sentido algo surgir sem um "Criador". Eles Falaram "Criador no sentido de "Deus".

5.2 Apresentando os Modelos Atômicos

Logo após, como mostra na figura 28, iniciou-se a aula com a apresentação de slides sobre os principais Modelos Atômicos, desde do modelo grego (Demócrito) até o modelo de nuvem eletrônica (Schrödinger). Para uma melhor visualização do modelo atômico de Rutherford fez-se uso do simulador phet[16].

[16] Disponível em: https://phet.colorado.edu/en/simulation/rutherford-scattering.

Figura 28: Apresentando os Modelos atômicos.
Fonte: próprio autor, 2022.

Observou-se que a maioria dos alunos achavam que a menor parte da matéria é a molécula e o átomo era maior que a molécula.

Notou-se que os alunos tinham uma ideia de átomo de Dalton, o qual é uma esfera maciça, sem constituintes e indivisível.

5.3 Construções de Mapas Conceituais

Na aula seguinte foi proposto aos alunos que construíssem mapas conceituais sobre a evolução dos Modelos Atômicos, pois segundo Moreira (2011) tais atividades contribuem no reforço dos conhecimentos prévios dos alunos, tal que esses conhecimentos podem se tornar subsunçores.

Nessa atividade prática, os alunos puderam colocar no papel suas ideias, organizando cada conceito de forma que houvesse uma melhor compreensão de como a matéria é estruturada e organizada, já que a construção do mapa conceitual proposta aos alunos era sobre a evolução e conceitos dos modelos atômicos. Alguns mapas conceituais construídos pelos alunos encontram-se no **apêndice D**.

5.4 Modelo Padrão de Partículas Elementares e as Interações Fundamentais da Natureza

Essa aula começou com a apresentação de um vídeo[17] sobre o Modelo Padrão das Partículas Elementares, com duração de 15 minutos. A ideia de passar o vídeo foi de mostrar de forma introdutória os conceitos fundamentais sobre o Modelo Padrão e as interações fundamentais da Natureza que serviram para o estudo dessa temática.

Após esse momento, o professor ministrou aulas expositivas e dialogadas, usando artigos para leitura, como **O Discreto Charme das Partículas Elementares**[18] da autora Maria Cristina Batoni Abdalla.

Como mostra na figura 29, para apresentar as principais características das partículas elementares juntamente com as interações fundamentais usou-se os slides[19] para as aulas expositivas e dialogadas.

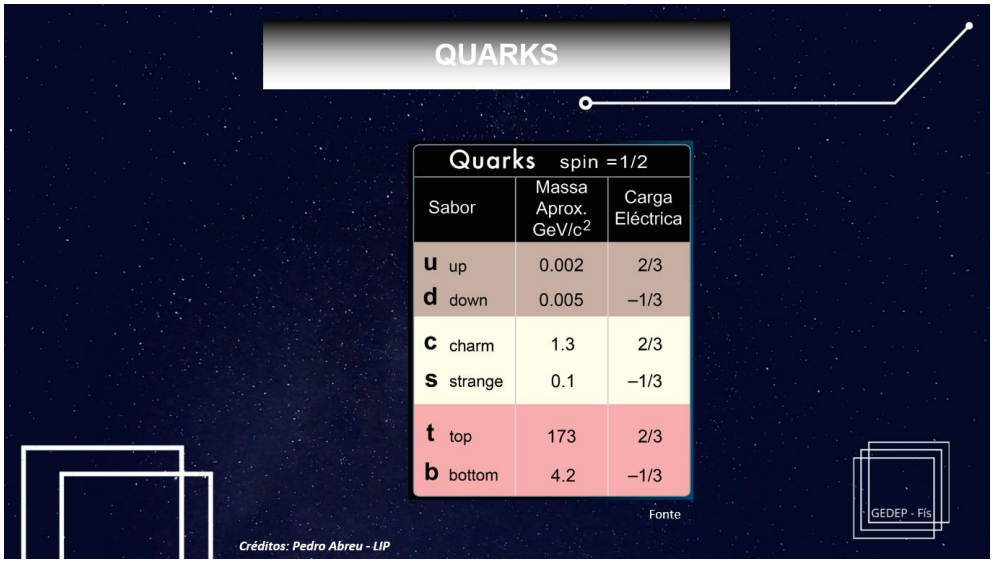


Figura 29: Os Quarks e suas principais características.
Fonte: GEDEP – Fis, 2022.

5.5 Visitando o Experimento ATLAS

Para que houvesse um elo entre os conhecimentos apresentados aos alunos durante as aulas expositivas e as experiências que ocorrem na Organização Europeia para a Pesquisa Nuclear (CERN) na área de Física de Partículas Elementares, no dia 27 de

[17] Disponível: https://www.youtube.com/watch?v=Nqi-bM90vfg.

[18] Disponível: http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol6/Num1/charme.pdf.

[19] Fazem parte do acervo do Grupo de Extensão, Divulgação, Ensino e Pesquisa em Física (GEDEP – Fís), o qual o autor faz parte.

abril de 2022 os alunos visitaram virtualmente, através do aplicativo *Zoom*, o Experimento ATLAS pertencente à Organização Europeia para a Pesquisa Nuclear (CERN), o qual se encontra em Genebra na Suíça.

A visita foi guiada pelo pesquisador Denis Oliveira Damazio que mostrou detalhes do experimento ATLAS, juntamente com a sala de controles e falou sobre várias curiosidades que ocorrem durante os experimentos que deixaram os discentes entusiasmados, principalmente quando souberam que há possibilidades de brasileiros trabalharem no CERN. Ao final da visita houve um tempo para que os discentes pudessem fazer perguntas ao pesquisador.

O professor organizador convidou o professor Mestre Marco Aurélio de Jesus que é professor de Física no IFRO, *Campus* Ji-Paraná, e fez-se presente com as suas turmas nesta visita.

Mais detalhes da visita virtual ao Experimento ATLAS, juntamente com a gravação estão disponíveis em: https://atlas.cern/discover/visit/virtual-visit/escola-estadual-ulisses-guimaraes e https://youtu.be/XoNiR04pq3o.

5.6 Jogando "Quem Sou Eu?" com as Partículas Elementares.

Para reforçar os conceitos passados durante as aulas, aplicou-se o jogo **"Quem Sou Eu?" com as Partículas Elementares**, o qual faz parte do produto educacional dessa dissertação.

Os jogos contribuem no processo de interação entre o conhecimento prévio e os conceitos científicos dos estudantes e assim, vão surgindo novos significados, funcionando também como estratégia na construção emancipadora e integradora desses conceitos, favorecendo ao aluno a aquisição de conhecimento em diversas dimensões.

Estas estratégias de ensino podem trabalhar os conflitos de ideias, problematizá-los, trazendo as ideias concebidas pelos alunos e objetivando ancorar outras informações a partir dessa discussão. Ressalta-se a importância de o professor auxiliar nesses conflitos de forma explícita, assim, contribuindo na construção e formação integral desse aluno (MARTINS, 2022).

Os jogos se destacam por ser tratar de uma atividade voluntária, em que a liberdade é explícita no prazer em brincar. Um outro ponto relevante é promover a imersão do jogador em dado momento. Outras características gerais são a tensão e a incerteza que se apresentam diante dos desafios e da vontade de vencer.

A aplicação do jogo serviu para reforçar os conceitos fundamentais sobre Física de Partículas Elementares e as interações fundamentais da natureza ministrados durante as aulas de forma lúdica. O jogo também serviu para que os alunos interagissem entre si, fortalecendo as relações interpessoais entre eles, como se observa na figura 30 a seguir.

Figura 30: Alunos jogando "Quem sou eu?" no modo avançado.
Fonte: Próprio autor, 2022.

5.7 Resultados dos Questionários Pré-Teste e Pós-Teste.

Nesta seção são apresentados os gráficos necessários para a análise das respostas obtidas nos questionários pré-teste e pós-teste. Os resultados servirão para averiguar indícios de assimilação dos conceitos ministrados durantes as aulas.

O pré-teste e o pós-teste juntamente com os gabaritos das questões estão disponíveis no **Apêndice B**.

5.7.1 Análise da 1ª Questão

Você já ouviu falar em Física de Partículas?

Com os dados mostrados no gráfico 1 pode-se observar que inicialmente 69,2% (27) dos alunos haviam ouvido falar sobre Física de Partículas.

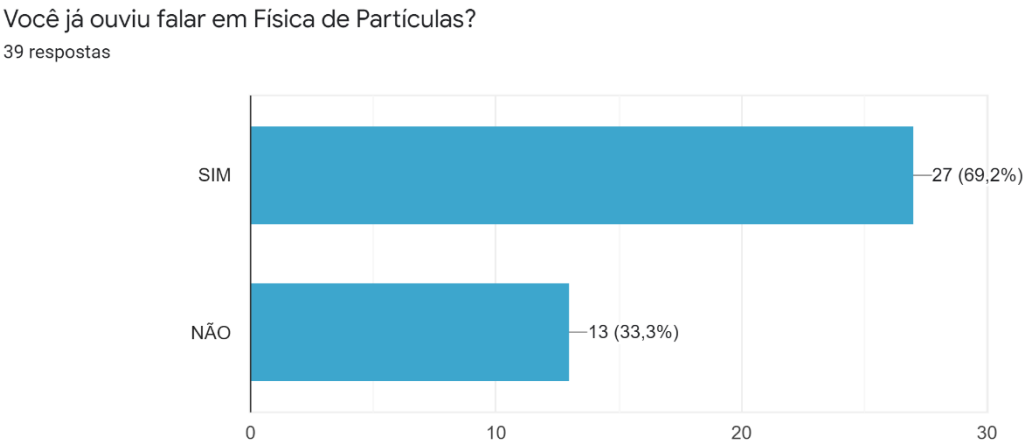


Gráfico 1: Resultado do questionário pré-teste sobre a 1ª questão.

Com os dados mostrados no gráfico 2 pode-se observar que esse número aumentou para 94,4% (37) após a aplicação do produto educacional.

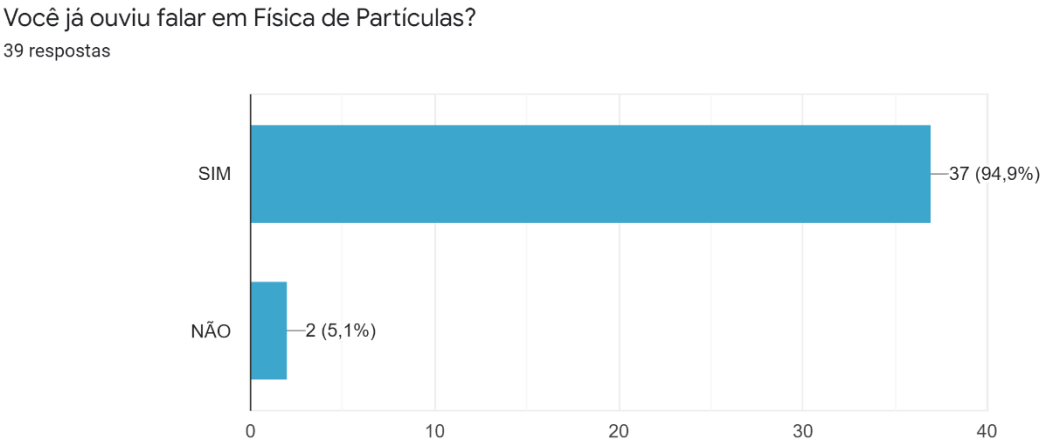


Gráfico 2: Resultado do questionário pós-teste sobre a 1ª questão.

5.7.2 Análise da 2ª Questão

Você conhece o Modelo Padrão das Partículas Elementares?

Com os dados mostrados no gráfico 3 pode-se observar que inicialmente apenas 20,5% (8) dos alunos conheciam o Modelo Padrão das Partículas Elementares enquanto 79,5% (31) dos alunos não conheciam. Esses dados mostram que há a necessidade de uma introdução do conteúdo de Física de Partículas Elementares no Ensino Médio.

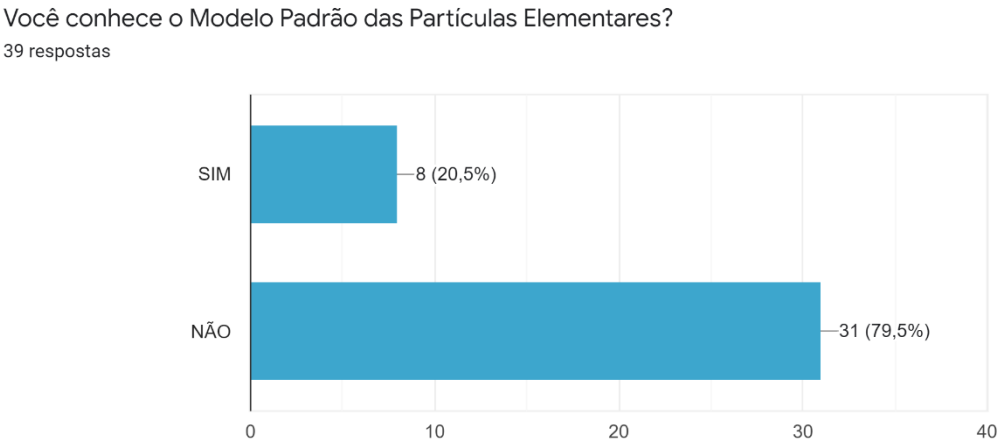


Gráfico 3: Resultado do questionário pré-teste sobre a 2ª questão.

Após a aplicação do produto educacional o número de alunos que respondeu que conheciam o Modelo Padrão de Partículas Elementares aumentou para 89,7% (35), tal resultado pode ser observado no gráfico 4.

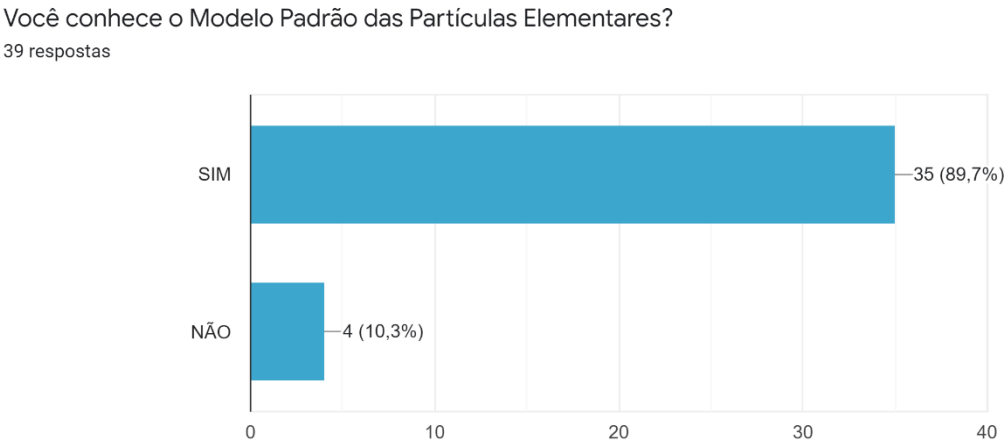


Gráfico 4: Resultado do questionário pós-teste sobre a 2ª questão.

5.7.3 Análise da 3ª Questão

Quais dessas partículas apresentadas abaixo você conhece ou já ouviu falar?

De acordo com gráfico 5 pode-se observar que a partícula mais conhecida pelos alunos eram: Elétron 97,4% (38); Prótons 92,3% e Nêutrons 87,2% (34), mostrando indícios de que a maioria dos alunos conheciam apenas a estrutura básica do átomo e não conheciam outras partículas, tais como: Múon, Tau e Strange.

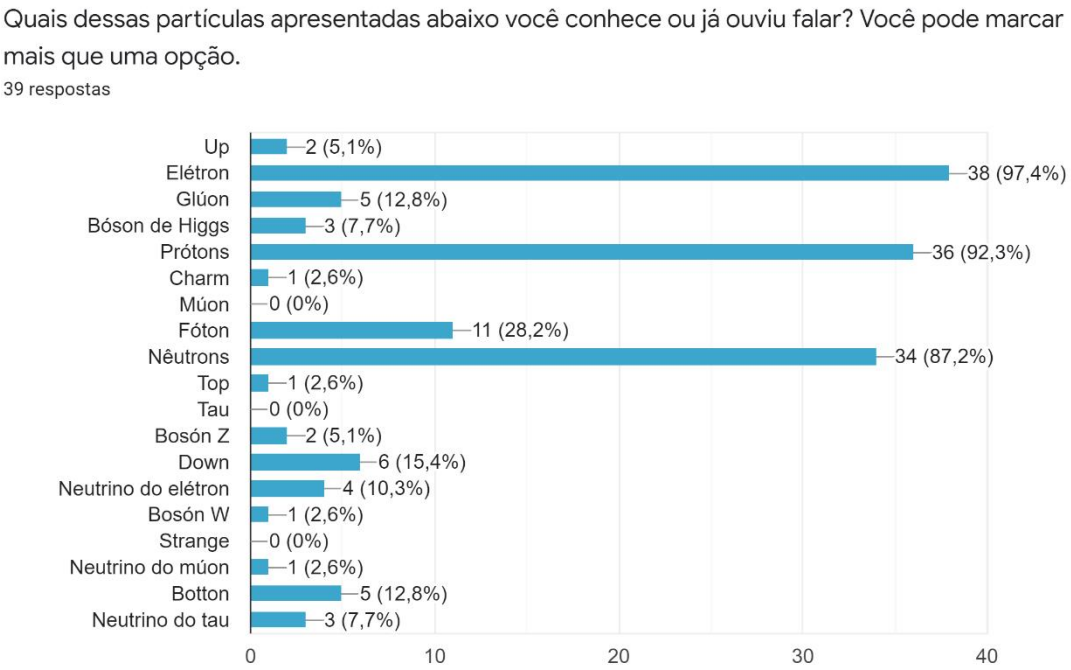


Gráfico 5: Resultado do questionário pré-teste sobre a 3ª questão.

Após a aplicação do produto educacional houve indícios de que os alunos passaram a conhecer mais partículas, como podemos observar no gráfico 6 a seguir.

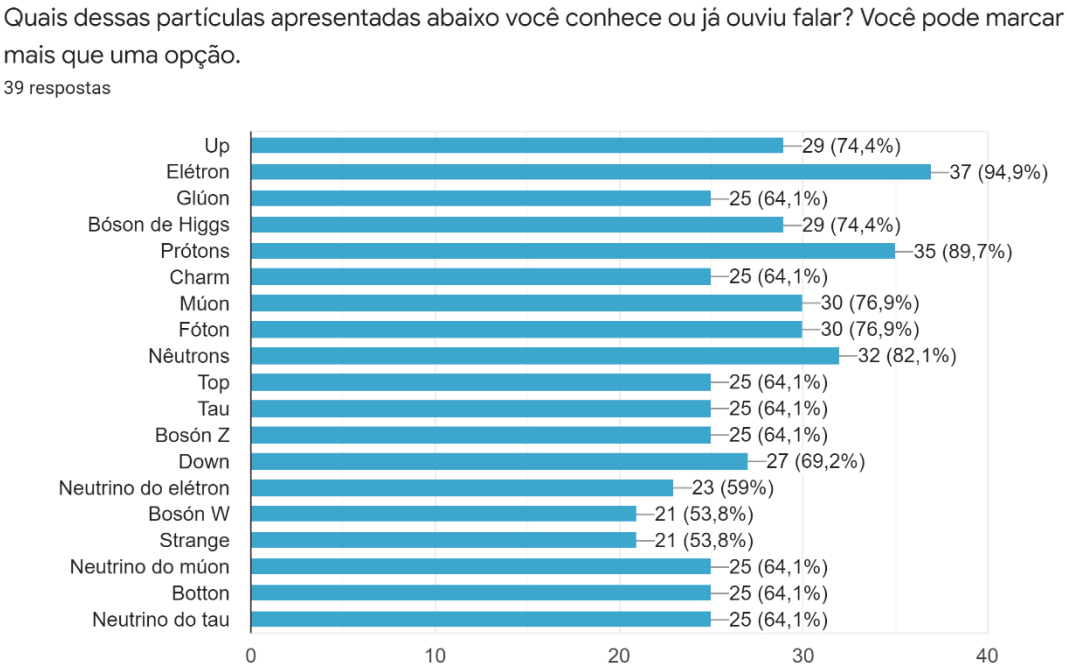


Gráfico 6: Resultado do questionário pós-teste sobre a 3ª questão

As partículas que antes não eram conhecidas, como: Múon, Tau e Strange, passaram a ser conhecidas, 76,9% (30); 64,1% (25) e 53,8% (21), respectivamente. E as

outras partículas que eram menos conhecidas, passaram a ser mais conhecidas pelos alunos.

5.7.4 Análise da 4ª Questão

Um átomo é composto apenas por:

Conforme pode-se observar com os dados do gráfico 7, que 89,7% (35) dos alunos tinham a concepção que um átomo era composto apenas por prótons, elétrons e nêutrons. Já 10,3% (4) dos alunos responderam que os átomos eram compostos apenas por partículas positivas e negativas e nenhum dos alunos responderam corretamente que um átomo é composto apenas por léptons e quarks.

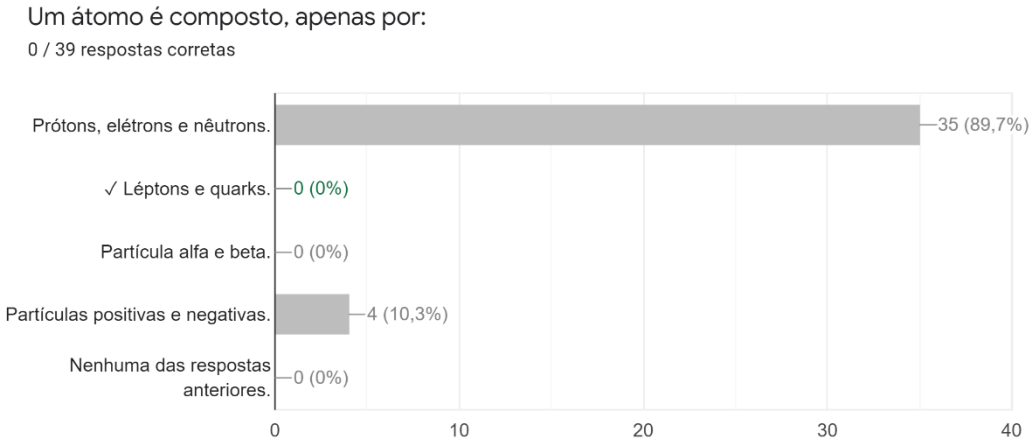


Gráfico 7: Resultado do questionário pré-teste sobre a 4ª questão.

Com a aplicação do produto educacional houve indícios de uma aprendizagem sobre as partículas fundamentais que compõem um átomo, como podemos observar no gráfico 8 a seguir.

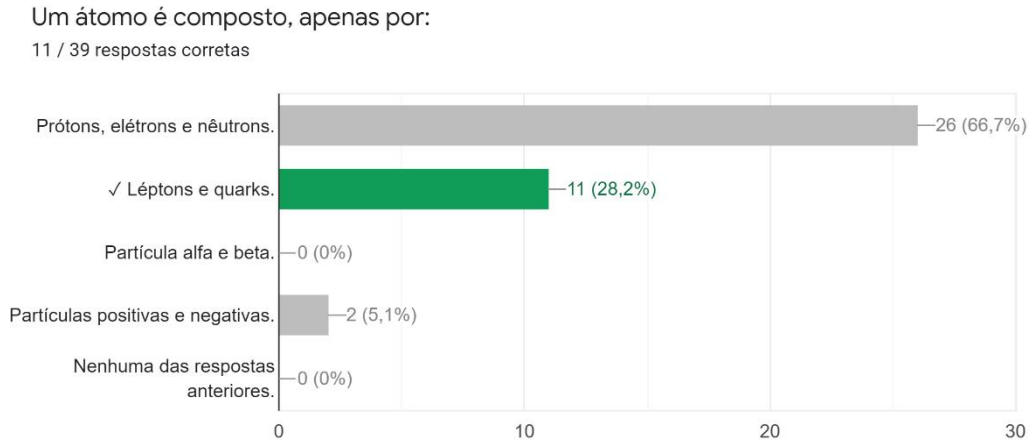


Gráfico 8: Resultado do questionário pós-teste sobre a 4ª questão.

Pode-se notar que após a aplicação do produto educacional 28,2% (11) dos alunos responderam corretamente à questão que antes nenhum aluno havia acertado. Também foi notória a diminuição no número de alunos que achavam que os átomos são compostos apenas por prótons, elétrons e nêutrons, pois antes havia um total de 89,7 % (35) e esse número caiu para 66,7 % (26). Já os 10,3 % (4) dos alunos que responderam que os átomos eram compostos apenas por partículas positivas e negativas caiu para 5,1 % (2). Assim houve indícios de que o produto educacional alcançou o objetivo de mostrar que a matéria vai muito além do átomo e que o mesmo é composto por Léptons e Quarks.

5.7.5 Análise da 5ª Questão

O modelo atômico mais atual é:

Conforme observou-se no gráfico 9 a maioria dos alunos 38,5% (15) acreditava que o modelo atômico mais atual é o de Rutherford; 23,1% (9) dos alunos achavam que o modelo atômico mais atual é o de Bohr; 17,9% (7) dos alunos responderam que o modelo de Thomson é o mais aceito atualmente. Já para 17,9% (7) dos alunos, o modelo Quântico é o mais aceito atualmente e 2,6% (1) dos alunos respondeu que nenhum dos modelos citados anteriormente é o mais aceito.

Os resultados obtidos com a aplicação do pré-teste talvez sejam esperados devido aos alunos estudarem modelos atômicos basicamente no Ensino Fundamental, em Ciências enfatiza os modelos de Dalton, Thomson, Rutherford e Borh, não comentando sobre o modelo atômico quântico da nuvem eletrônica.

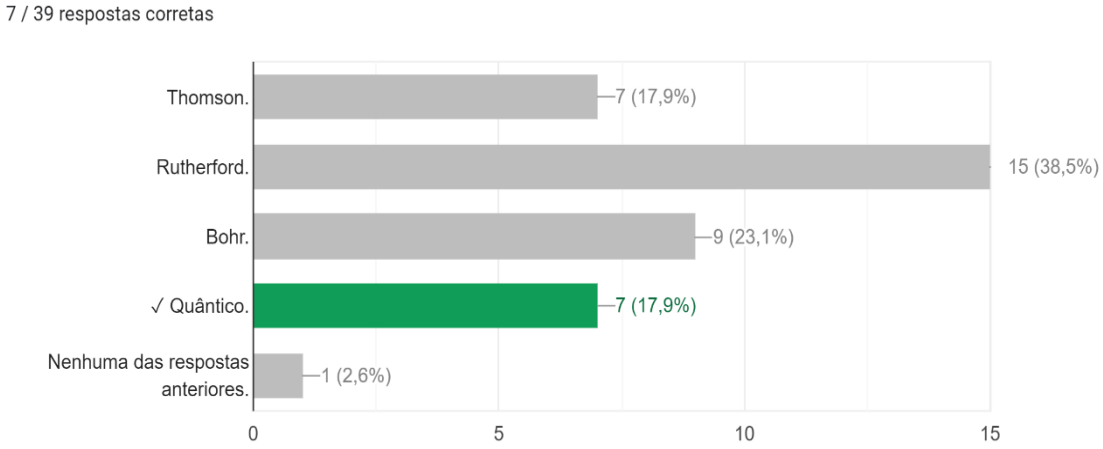


Gráfico 9: Resultado do questionário pré-teste sobre a 5ª questão.

Após a aplicação do produto educacional, no qual o professor fez uma aula expositiva e dialogada mostrando os principais modelos atômicos desde o átomo grego até o modelo quântico de nuvem eletrônica, juntamente com a confecção de mapas conceituais, pode-se perceber com os dados obtidos no pós-teste, os quais estão no gráfico 10, que o número de alunos que responderam que o modelo atômico quântico de nuvem eletrônico é o mais atual dobrou, pois antes era de 17,9% (7) e passou para 35,9% (14). Este resultado mostra indícios que houve assimilação do conteúdo utilizando o produto educacional.

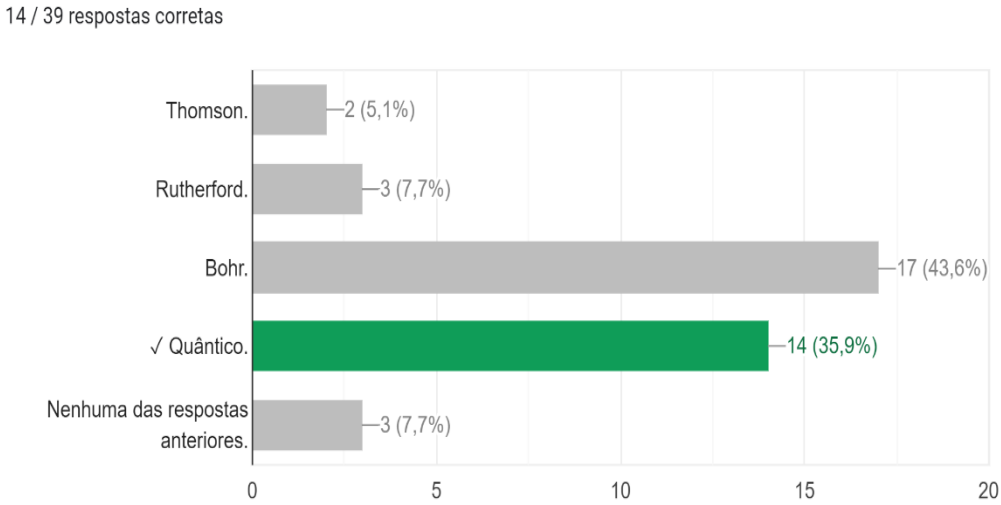


Gráfico 10: Resultado do questionário pós-teste sobre a 5ª questão.

5.7.6 Análise da 6ª Questão

O que é uma partícula elementar?

Os alunos quando questionados sobre o que é uma partícula elementar, 33,3% (13) responderam que é um átomo; para 25,6% (10) é um conjunto de elétrons; a mesma quantidade 25,6% (10) dos alunos responderam que é a menor porção da matéria conhecida; 12,8% (5) dos alunos responderam que é um conjunto de prótons e 2,6% (1) respondeu que uma partícula elementar não é nenhuma das respostas anteriores.

Talvez o motivo dos alunos pensarem que o átomo é uma partícula elementar, venha da ideia passada no ensino fundamental, na disciplina de Ciências. As respostas obtidas no pré-teste podem ser observadas no gráfico 11 a seguir.

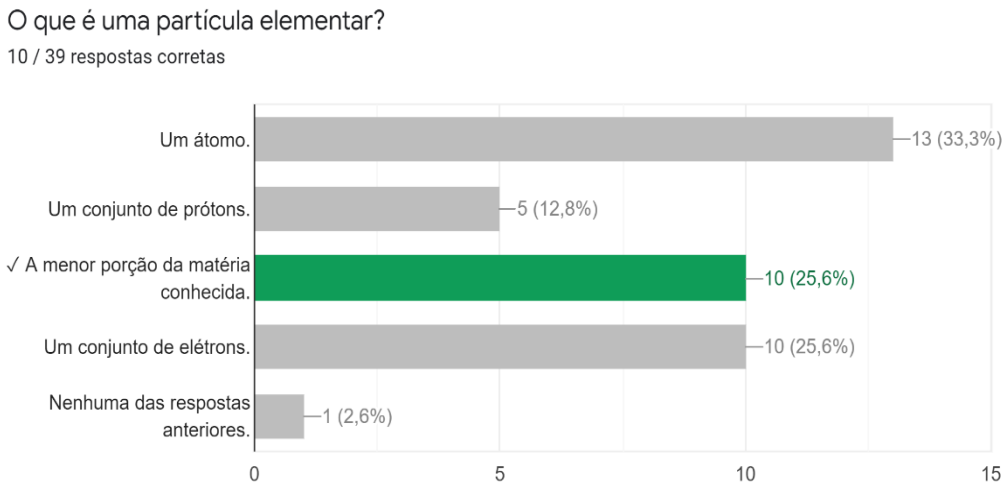


Gráfico 11: Resultado do questionário pré-teste sobre a 6ª questão.

Após a aplicação do produto educacional houve indícios de assimilação do conteúdo, como pode-se observar no gráfico 12, apesar do leve aumento no número de alunos de 2,6% (1) para 7,9% (3) que responderam que nenhuma das respostas anteriores era uma partícula elementar. Antes 33,3% (13) dos alunos responderam que um átomo é uma partícula elementar, mas depois da aplicação do produto educacional esse número reduziu para 5,3% (2). E os alunos que responderam que uma partícula elementar é a menor porção da matéria conhecida aumentou de 25,6% (10) para 78,9% (30), reduzindo também o número de alunos que acreditavam que um conjunto de elétrons e um conjunto de prótons são partículas elementares de 25,6% (10) para 5,3% (2) e 12,8% (5) para 2,6% (2), respectivamente.

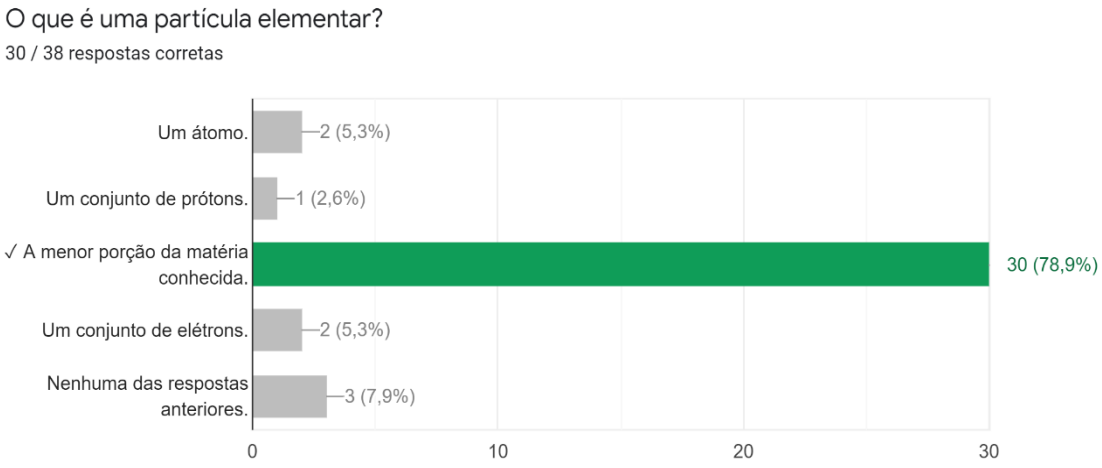


Gráfico 12: Resultado do questionário pós-teste sobre a 6ª questão.

5.7.7 Análise da 7ª Questão

Como são encontradas as partículas elementares?

Analisando os dados obtidos através do pré-teste (gráfico 13) percebe-se que 56,4% (22) dos alunos responderam que as partículas elementares são detectadas por meio de observação indireta com o auxílio de aceleradores de partículas, câmaras de bolhas, detectores de raios cósmicos, entre outros; 38,5% (15) dos alunos responderam que as partículas elementares são detectadas e observadas por meio do uso de microscópios; 2,6% (1) dos alunos respondeu que as partículas elementares são detectadas e observadas por meio de observações da natureza; nenhum dos alunos respondeu que as partículas elementares são detectadas e observadas utilizando telescópios espaciais e 2,6 % (1) dos alunos respondeu que as partículas elementares não são detectadas e observadas utilizando os métodos apresentados nas respostas anteriores.

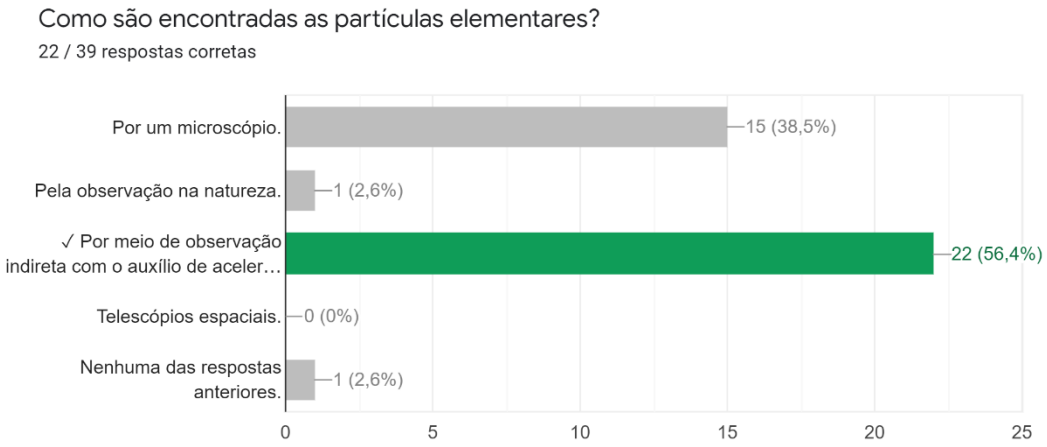


Gráfico 13: Resultado do questionário pré-teste sobre a 7ª questão.

Após a aplicação do produto educacional, juntamente com a visita virtual guiada ao experimento ATLAS realizado no CERN, localizado em Genebra na Suíça, pode-se perceber através do gráfico 14 uma melhora nas respostas dos alunos.

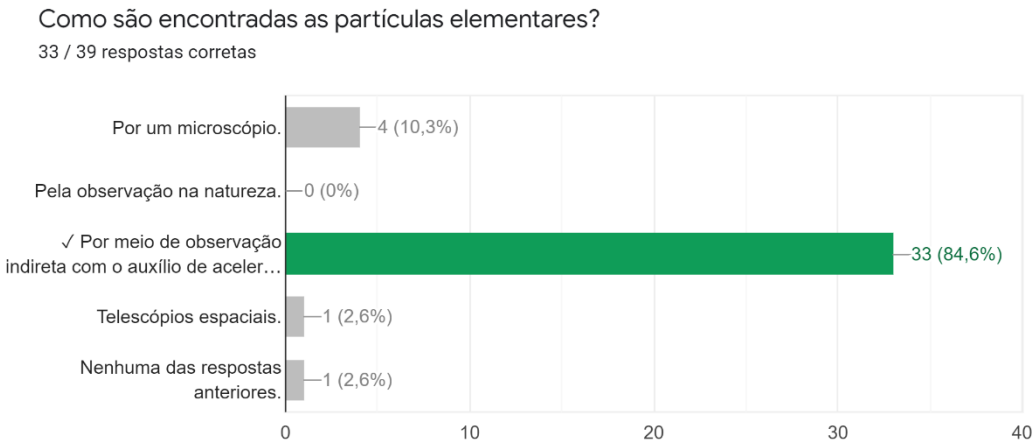


Gráfico 14: Resultado do questionário pós-teste sobre a 7ª questão.

O número de alunos que responderam que as partículas elementares são detectadas por meio de observação indireta com o auxílio de aceleradores de partículas, câmaras de bolhas, detectores de raios cósmicos, entre outros aumentou de 56,4% (22) para 84,6% (33); o número de alunos que responderam que as partículas elementares são detectadas e observadas por meio do uso de microscópios diminui de 38,5% (15) para 10,3% (4) e a mesma quantidade de alunos que havia respondido que as partículas elementares não são detectadas e observadas utilizando os métodos apresentados nas respostas anteriores, continuou o mesmo, ou seja, 2,6% (1).

5.7.8 Análise da 8ª Questão

Dê o melhor conceito para os prótons.

Analisando os dados obtidos através do pré-teste (gráfico 15) percebe-se que 56,4% (22) dos alunos responderam que os prótons são partículas elementares porque possuem carga elementar positiva; 30,8% (12) dos alunos responderam que os prótons são partículas elementares pois são constituintes dos átomos; 7,7% (3) dos alunos responderam que os prótons são partículas elementares porque são partículas indivisíveis; nenhum dos alunos respondeu que os prótons são partículas compostas por quarks e 5,1% (2) responderam que nenhuma das respostas anteriores conceitua bem o que são os prótons. Tais resultados podem ser explicados devido ao fato de os alunos não terem aprendido sobre os constituintes de um átomo no Ensino Fundamental na disciplina de Ciências.

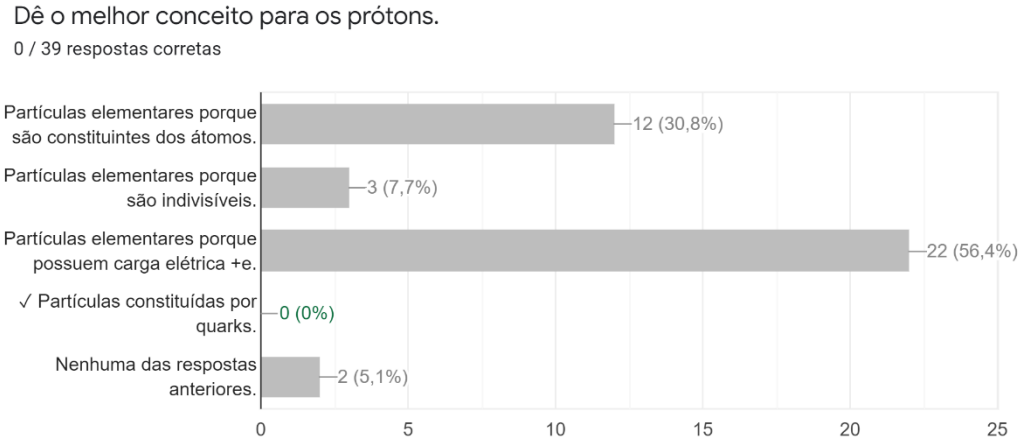


Gráfico 15: Resultado do questionário pré-teste sobre a 8ª questão.

Após a aplicação do produto educacional e a apresentação de aulas expositivas e dialogadas sobre o Modelo Padrão das Partículas Elementares houve indícios de

assimilação do conteúdo ministrado, como pode ser visto no gráfico 16, o qual apresenta os resultados obtidos na aplicação do pós-teste.

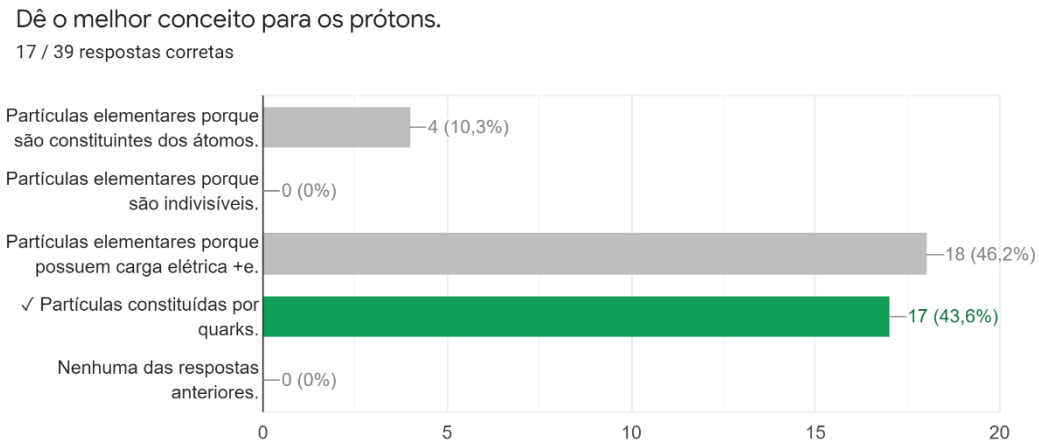


Gráfico 16: Resultado do questionário pós-teste sobre a 8ª questão.

De acordo com os dados do gráfico 16, houve um aumento significativo no número de alunos que responderam que os prótons são partículas compostas por quarks, uma vez que antes da aplicação do produto educacional, nenhum aluno tinha essa concepção do que seria um próton e após a aplicação do produto educacional o número de alunos que passaram a ter essa concepção de próton aumentou para 43,6% (17). A quantidade de alunos que responderam que os prótons são partículas elementares porque possuem carga elementar positiva diminuiu de 56,4 % (22) para 46,2 % (18); antes 7,7% (3) dos alunos responderam que os prótons são partículas elementares porque são partículas indivisíveis e após a aplicação do produto educacional, esse número caiu para zero; antes da aplicação do produto educacional 30,8% (12) dos alunos responderam que os prótons são partículas elementares pois são constituintes dos átomos, mas após a aplicação do produto educacional, esse número reduziu para 10,3% (4); dos 5,1% (2) que responderam que nenhuma das respostas anteriores conceitua bem o que são os prótons, após a aplicação do produto educacional esse número reduziu-se para zero.

5.7.9 Análise da 9ª Questão

O que são elétrons?

Os alunos quando questionados sobre o que seriam os elétrons, 53,8% (21) responderam que são partículas elementares porque eles possuem carga elementar negativa; 23,1% (9) dos alunos responderam que os elétrons são partículas elementares porque são constituintes dos átomos; 12,8% (5) responderam que os elétrons são

partículas elementares porque sua massa é muito pequena comparada com a do próton; 5,1% (2) responderam que os elétrons são partículas elementares porque são indivisíveis e 5,1% (2) responderam que nenhuma das alternativas anteriores definiam bem o que são os elétrons. Todos esses dados podem ser conferidos no gráfico 17.

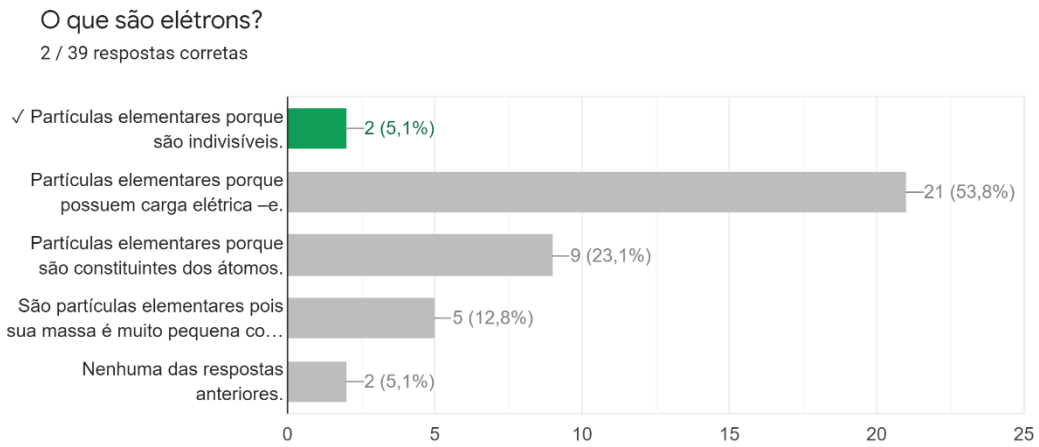


Gráfico 17: Resultado do questionário pré-teste sobre a 9ª questão.

Após a aplicação do produto educacional e das aulas expositivas dialogadas, houve indícios de assimilação do conteúdo ministrado, apesar do número de alunos que responderam que os elétrons são partículas elementares porque eles possuem carga elementar negativa e esse número se manteve em 53,8% (21), isso pode ser devido ao fato de que os alunos ainda tenham o conceito de elétrons que foram passados pelo professor de Ciências no Ensino Fundamental, o qual define um elétron com uma partícula elementar com carga negativa e para reformular esse conceito é necessário um tempo maior para o amadurecimento científico do aluno. Já dos 23,1% (9) que responderam que os elétrons são partículas elementares porque são constituintes dos átomos diminuiu para 2,6% (1); dos 12,8% (5) que responderam que os elétrons são partículas elementares porque sua massa é muito pequena comparada com a do próton diminuiu para 5,1% (2); dos 5,1% (2) que responderam que os elétrons são partículas elementares porque são indivisíveis aumentou para 30,8% (12) e dos 5,1% (2) que responderam que nenhuma das alternativas anteriores definiam bem o que são os elétrons houve um aumento para 7,7% (3). A mudanças nesses dados podem ser devido às aulas expositivas e dialogadas que foram ministradas, nessas aulas foram apresentadas as partículas elementares que compõem a matéria. Todos esses dados podem ser conferidos no gráfico 18.

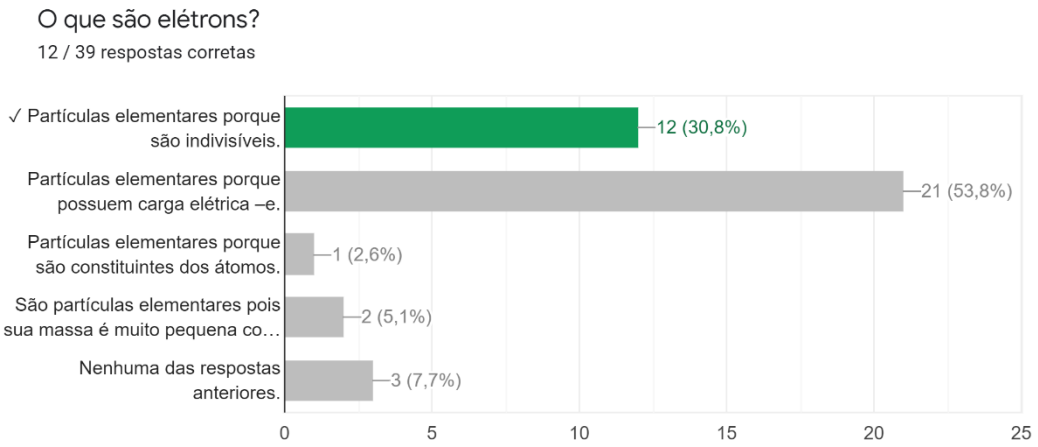


Gráfico 18: Resultado do questionário pós-teste sobre a 9ª questão.

5.7.10 Análise da 10ª Questão

Qual a melhor definição para nêutrons?

Analisando os dados obtidos através do pré-teste (gráfico 19) percebe-se que 61,5% (24) dos alunos responderam que os nêutrons são partículas elementares pois sua carga é zero; 15,4% (6) dos alunos responderam que os nêutrons são partículas elementares porque sua massa é aproximadamente a mesma dos prótons; 12,8% (5) dos alunos responderam que os nêutrons são partículas elementares porque são indivisíveis; 2,6% (1) dos alunos responderam que os nêutrons são partículas elementares compostas por quarks e 7,7% (3) dos alunos responderam que as questões anteriores não definem bem o que são os nêutrons.

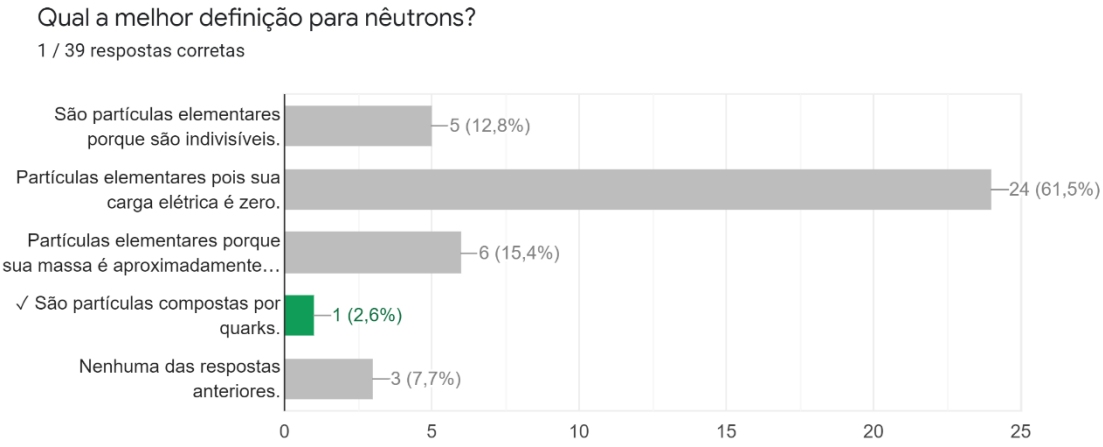


Gráfico 19: Resultado do questionário pré-teste sobre a 10ª questão.

Após a aplicação do produto educacional e a apresentação de aulas expositivas e dialogadas sobre o Modelo Padrão das Partículas Elementares houve indicadores de

assimilação do conteúdo ministrado, como pode ser visto no gráfico 20, o qual apresenta os resultados obtidos na aplicação do pós-teste.

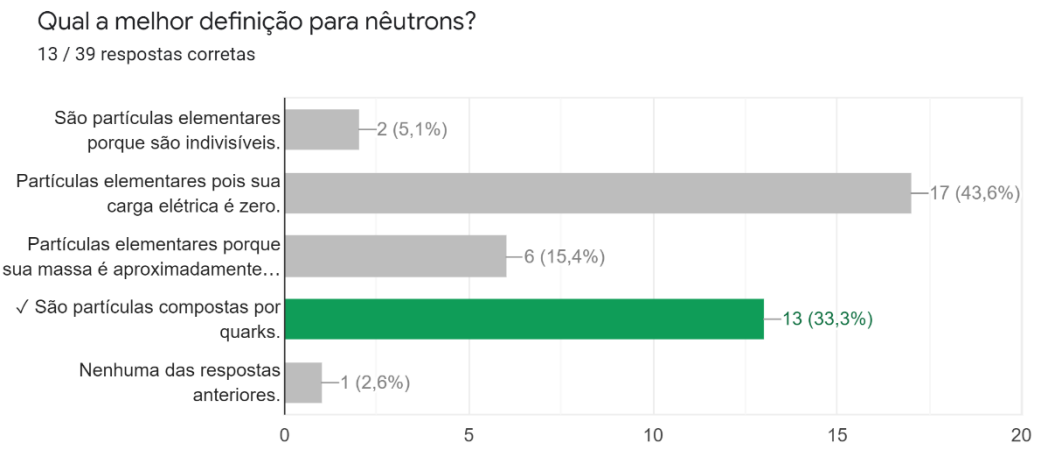


Gráfico 20: Resultado do questionário pós-teste sobre a 10ª questão.

Percebe-se que dos 61,5% (24) dos alunos que haviam respondido que os nêutrons são partículas elementares pois sua carga é zero, diminuiu para 43,6% (17) mesmo com a aplicação do produto educacional, uma grande parte dos alunos ainda tem a ideia construída que o nêutron é uma partícula elementar pois sua carga elétrica é zero, isso pode ser devido ao professor de Ciência no Ensino Fundamental construir a ideia de que nêutron é uma partícula sem carga, a mesma ideia é reforçada pelos professores de Química no primeiro ano do Ensino Médio e com isso é necessário um tempo maior para que os alunos amadureçam os conceitos de carga elétrica líquida e a assimilem o que são os Quarks; dos 15,4% (6) que responderam que os nêutrons são partículas elementares porque sua massa é aproximadamente a mesma dos prótons, permaneceu na mesma quantidade; dos 12,8% (5) alunos que responderam que os nêutrons são partículas elementares porque são indivisíveis reduziu para 5,1% (2); dos 2,6% (1) alunos que responderam que os nêutrons são partículas elementares compostas por quarks aumentou para 33,3% (13). Uma possível explicação para esse aumento foram as aulas expositivas e dialogadas, as quais mostraram que há partículas elementares (quarks) que compõem os nêutrons. E dos 7,7% (3) que responderam que as questões anteriores não definem bem o que são os nêutrons, diminuiu para 2,6% (1).

5.7.11 Análise da 11ª Questão

Qual(quais) é(são) a(s) partícula(s) elementar(es) de acordo com o Modelo Padrão?

Analisando os dados obtidos através do pré-teste, os quais estão apresentados no gráfico 21, notou-se que 66,7% (26) dos alunos responderam que as partículas que compõem o Modelo Padrão são prótons, elétrons e nêutrons; 15,4% (6) responderam que apenas os elétrons compõem o Modelo Padrão; 12,8% (5) dos alunos responderam que Léptons e Quarks são as Partículas do Modelo Padrão; nenhum dos alunos respondeu que os Fótons são Partículas Elementares do Modelo Padrão e 5,1% (2) responderam que nenhuma das partículas citadas anteriores compõem o Modelo Padrão.

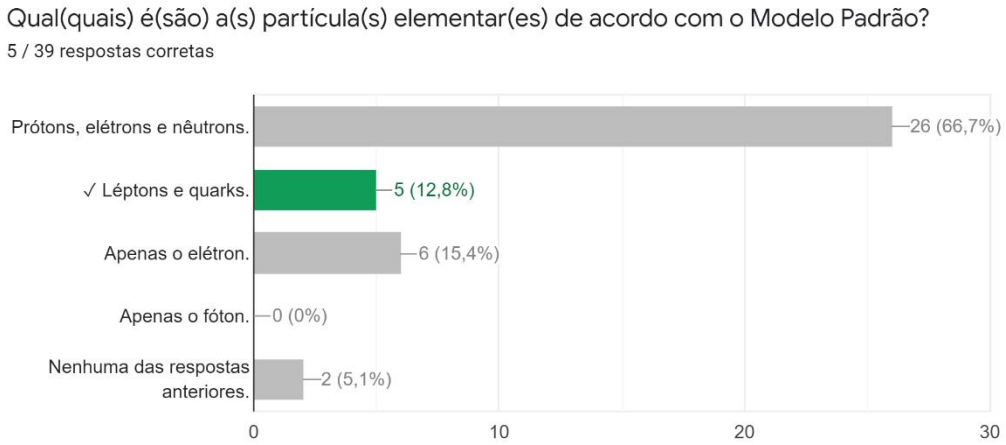


Gráfico 21: Resultado do questionário pré-teste sobre a 11ª questão.

Após a aplicação do produto educacional e a apresentação de aulas expositivas e dialogadas sobre o Modelo Padrão das Partículas Elementares, indicadores apontam que houve assimilação do conteúdo ministrado, como pode ser visto no gráfico 22, o qual apresenta os resultados obtidos na aplicação do pós-teste.

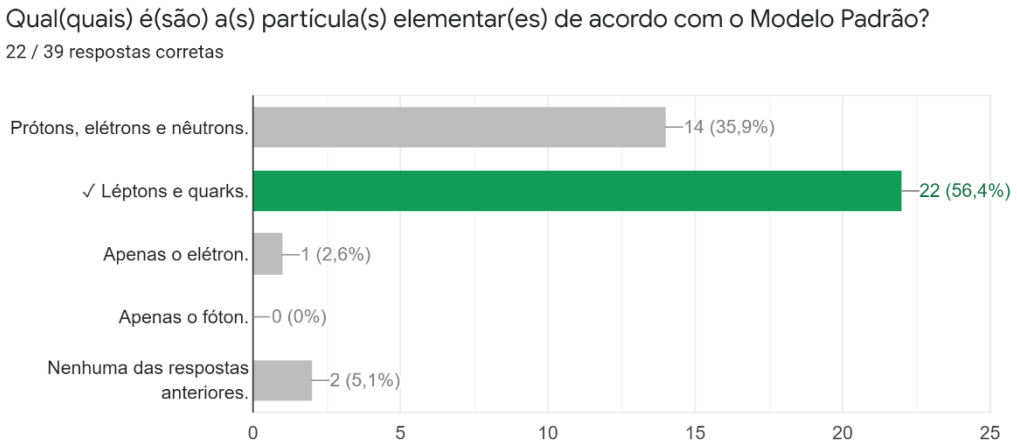


Gráfico 22: Resultado do questionário pós-teste sobre a 11ª questão.

Notou-se que 66,7% (26) dos alunos que responderam que as partículas que compõem o Modelo Padrão são prótons, elétrons e nêutrons diminuiu para 35,9% (14); dos 15,4% (6) que responderam que apenas os elétrons compõem o Modelo Padrão

diminuiu para 2,6% (1); dos 12,8% (5) dos alunos que responderam que Léptons e Quarks são as Partículas do Modelo Padrão, aumentou significativamente de 12,8% (5) para 56,4% (22). De forma semelhante como antes da aplicação do produto educacional nenhum dos alunos respondeu que os Fótons são Partículas Elementares do Modelo Padrão e dos 5,1% (2) que responderam que nenhuma das partículas citadas anteriores compõem o Modelo Padrão antes da aplicação do produto educacional manteve-se o mesmo após a aplicação do produto educacional.

5.7.12 Análise da 12ª Questão

O que é um Quark?

Quando os alunos foram questionados o que seriam os Quarks obteve-se os seguintes dados que são apresentados no gráfico 23.

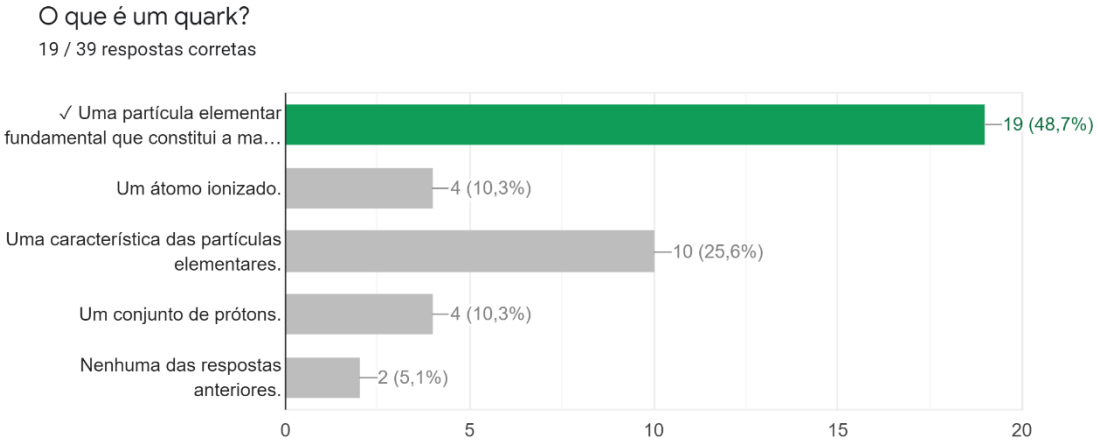


Gráfico 23: Resultado do questionário pré-teste sobre a 12ª questão.

Notou-se que 48,7 % (19) responderam que os quarks são partículas elementares fundamentais que constitui a matéria; 25,6% (10) responderam que os quarks são uma característica das partículas elementares; 10,3% (4) responderam que os quarks são átomos ionizados; 10,3 % (4) responderam que os quarks são um conjunto de prótons e 5,1% (2) responderam que nenhuma das alternativas anteriores definem o que seria um quark.

Após a aplicação do produto educacional e a apresentação de aulas expositivas e dialogadas sobre o Modelo Padrão das Partículas Elementares notou-se uma evolução significativa na aprendizagem dos alunos, como pode ser visto no gráfico 24, o qual apresenta os resultados obtidos na aplicação do pós-teste.

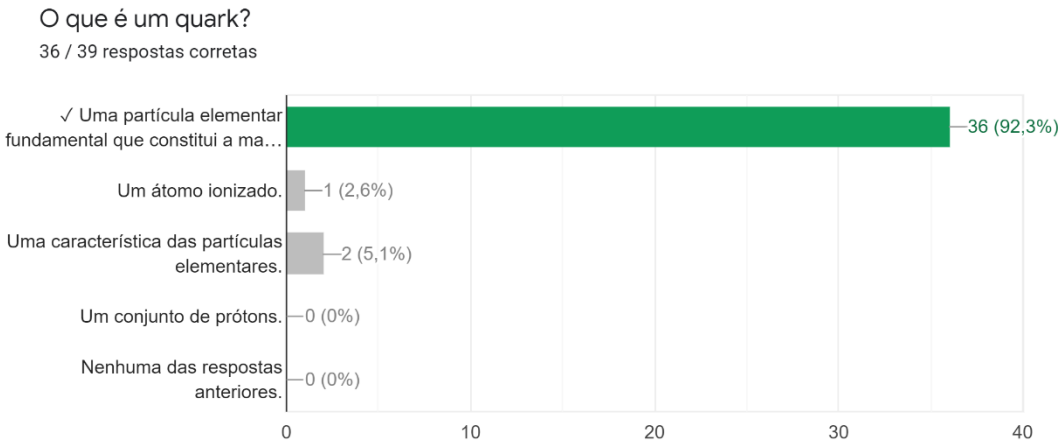


Gráfico 24: Resultado do questionário pós-teste sobre a 12ª questão.

Com os dados do gráfico 24 notou-se que dos 48,7% (19) dos alunos que responderam que os quarks são partículas elementares fundamentais que constituem a matéria, houve um aumento significativo para 92,3% (36); dos 25,6% (10) que haviam respondido que os quarks são uma característica das partículas elementares diminuiu para 5,1% (2); dos 10,3% (4) que responderam que os quarks são átomos ionizados diminuiu para 2,6% (1); dos 10,3% (4) que haviam respondido que os quarks são um conjunto de prótons reduziu-se para zero e dos 5,1% (2) que responderam que nenhuma das alternativas anteriores definem o que seria um quark também se reduziu a zero.

5.7.13 Análise da 13ª Questão

O que é um Lépton?

Quando os alunos foram questionados sobre o que seriam os léptons, obteve-se os seguintes dados que são apresentados no gráfico 25.

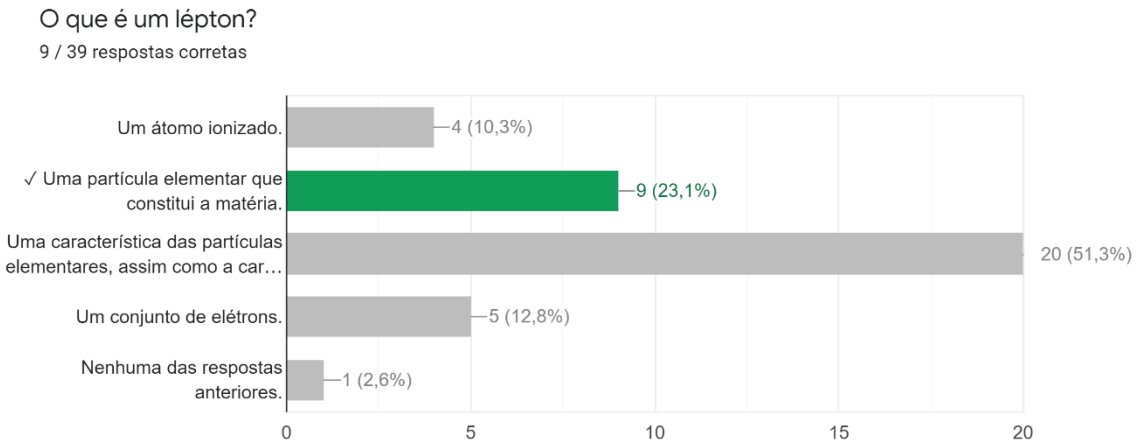


Gráfico 25: Resultado do questionário pré-teste sobre a 13ª questão.

Notou-se que 51,3 % (20) dos alunos responderam que os léptons são uma característica das partículas elementares, assim como a carga elétrica; 23,1 % (9) dos alunos responderam que os léptons são partículas elementares que constituem a matéria; 12,8% (5) responderam que os léptons são um conjunto de elétrons; 10,3 % (4) responderam que os léptons são átomos ionizados e 2,6 % (1) respondeu que nenhuma das alternativas anteriores definem o que seria um lépton.

Com a aplicação do produto educacional e a apresentação de aulas expositivas e dialogadas sobre o Modelo Padrão das Partículas Elementares surgiram indícios de que houve uma evolução na aprendizagem dos alunos que refletiu na assimilação do conteúdo ministrado, como pode ser visto no gráfico 26, que contêm os resultados obtidos na aplicação do pós-teste.

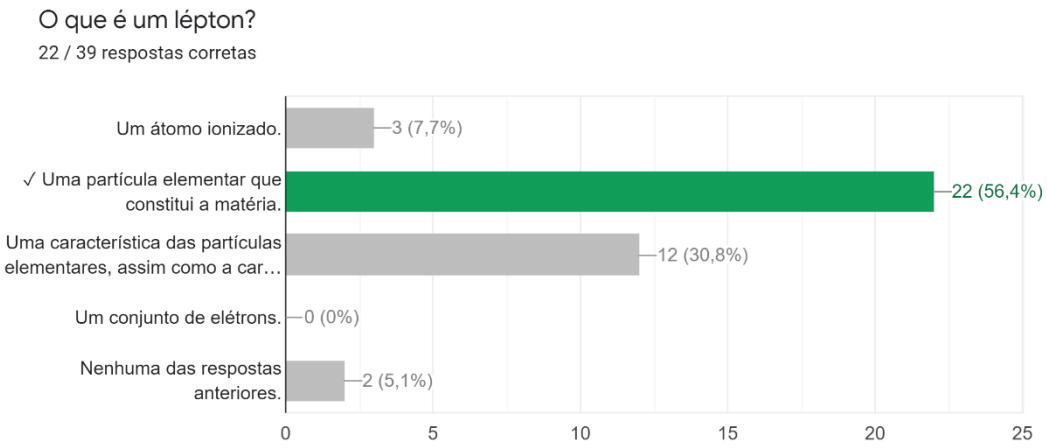


Gráfico 26: Resultado do questionário pós-teste sobre a 13ª questão.

Analisando os dados do gráfico 26, observou-se que 51,3 % (20) dos alunos que haviam respondido que os léptons são uma característica das partículas elementares, assim como a carga elétrica diminuiu para 30,8 % (12); dos 23,1 % (9) que responderam que os léptons são partículas elementares que constituem a matéria, aumentou para 56,4 % (22); dos 12,8% (5) que responderam que os léptons são um conjunto de elétrons, foi reduzido para zero; dos 10,3 % (4) que responderam que os léptons são átomos ionizados, diminuiu para 7,7 % (3) e dos 2,6 % (1) respondeu que nenhuma das alternativas anteriores definem o que seria um lépton aumentou para 5,1 % (2).

5.7.14 Análise da 14ª Questão

O que são Antipartículas?

Quando os alunos foram questionados o que seriam as Antipartículas obteve-se os seguintes dados que são apresentados no gráfico 27.

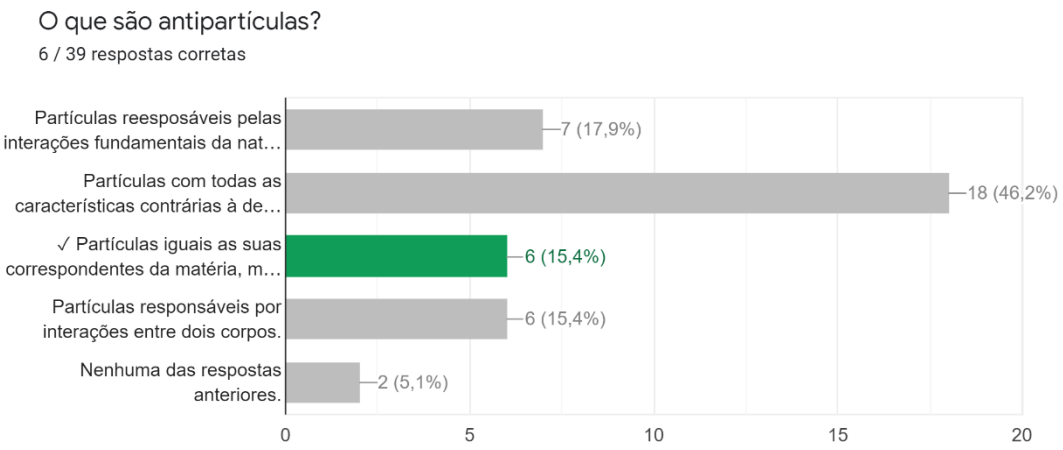


Gráfico 27: Resultado do questionário pré-teste sobre a 14ª questão.

Notou-se que 46,2% (18) dos alunos responderam que as antipartículas são partículas com todas as características contrárias a de sua correspondente na matéria; 17,9% (7) dos alunos responderam que as antipartículas são partículas responsáveis pelas interações fundamentais da natureza; 15,4% (6) responderam que as antipartículas são partículas responsáveis por interações entre dois corpos; 15,4% (6) responderam que as antipartículas são partículas iguais às suas correspondentes da matéria, mas com carga elétrica oposta e 5,1% (2) respondeu que nenhuma das alternativas anteriores definem o que são antipartículas.

Após a aplicação do produto educacional e a apresentação de aulas expositivas e dialogadas sobre o Modelo Padrão das Partículas Elementares notou-se indícios que houve uma evolução na aprendizagem dos alunos que refletiu na assimilação do conteúdo ministrado, como pode ser visto no gráfico 28, que contêm os resultados obtidos na aplicação do pós-teste.

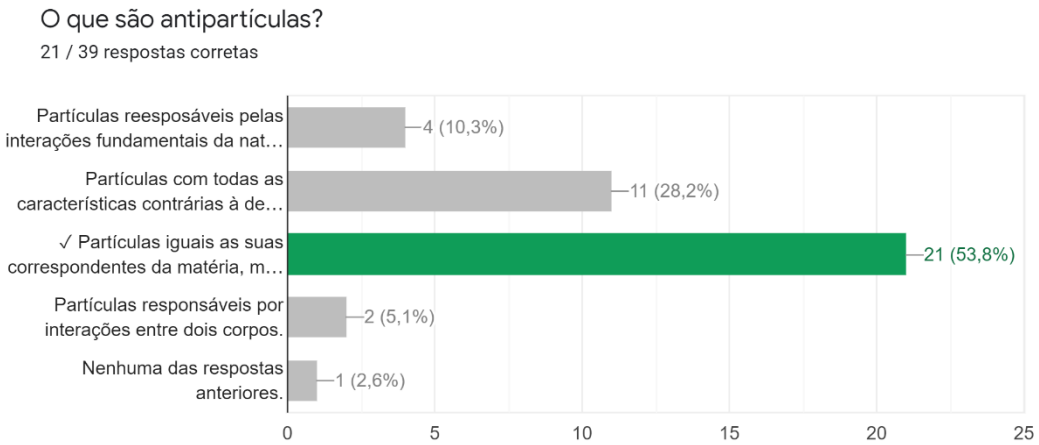


Gráfico 28: Resultado do questionário pós-teste sobre a 14ª questão.

Analisando os dados do gráfico 29 observamos que dos 46,2% (18) dos alunos que responderam que as antipartículas são partículas com todas as características contrárias a de sua correspondente na matéria, houve uma redução para 28,2% (11); dos 17,9% (7) que responderam que as antipartículas são partículas responsáveis pelas interações fundamentais da natureza, diminuiu para 10,3% (4); dos 15,4% (6) que haviam respondido que as antipartículas são partículas responsáveis por interações entre dois corpos, diminuiu para 5,1% (2); dos 15,4% (6) que haviam respondido que as antipartículas são partículas iguais às suas correspondentes da matéria, mas com carga elétrica oposta, teve um aumento significativo para 53,8% (21) e dos 5,1% (2) que haviam respondido que nenhuma das alternativas anteriores definem o que são antipartículas teve uma redução para 2,6 % (1).

5.7.15 Análise da evolução dos Alunos

Podemos observar no gráfico 29 que no pré-teste houve um mediano (média) 2,08 de acertos das 12 questões objetivas e uma mediana de 2 acertos das 12 questões objetivas.

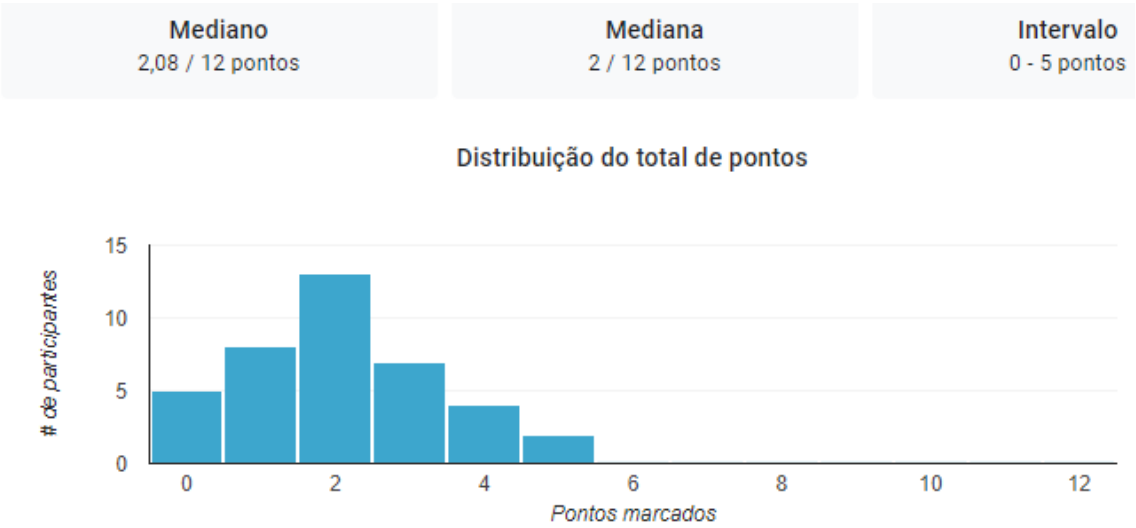


Gráfico 29: Número de acertos no pré-teste.

Como pode ser visto no gráfico 30, o qual mostra um mediano (média) 6,41 de acertos das 12 questões objetivas e uma mediana de 5 acertos das 12 questões objetivas evidenciando a progressão no conhecimento científico desses alunos, se comparados ao pré-teste.

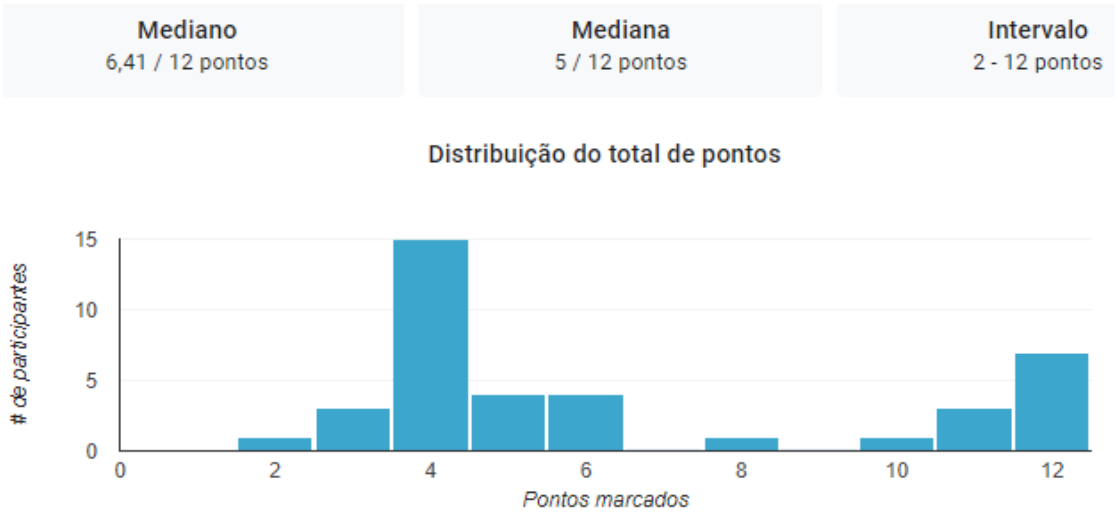


Gráfico 30: Número de acertos no pós-teste.

Por muitas vezes foi usado o termo "**Assimilação**" no decorrer das análises de dados, no entanto, o mesmo não foi empregado como é usado na metodologia tradicional, no sentido de que os discentes sejam meros receptores de conhecimentos, uma tábula rasa, mas sim no sentido mais amplo da palavra, uma vez que os discentes já têm seus conhecimentos prévios, os quais são valorizados no momento da análise.

6 CONCLUSÃO

Esta pesquisa teve como objetivos elaborar, aplicar e avaliar a eficácia de uma sequência didática baseada nos Três Momentos Pedagógicos e na Teoria da Aprendizagem Significativa. Através da TLS almejava-se utilizar estratégias de aprendizagem significativa no ensino de Física de Partículas Elementares. Bem como proporcionar aos alunos meios de identificar as partículas elementares do Modelo Padrão, possibilitando novas formas de entender as estruturas subatômicas e como são formadas estruturas maiores (não elementares). Por fim reconhecer quarks, léptons e bósons.

No intuito de introduzir de forma lúdica o conteúdo de Física de Partículas Elementares no Ensino Médio, este produto educacional visou oferecer situações de aprendizagem nas quais os 39 alunos de duas turmas do terceiro ano do Ensino Médio vespertino da Escola Estadual Ulisses Guimarães puderam atuar como autores do seu próprio conhecimento.

Além disso, tentou-se mostrar que a estrutura da matéria vai muito além do átomo, fazendo com que os alunos pudessem ter a oportunidade de conhecer algumas das principais Partículas Elementares que compõem o Modelo Padrão.

Fazer um levantamento do conhecimento prévio dos alunos foi algo necessário e complicado, por se tratar de um assunto complexo, o qual não é apresentado no Ensino Médio. Foi levado também em consideração que os alunos não têm modelos mentais sólidos da composição da matéria e, por muitas vezes acham que o átomo é a menor parte da matéria.

Através da aplicação do pré-teste foi proporcionado meios para que houvesse estratégias necessárias para o desenvolvimento de um material potencialmente significativo e que as discussões, reflexões, as construções dos mapas conceituais e a visita virtual ao CERN oportunizaram aos estudantes expressar seus conhecimentos já existentes sobre o conteúdo de Física de Partículas Elementares. Assim, fez-se uso de algumas ferramentas que se mostraram facilitadoras do complexo processo ensino-aprendizagem quando comparadas às análises no início, durante e no final da pesquisa.

Uma das estratégias utilizadas foi a construção de mapas conceituais sobre os Modelos Atômicos, os quais serviram para dar uma ideia inicial de como os alunos imaginavam como era um átomo. Outra estratégia utilizada foi o uso de simuladores para visualização da construção dos modelos atômicos.

Os dados do pré-teste mostraram que apesar de grande parte dos alunos já terem ouvido falar sobre Física de Partículas Elementares, não sabiam do que se tratava o Modelo Padrão das Partículas Elementares e para eles o modelo atômico mais aceito atualmente é o modelo de Rutherford. Entretanto, foi constatado no pós-teste que a maioria dos alunos conseguiram assimilar os conceitos que foram apresentados durante as aulas expositivas e dialogadas sobre os modelos atômicos.

Acredita-se que diferentes métodos podem contribuir para o aluno desmistificar que a Física é um assunto complexo, principalmente a Física de Partículas Elementares e que este conteúdo pode ser introduzido no Ensino Médio.

Considerando alguns aspectos tais como se tratar de um instrumento didático lúdico que pode ser reproduzido com facilidade, a estrutura das escolas públicas, um assunto que não é comumente visto no Ensino Médio e o baixo número de aulas semanais, os resultados obtidos pelos estudantes no pós-teste mostraram indícios de evolução na compreensão dos conceitos da estrutura da matéria.

Portanto, com a coleta desses dados, há indícios de que a motivação de aprendizagem necessária foi obtida, pois apesar dos poucos dados e pouca repetição do experimento, os alunos tiveram participação ativa, atingindo um nível satisfatório de compreensão dos conceitos durante essa pesquisa.

Além disso, os dados coletados após a aplicação da TLS mostraram indícios que os objetivos iniciais tais como: identificar as partículas elementares do modelo padrão; entender as estruturas subatômicas e como são formadas estruturas maiores (não elementares); reconhecer quarks, léptons e bósons foram alcançados.

Mas para que haja uma melhor avaliação no resultado do produto educacional, há necessidade de que ele seja aplicado em diferentes turmas, em diferentes turnos de diferentes escolas e com um número maior de estudantes, assim tendo um quantitativo maior de dados.

Acredito que os resultados obtidos me fizeram refletir sobre a metodologia tradicional que trabalhava desde 2015, na qual os estudantes tinham dificuldades para se adaptarem, resultando em notas baixas na maioria das turmas. Agora vejo que possivelmente as causas das deficiências no aprendizado dos estudantes se devem à metodologia tradicional da qual eu fazia uso, na qual os alunos “aprendiam” de forma mecânica e não faziam um elo entre os fenômenos estudados e as situações vivenciadas

no dia a dia. Espero que o desenvolvimento dessa sequência didática de forma dinâmica, dialógica e com o uso de materiais lúdicos possa vir a concatenar o complexo processo de ensino aprendizagem com o cotidiano do aluno em outras realidades escolares, levando os estudantes à oportunidade de situações para que haja uma aprendizagem em que os alunos possam atuar como autores do seu próprio conhecimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDALLA, M. C. B. **O discreto charme das Partículas Elementares.** São Paulo: Editora UNESP, 2016.

ALBUQUERQUE, K. B.; DOS SANTOS, P. J. S.; FERREIRA, G. K. Os Três Momentos Pedagógicos como metodologia para o ensino de Óptica no Ensino Médio: o que é necessário para enxergarmos? **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 32, n. 2, p. 461-482, 2015.

ALVES, L.; BIANCHIN, M. A. O jogo como recurso de aprendizagem. **Revista Psicopedagogia**, v. 27, n. 83, p. 282-287, 2010.

AUSUBEL, D. P; NOVAK, J; HANESIAN, H. **Psicologia educacional**. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.

AUSUBEL, D. P. **The Acquisition and Retention of Knowledge:** A Cognitive View. 1. Ed. New York: Springer Science + Business Media Dordrecht, 2000.

BALTHAZAR, W. F.; OLIVEIRA, A. L. **Partículas Elementares no Ensino Médio: uma abordagem a partir do LHC.** São Paulo: Editora Livraria da Física: Rio de Janeiro: CBPF – Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (Coleção Tópicos em Física). 2010.

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

BRASIL. **Guia de livros didáticos: PNLD 2012** – Física. Brasília: MEC/SEB, 2011.

BROCKINGTON, G.; SIQUEIRA, M.; PIETROCOLA, M. **A Realidade Escondida: A Inserção de Conceitos de Física Quântica e de Partículas no Ensino Médio**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2017.

BROWN, T.; LEMAY, H. E.; BURSTEN, B. E. **Química: a ciência central**. 9ª ed. São Paulo: Editora Pearson Prentice Hall, 2005.

BROUGÈRE, G. **Jogo e educação**. Artmed editora, 2002.

CAILLOIS, R. **Os jogos e os homens: a máscara e a vertigem**. Editora Vozes Limitada, 2017.

CAIRES,L., **Maior acelerador de partículas do mundo passa por um *upgrade.* O que vem por aí?** Jornal da USP, São Paulo, 2019. Disponível em: https://jornal.usp.br/ciencias/ciencias-exatas-e-da-terra/maior-acelerador-de-particulas-do-mundo-passa-por-um-upgrade-o-que-vem-por-ai/. Acesso em: 03 abril. 2022.

CARUSO, F.; SANTORO, A. **Do Átomo à Física das Interações Fundamentais**. 3ª. ed. Rio de Janeiro: Editora Livraria da Física, 2012.

CARUSO, F.; OGURI, V.; SANTORO, A. **O que são Quarks, Glúons, Bóson de Higgs, Buracos Negros e Outras Coisas Estranhas?**. 3ª. ed. Rio de Janeiro: Editora Livraria da Física, 2012.

CARVALHO, A. M. P. de. **Ensino de Ciências: unindo a pesquisa e a prática**. 2004.

CERN. **Organização Europeia de Pesquisas Nucleares.** 2021. Disponível em: https://home.cern/. acesso em: 25 jun. 2022.

CLEOPHAS, M. das G.; SOARES, M. H. F. B. **Em Didatização Lúdica no Ensino de Química/Ciências: teorias de aprendizagem e outras interfaces**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2018.

DA CUNHA, M. B. Jogos no ensino de química: considerações teóricas para sua utilização em sala de aula. **Química Nova na Escola, São Paulo, [s. L.]**, v. 34, n. 2, p. 92-98, 2012.

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

DELIZOICOV, D; ANGOTTI, J. A. P. **Física**. São Paulo: Cortez, 1992.

_____. **Metodologia do Ensino de Ciência**. São Paulo: Cortez, 1994.

ENDLER, A. M. F. **Introdução à Física de Partículas**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2010.

ETYMONLINE. **Lepton**. 2021. Etymonline - Online Etymology Dictionary. Disponível em: <https://www.etymonline.com/search?q=lepton>. Acesso em: 22 set. 2022.

HUIZINGA, J. **Homo ludens: o jogo como elemento da cultura**. Editora da Universidade de São Paulo, Editora Perspectiva.

KISHIMOTO, T. M. Froebel e a concepção de jogo infantil. **Revista da Faculdade de Educação**, v. 22, n. 1, p. 145-167, 1996.

MAIA, D. J.; BIANCHI, J. C. de A. **Química Geral: Fundamentos**. São Paulo: Editora Pearson Prentice Hall, 2007.

NETO, H. da S. M.; DE MORADILLO, E. F. O lúdico no ensino de química: considerações a partir da psicologia histórico-cultural. **38volume**, 2016.

_____ **Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, 2018. Disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_site.pdf. acesso em: 23 abril. 2022.

_____. **Ministério da Educação e Cultura. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. Parâmetros Curriculares Nacionais - Ensino Médio.** Brasília, 2000.

KANE, G.; **The Dawn of physics beyond the standard model.** Scientific American, june: 70-71. 2003.

MARQUES, T. C. F., MARTINS, T. C., NOVAIS, A. D.L. F., GOMES, L. M., PASCHOAL, C. M.

M., FERNANDES, C. S., FERREIRA, F. C. L., **Ensino de física moderna e contemporânea na última década: revisão sistemática de literatura.** Scientia Plena, 15(7), 1–8. https://doi.org/10.14808/sci.plena. 2019.074809

MARTINS, O. S. G. **Atividade Lúdica no Ensino de Química: Uma Proposta de Guia Didático para o Estudo de Termoquímica.** 2022. 117f. Dissertação (Mestrado Profissional no Ensino de Ciências Naturais) - do Instituto de Física da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT).

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem Significativa: a teoria e textos complementares.** São Paulo: Editora Livraria da Física. 2012.

_____. **Física de Partículas: uma abordagem conceitual & epistemológica.** São Paulo: Editora Livraria da Física. 2011

_____. **Teorias de Aprendizagem.** São Paulo: EPU. 2011a.

_____. **Unidades de Ensino Potencialmente Significativas** – UEPS. 2012. Disponível em: http://www.if.ufrgs.br/~moreira/UEPSport.pdf. Acesso em: 21 abril. 2022.

NOVAK, J. D. **Aprender, criar e utilizar o conhecimento**. Mapas conceituais como ferramentas de facilitação nas escolas e empresas. Lisboa: Plátano Edições Técnicas, 1981.

OKUN, L. The theory of weak interaction. In: PRENTKI, J. (Ed.). **1962 International Conference on High-Energy Physics at CERN**. [S.l.: s.n.], 1962. p. 845–866.

OLIVEIRA, D., MAXWELL, S. **Física de Partículas Elementares nos Livros Didáticos: Uma Análise nas obras do PNLD 2018.** XXIV Simpósio Nacional de Ensino de Física – SNEF 2021

OSTERMANN, F., CAVALCANTI, C. J. H., **Física moderna e contemporânea no ensino médio: elaboração de material didático, em forma de pôster, sobre partículas elementares e interações fundamentais**. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 16, n. 3, p. 267-286, dez. 1999.

OSTERMANN, F; MOREIRA, M A. **Atualização do currículo de Física na escola de nível médio: um estudo desta problemática na perspectiva de uma experiência em sala de aula e da formação inicial de professores.** Caderno Catarinense de Ensino de Física, Florianópolis, V.18, n.2, p.135-151, 2001.

PORTO, MGC. **Jogo, TIC e ensino de química: uma proposta pedagógica. Recife: UFRPE, 2015. 249 f**. 2015. Tese de Doutorado. Tese-Programa de Pós-Graduação em Ensino das Ciências, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

_____. **Para onde vai a Educação?** Tradução de Ivette Braga. 14ª Edição. Rio de Janeiro: José Olympio, 1998.

ROSA, Paulo Ricardo da Silva; MOREIRA, Marco Antonio; BUCHWEITZ, Bernardo. Alunos bons solucionadores de problemas de Física: caracterização a partir da análise de testes de associação de conceitos. **Revista Brasileira de Ensino de Fisica. Sao Paulo. Vol. 15, n. 1/4 (1993), p. 52-60**, 1993.

SALES, G. L. et al. **Gamificação e ensinagem híbrida na sala de aula de Física: metodologias ativas aplicadas aos espaços de aprendizagem e na prática docente.** Conexões-Ciência e Tecnologia, v. 11, n. 2, p. 45-52, 2017.

SILVA, J. R. N., ARENGHI, L. E. B., LINO, A. **Porque inserir física moderna e contemporânea no ensino médio? Uma revisão das justificativas dos trabalhos acadêmicos.** Rev Bras Ens Ciência Tecnol. 2013 jan abr;6(1):69-83. doi: 10.3895/S1982-873X2013000100004

SOARES, T. C.; BELICH JR, H.; HELAYEL-NETO, J. A. **Física de Partículas vistas pelas Interações Fundamentais e Formação de Professores**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2018.

SOUZA, M. A. M. et al. Jogo de Física de partículas: Descobrindo o bóson de Higgs. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 41, 2018.

VALENTE, J. A. **A comunicação e a educação baseada no uso das tecnologias digitais de informação e comunicação.** UNIFESO-Humanas e Sociais, v. 1, n. 01, p. 141-166, 2014.

_____. **A teoria da aprendizagem significativa como teoria construtivista**. Aprendizagem Significativa em Revista, v. 1, n. 1, p. 36-57, 2011.

APÊNDICE A: SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Etapas	Atividade	Descrição	Produção	Finalidade	Duração	Aulas
I	Atividade Teórica	Aplicação do Questionário pré-teste. **(Apêndice B)**	–	Verificação dos conhecimentos prévios	55 min.	1
II	Aula Expositiva dialogada	Discussão sobre o que é a matéria e de que a mesma é composta.	–	Identificar os conhecimentos prévios dos discentes	10 min.	1
III	Aula Expositiva dialogada	Apresentação do site "**Escala do Universo**[20]"	Utilização do site para fazer uma viagem do Macro ao Micro.	Conhecer mais sobre a matéria e sua estrutura.	10 min.	
IV	Aula Expositiva dialogada	Apresentar os principais Modelos Atômicos.	–	Relembrar os Modelos Atômicos desde o Modelo Atômico Grego (Demócrito) até o Modelo Atômico de Nuvem Eletrônica (Schrödinger).	30 min.	

[20] Disponível em: https://htwins.net/scale2/

V	Aula Expositiva dialogada	Apresentação "**simulador phet**[21]"	–	Visualizar como foi o experimento de Rutherford.	5 min.	
VI	Aula Expositiva dialogada	Construção de mapas conceituais. Passar um vídeo[22] sobre o Modelo Padrão das Partículas Elementares	Os discentes construirão mapas conceituais sobre a evolução dos Modelos Atômicos.	Reorganizar o conceito sobre os Modelos Atômicos e terem o primeiro contato com as Partículas Elementares.	55 min	1
VII	Aula Expositiva Dialogada	Introduzir o Modelo Padrão de Partículas Elementares e Interações Fundamentais da Natureza	Leitura do artigo "**Sobre o Discreto Charme das Partículas Elementares**[23]".	Conhecer melhor as forças fundamentais, as partículas elementares (Quarks, Léptons e Bósons) e suas principais características.	110 min	2
VIII	Visita virtual ao experimento ATLAS pertencente à	Mostrar através de visita virtual guiada detalhes do	Discentes questionam pesquisadores como é fazer Ciências no	Conhecer o CERN e pesquisadores de Física de	55 min	1

[21] Disponível em: https://phet.colorado.edu/en/simulation/rutherford-scattering.

[22] Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=Nqi-bM90vfg.

[23]Disponível em: http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol6/Num1/charme.pdf.

	Organização Europeia para a Pesquisa Nuclear (CERN)	experimento ATLAS.	maior laboratório do mundo.	Partículas Elementares.		
IV	Aplicação do jogo "**Quem sou eu? Com as Partículas Elementares**".	Apresentar de modo lúdico o conteúdo sobre Partículas Elementares.	Os Alunos jogam em grupo.	Assimilar de forma lúdica o conteúdo ministrado.	55 min	1
X	Atividade Teórica	Aplicação do Questionário pós-teste. **(Apêndice B)**	–	Verificação da validade da metodologia	55 min.	1

APÊNDICE B: QUESTIONÁRIO PRÉ-TESTE E PÓS-TESTE

AS RESPOSTAS CORRETAS ESTÃO EM VERDE.

1) Você já ouviu falar em Física de Partículas?

a) Sim

b) Não

2) Você conhece o Modelo-Padrão das Partículas Elementares?

a) Sim

b) Não

3) Quais dessas partículas apresentadas abaixo você conhece ou já ouviu falar? (pode marcar mais de uma alternativa)

( ) Up
( ) Elétron
( ) Glúon
( ) Bóson de Higgs
( ) Prótons
( ) Charm
( ) Múon
( ) Fóton
( ) Nêutrons
( ) Top
( ) Tau
( ) Bóson Z
( ) Down
( ) Neutrino do Elétron
( ) Bóson W
( ) Strange
( ) Neutrino do Múon
( ) Botton
( ) Neutrino do tau

4) Quais são as partículas elementares que compõem o átomo?

a) Prótons, elétrons e nêutrons.

b) Léptons e quarks.

c) Partícula alfa e beta.

d) Partículas positivas e negativas.

e) Nenhuma das respostas anteriores.

5) O modelo atômico mais atual é:

a) Thomson.

b) Rutherford.

c) Bohr.

d) de nuvem eletrônica.

e) Nenhuma das respostas anteriores.

6) O que é uma partícula elementar?

a) Um átomo.

b) Um conjunto de prótons.

c) A menor porção da matéria conhecida.

d) Um conjunto de elétrons.

e) Nenhuma das respostas anteriores.

7) Como são encontradas as partículas elementares?

a) Por um microscópio.

b) Pela observação na natureza.

c) Por meio de observação indireta com o auxílio de aceleradores de partículas, câmaras de bolhas, detectores de raios cósmicos, entre outros.

d) Telescópios espaciais.

e) Nenhuma das respostas anteriores.

8) Dê o melhor conceito para os prótons.

a) Partículas elementares porque são constituintes dos átomos.

b) Partículas elementares porque são indivisíveis.

c) Partículas elementares porque possuem carga elétrica +e.

d) Partículas constituídas por quarks.

e) Nenhuma das respostas anteriores.

9) O que são elétrons?

a) Partículas elementares porque são indivisíveis.

b) Partículas elementares porque possuem carga elétrica –e.

c) Partículas elementares porque são constituintes dos átomos.

d) São partículas elementares pois sua massa é muito pequena comparada com a do próton.

e) Nenhuma das respostas anteriores.

10) Qual a melhor definição para nêutrons?

a) São partículas elementares porque são indivisíveis.

b) Partículas elementares pois sua carga elétrica é zero.

c) Partículas elementares porque sua massa é aproximadamente a mesma do próton.

d) São partículas compostas por quarks.

e) Nenhuma das respostas anteriores.

11) Qual(quais) é(são) a(s) partícula(s) elementar(es) de acordo com o Modelo Padrão?

a) Prótons, elétrons e nêutrons.

b) Léptons e quarks.

c) Apenas o elétron.

d) Apenas o fóton.

e) Nenhuma das respostas anteriores.

12) O que é um quark?

a) Uma partícula elementar que constitui a matéria.

b) Um átomo ionizado.

c) Uma característica das partículas elementares.

d) Um conjunto de prótons.

e) Nenhuma das respostas anteriores.

13) O que é um lépton?

a) Um átomo ionizado.

b) Uma partícula elementar que constitui a matéria.

c) Uma característica das partículas elementares, assim como a carga elétrica.

d) Um conjunto de elétrons.

e) Nenhuma das respostas anteriores.

14) O que são mésons?

a) Partículas responsáveis pelas interações entre prótons e elétrons.

b) Partículas mediadoras da interação forte residual.

c) Uma das partículas que compõem o nêutron.

d) Partículas com carga elétrica equivalente à metade da carga elétrica de elétrons e prótons.

e) Nenhuma das respostas anteriores.

15) O que são antipartículas?

a) Partículas responsáveis pelas interações fundamentais da natureza.

b) Partículas com todas as características contrárias a de sua correspondente na matéria.

c) Partículas iguais as suas correspondentes na matéria, mas com carga elétrica oposta.

d) Partículas responsáveis por interações entre dois corpos.

e) Nenhuma das respostas anteriores.

APÊNDICE C: QUESTIONÁRIO SOCIOECONÔMICO

1. Qual o seu sexo?
   (A) Feminino.
   (B) Masculino.
   (C) Outros.

2. Qual a sua idade?
   (A) Menos de 17 anos.
   (B) 17 anos.
   (C) 18 anos.
   (D) Entre 19 e 25 anos

3. Como você se considera:
   (A) Branco(a).
   (B) Pardo(a).
   (C) Preto(a).
   (D) Amarelo(a).
   (E) Indígena

4. Qual seu estado civil?
   (A) Solteiro(a).
   (B) Casado(a) / mora com um(a) companheiro(a).
   (C) Separado(a) / divorciado(a) / desquitado(a).
   (D) Viúvo(a).

5. Onde e como você mora atualmente?
   (A) Em casa ou apartamento, com minha família.
   (B) Em casa ou apartamento, sozinho(a).
   (C) Em quarto ou cômodo alugado, sozinho(a).
   (D) Em habitação coletiva: hotel, hospedaria, quartel, pensionato, república etc.

6. Quem mora com você? (pode marcar mais de uma opção)
   (A) Moro sozinho(a)
   (B) Pai e/ou mãe
   (C) Esposo(a) / companheiro(a)
   (D) Filhos(as)
   (E) Irmãos(ãs)
   (F) Outros parentes, amigos(as) ou colegas

7. Quantas pessoas moram em sua casa? (Contando com seus pais, irmãos ou outras pessoas que moram em uma mesma casa).
   (A) Duas pessoas.
   (B) Três.
   (C) Quatro.
   (D) Cinco.
   (E) Mais de seis.

(F) Moro sozinho(a).

8. Quantos(as) filhos(as) você tem?
   (A) Um(a).
   (B) Dois(duas).
   (C) Três.
   (D) Quatro ou mais.
   (E) Não tenho filhos(as).

9. Até quando seu pai estudou?
   (A) Não estudou.
   (B) Da 1ª à 4ª série do ensino fundamental (antigo primário).
   (C) Da 5ª à 8ª série do ensino fundamental (antigo ginásio).
   (D) Ensino médio (antigo 2º grau) incompleto.
   (E) Ensino médio completo.
   (F) Ensino superior incompleto.
   (G) Ensino superior completo.
   (H) Pós-graduação.
   (I) Não sei.

10. Até quando sua mãe estudou?
    (A) Não estudou.
    (B) Da 1ª à 4ª série do ensino fundamental.
    (C) Da 5ª à 8ª série do ensino fundamental.
    (D) Ensino médio incompleto.
    (E) Ensino médio completo.
    (F) Ensino superior incompleto.
    (G) Ensino superior completo.
    (H) Pós-graduação.
    (I) Não sei.

11. Em que seu pai trabalha ou trabalhou, na maior parte da vida?
    (A) Na agricultura, no campo, em fazenda ou na pesca.
    (B) Na indústria.
    (C) Na construção civil.
    (D) No comércio, banco, transporte, hotelaria ou outros serviços.
    (E) Funcionário público do governo federal, estadual ou municipal.
    (F) Profissional liberal, professor ou técnico de nível superior.
    (G) Trabalhador fora de casa em atividades informais (pintor, eletricista, encanador, feirante, ambulante, guardador de carros, catador de lixo etc.).
    (H) Trabalha em sua casa em serviços (alfaiataria, cozinha, aulas particulares, artesanato, carpintaria, marcenaria etc).
    (I) Trabalhador doméstico em casa de outras pessoas (faxineiro, cozinheiro, mordomo, motorista particular, jardineiro, vigia, acompanhante de idosos/as etc.),
    (J) Não trabalha.
    (k) Não sei.

(k) Outros.

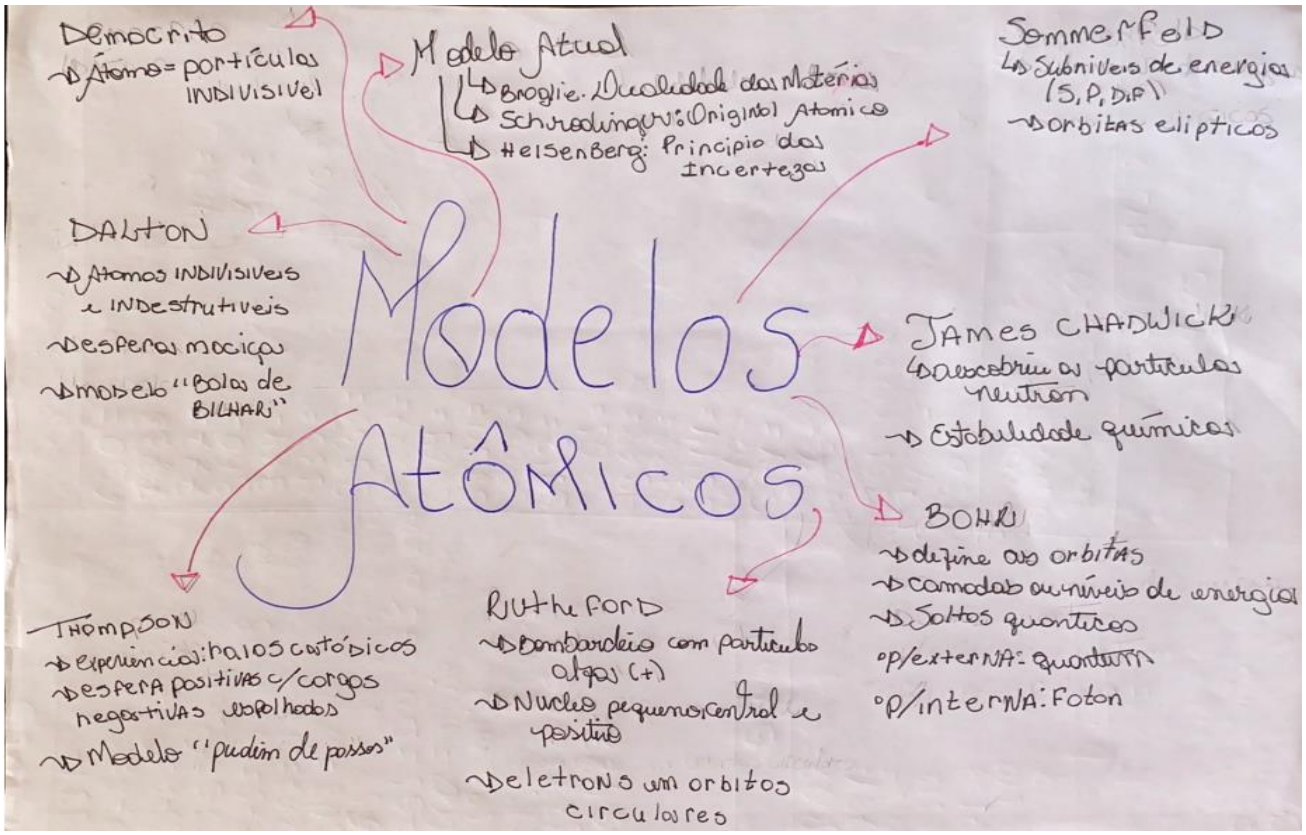
12. Em que sua mãe trabalha ou trabalhou, na maior parte da vida?
(A) Na agricultura, no campo, na fazenda ou na pesca.
(B) Na indústria.
(C) Na construção civil.
(D) No comércio, banco, transporte, hotelaria ou outros serviços.
(E) Como funcionária do governo federal, estadual ou municipal.
(F) Como profissional liberal, professora ou técnica de nível superior.
(G) Trabalhadora fora de casa em atividades informais (feirante, ambulante, guardadora de carros, catadora de lixo etc.).
(H) Trabalha em sua casa em serviços (costura, aulas particulares, cozinha, artesanato etc).
(I) Como trabalhadora doméstica em casa de outras pessoas (cozinheira, arrumadeira, governanta, babá, lavadeira, faxineira, acompanhante de idosos/as etc.).
(J) Outro.
(K) Não trabalha.
(L) Não sei.

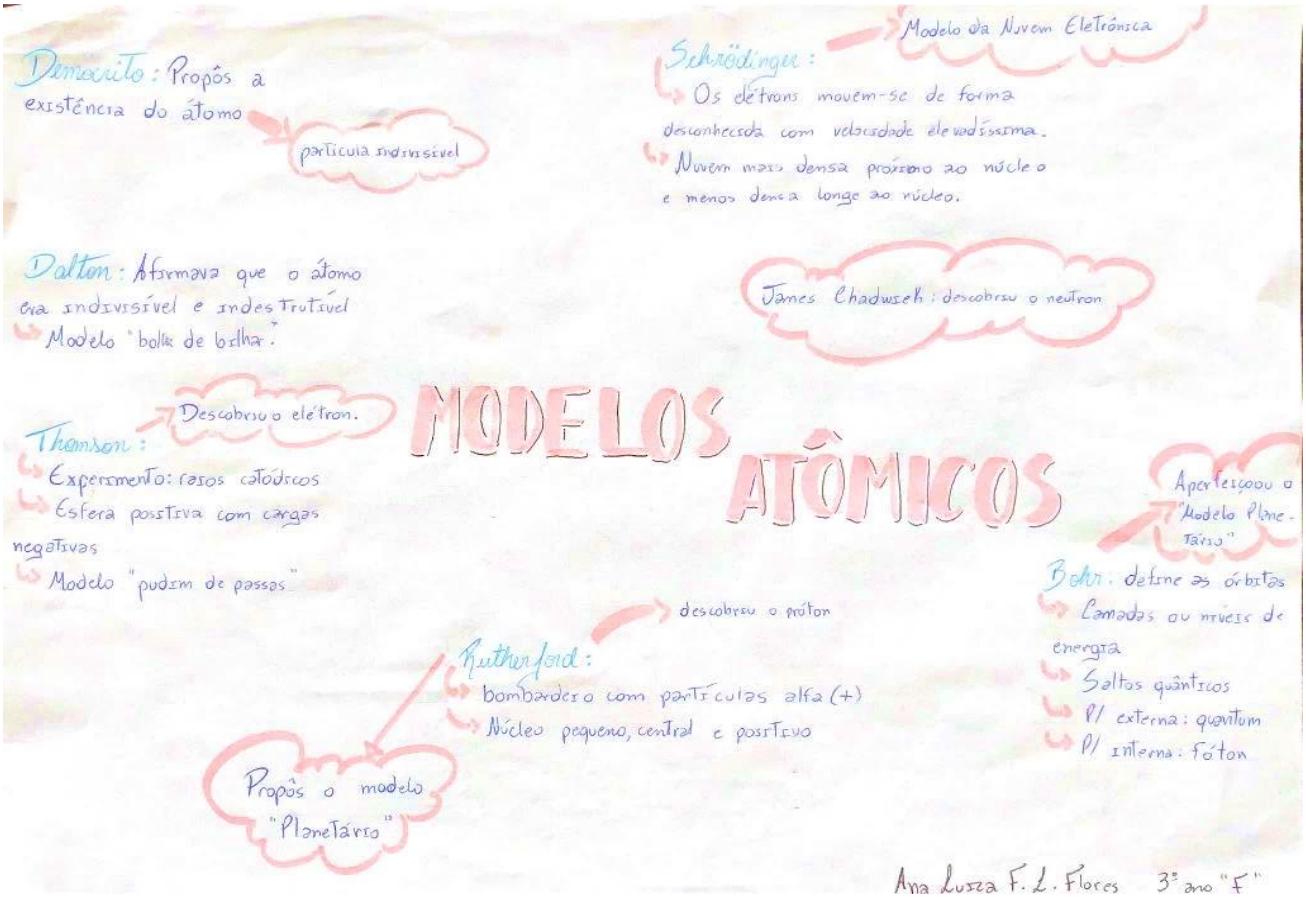
13. Somando a sua renda com a renda das pessoas que moram com você, quanto é, aproximadamente, a renda familiar? (Considere a renda de todos que moram na sua casa.)
(A) Até 1 salário mínimo (até R$ 1.212,00 inclusive).
(B) De 1 a 2 salários mínimos (de R$ 1.212,00 até R$ 2.424,00 inclusive).
(C) De 2 a 5 salários mínimos (de R$ 2,424,00 até R$ 6.060,00 inclusive).
(D) De 5 a 10 salários mínimos (de R$ 6.060,00 até R$ 12.120,00 inclusive).
(E) Mais de 10 salários mínimos (mais de R$ 12.120,00).
(F) Nenhuma renda.

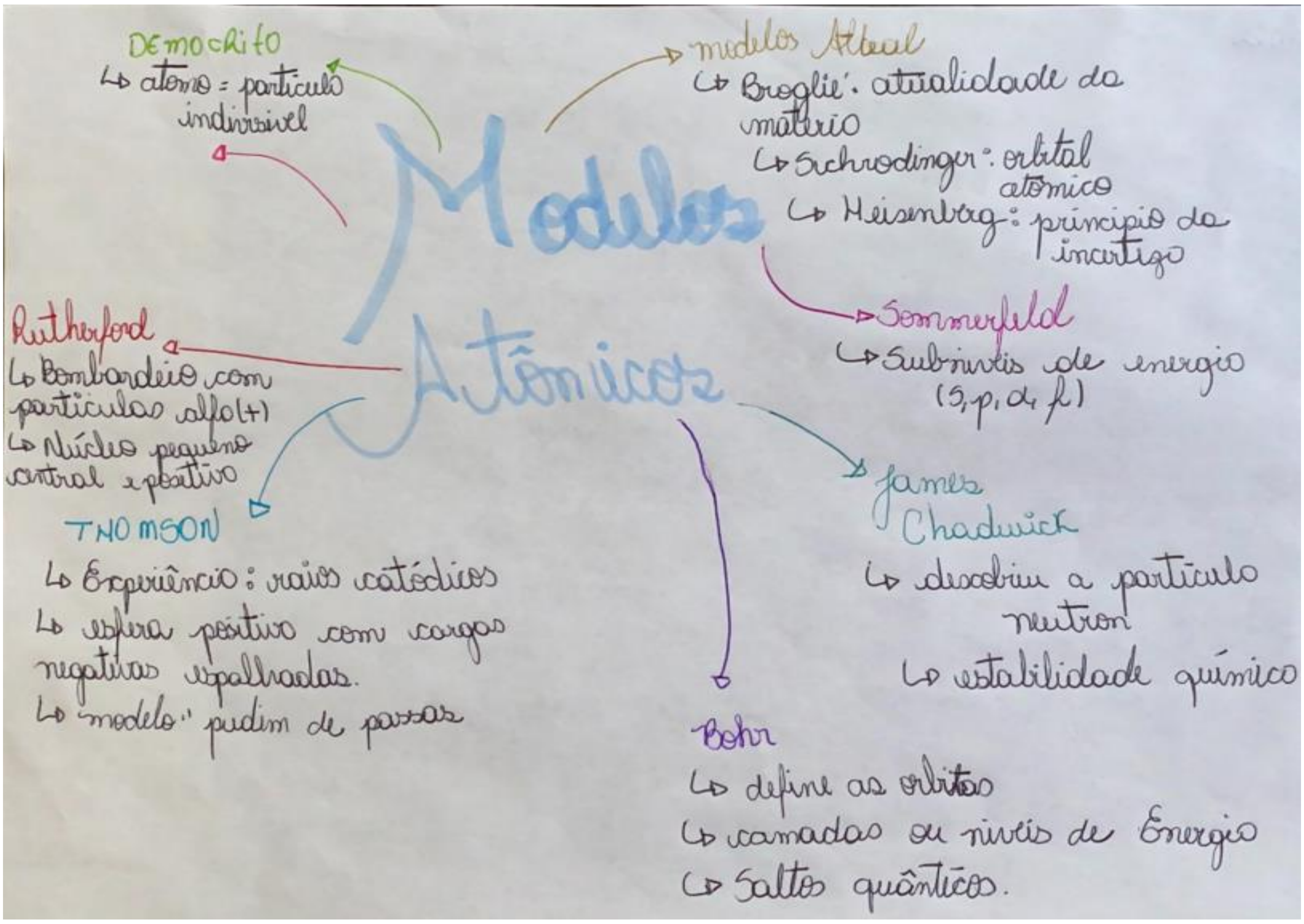
14. Você trabalha, ou já trabalhou, ganhando algum salário ou rendimento?
(A) Trabalho, estou empregado com carteira de trabalho assinada.
(B) Trabalho por conta própria, não tenho carteira de trabalho assinada.
(C) Já trabalhei, mas não estou trabalhando.
(D) Nunca trabalhei.
(E) Nunca trabalhei, mas estou procurando trabalho.

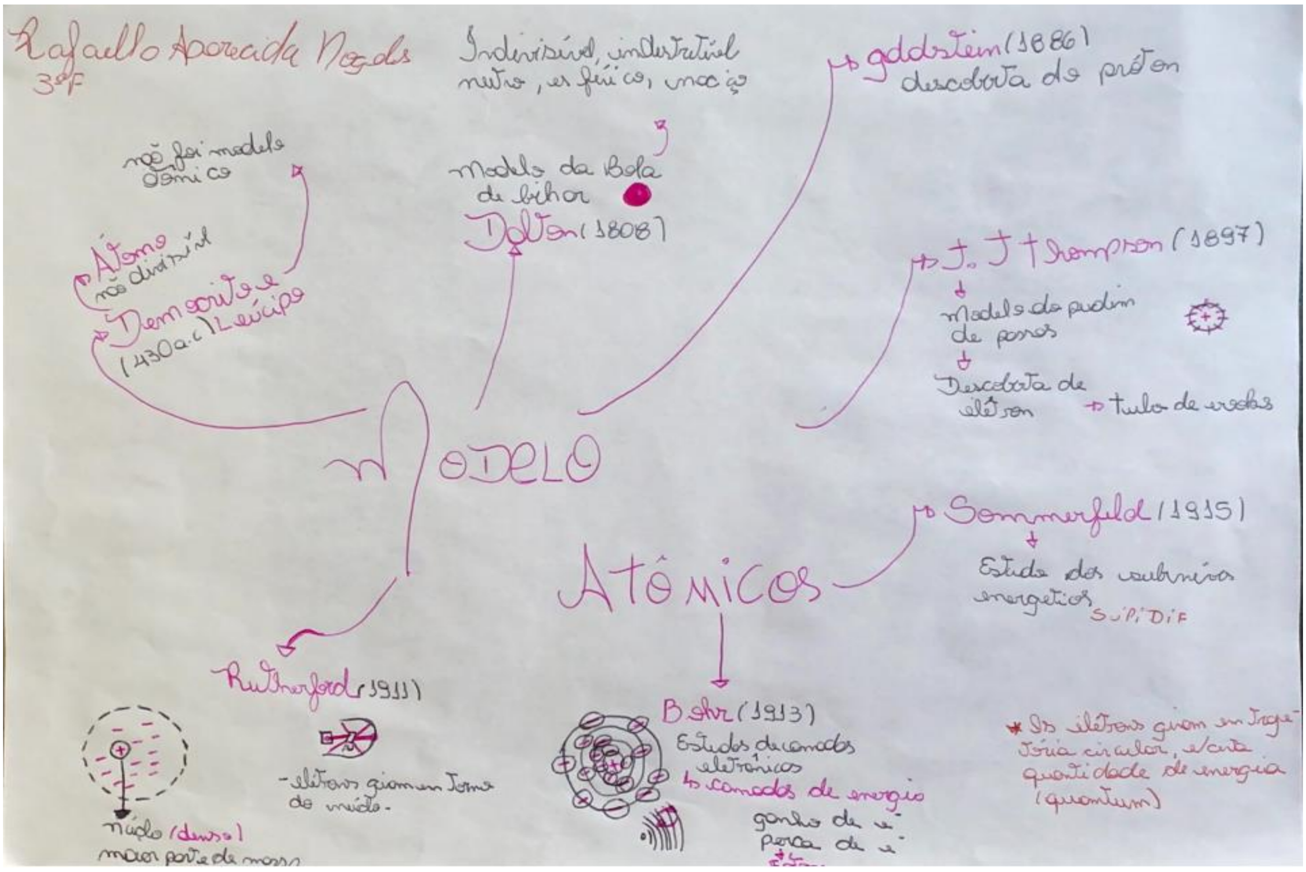
15. Em que tipo de escola você cursou o ensino fundamental?
(A) Somente em escola pública.
(B) Parte em escola pública e parte em escola particular.
(C) Somente em escola particular.
(D) Somente em escola indígena ou em escola situada em comunidade quilombola.
(E) Parte na escola indígena e parte em escola não-indígena.
(F) Parte em escola situada em comunidade quilombola e parte em escola fora de área quilombola.
(G) Não frequentei a escola.

APÊNDICE D: MAPAS CONCEITUAIS SOBRE A EVOLUÇÃO DOS MODELOS ATÔMICOS CONSTRUÍDOS PELOS ALUNOS






Modelos Atômicos
Democrito
atomo = particula indivisivel
Rutherford
Bombardeio com particulas alfa(+)
Núcleo pequeno central e positivo
THOMSON
Experiência: raios catódicos
esfera positiva com cargas negativas espalhadas.
"modelo" pudim de passas
modelos Atual
Broglie: atualidade da matéria
Schrodinger: orbital atômico
Heisenberg: principio da incerteza
Sommerfeld
Subníveis de energia (s, p, d, f)
James Chadwick
descobriu a particula neutron
estabilidade química
Bohr
define as orbitas
camadas ou níveis de Energia
Saltos quânticos.


MODELO ATÔMICOS
3ºF
Indivisível, indestrutível
Átomo não divisível
Demócrito e Leucipo (430 a.C)
Modelo da Bola de bilhar
Dalton (1808)
goldstein (1886) descoberta do próton
J. J Thompson (1897)
Modelo de pudim de passas
Descoberta do elétron
Sommerfeld (1915)
Estudo dos subníveis energéticos
s, p, d, f
Rutherford (1911)
núcleo (denso)
Bohr (1913)
Estudos de camadas eletrônicas
camadas de energia

APÊNDICE E: MATERIAL PARA O PROFESSOR

MNPEF Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

SBF SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA

Instituto de Física

Uma sequência didática com auxílio do lúdico para o estudo de Física de Partículas no Ensino Médio

Francisco Bandeira Amaral Filho
Sabrina Silva Carara

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 1

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 2

2.1 Modelos Atômicos 3

2.3 Muito Além do Átomo, o Modelo Padrão das Partículas Elementares 13

2.4 As Interações Fundamentais 23

3 METODOLOGIA 27

3.1 Metodologia Baseada na Aprendizagem Significativa 27

3.2 Sequência Didática Baseada nos Três Momentos Pedagógicos e na Aprendizagem Significativa 27

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 30

APÊNDICE A: SEQUÊNCIA DIDÁTICA 32

APÊNDICE B: QUESTIONÁRIO PRÉ-TESTE E PÓS-TESTE 35

APÊNDICE D: GLOSSÁRIO DO JOGO QUEM SOU? COM AS PARTÍCULAS ELEMENTARES 39

APÊNDICE D: CARTAS DO JOGO QUEM SOU? COM AS PARTÍCULAS ELEMENTARES 49

APRESENTAÇÃO

Caro amigo professor (a):

O presente material juntamente com o **glossário** e as cartas para aplicação do jogo "**Quem sou eu? Com as partículas Elementares**" tem por objetivo, lhe auxiliar na introdução dos conceitos básicos e fundamentais sobre Física de Partículas Elementares no Ensino Médio.

Uma sequência didática foi desenvolvida baseada na **Aprendizagem Significativa** de David Ausubel e Marco Antonio Moreira e também nos **Três Momentos Pedagógicos** de Delizoicov e Angotti.

Com o glossário, seus alunos e você terão acesso às principais informações sobre os **Quarks** e **Antiquarks**; **Léptons** e **Antiléptons**; **Bósons**; **Detectores de partículas**; **Interações** e **conceitos fundamentais**; e alguns **pesquisadores** que contribuíram para o desenvolvimento dessa área da Física.

Espera-se que este material lhe auxilie no desafio de introduzir a Física de Partículas Elementares para os alunos que cursam o Ensino Médio e assim os mesmos despertem interesse por essa fascinante área da Física.

Abraços e não esqueça: "o essencial é invisível aos olhos!"

1 INTRODUÇÃO

Temos avanços e descobertas a comemorar: decodificação da estrutura do DNA, a teoria da relatividade, a mecânica quântica, a teoria evolucionista, a descoberta da eletricidade, a penicilina etc. Para Alexander King (1998, p.63) o nosso mundo e a sociedade são sustentados por uma tecnologia bem sucedida, baseada nas descobertas da ciência.

Por outro lado, muitos desafios ainda restam às Ciências Naturais. A combinação entre mecânica quântica e teoria da relatividade, no que diz respeito a desafios da Física, pode produzir resultados inconsistentes. A explicação do que ocorre no interior de buracos negros e o próprio Big Bang são dois exemplos.

Outros desafios da Física estão na área de Física de Partículas Elementares: o que é matéria e energia escura, a existência de dimensões extras, a predominância de matéria e não antimatéria, etc. Desafios como estes são pesquisados pelo Centro Europeu de Pesquisa Nuclear (CERN), onde segundo Alexander King (1998, p.82) se faz ciência "grande". O CERN foi estabelecido após a Segunda Guerra Mundial para dar a Europa uma instituição de pesquisa básica sobre Física de partículas que promovesse a excelência científica e a paz.

No Ensino Básico, não é dada oportunidade aos alunos de estudarem Física de Partículas na grade curricular. Consideramos que é perdida uma janela de oportunidades de apresentação de tal área de conhecimentos.

Compreendendo a necessidade de uma educação com qualidade nas escolas públicas e a importância de abordar a Física de Partículas Elementares no Ensino Médio, já que tal assunto muitas vezes não é facilmente compreendido nem por parte de alguns professores, este trabalho tem como intuito elaborar e aplicar uma sequência didática baseada nos Três Momentos Pedagógicos (3MP) de Delizoicov e Angotti (1994) e na Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) de Ausubel (1982) de forma a propiciar aos alunos situações em que os mesmos sejam autores e protagonistas do seu próprio saber. Com isso, tentaremos mostrar que a Física, em específico a Física de Partículas Elementares, não é somente um conteúdo cheio de cálculos, mas também uma ferramenta muito importante para a compreensão do mundo que nos cerca.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Quantas vezes nos deparamos com tais perguntas: de onde viemos? Para onde vamos? Como surgiu o Universo? E principalmente, **o que constitui toda a matéria?**

A figura 1 nos mostra um mapa conceitual de forma cronológica e a evolução do conceito de átomos juntamente com as partículas que o constituem para facilitar o entendimento do que é feito o Universo.

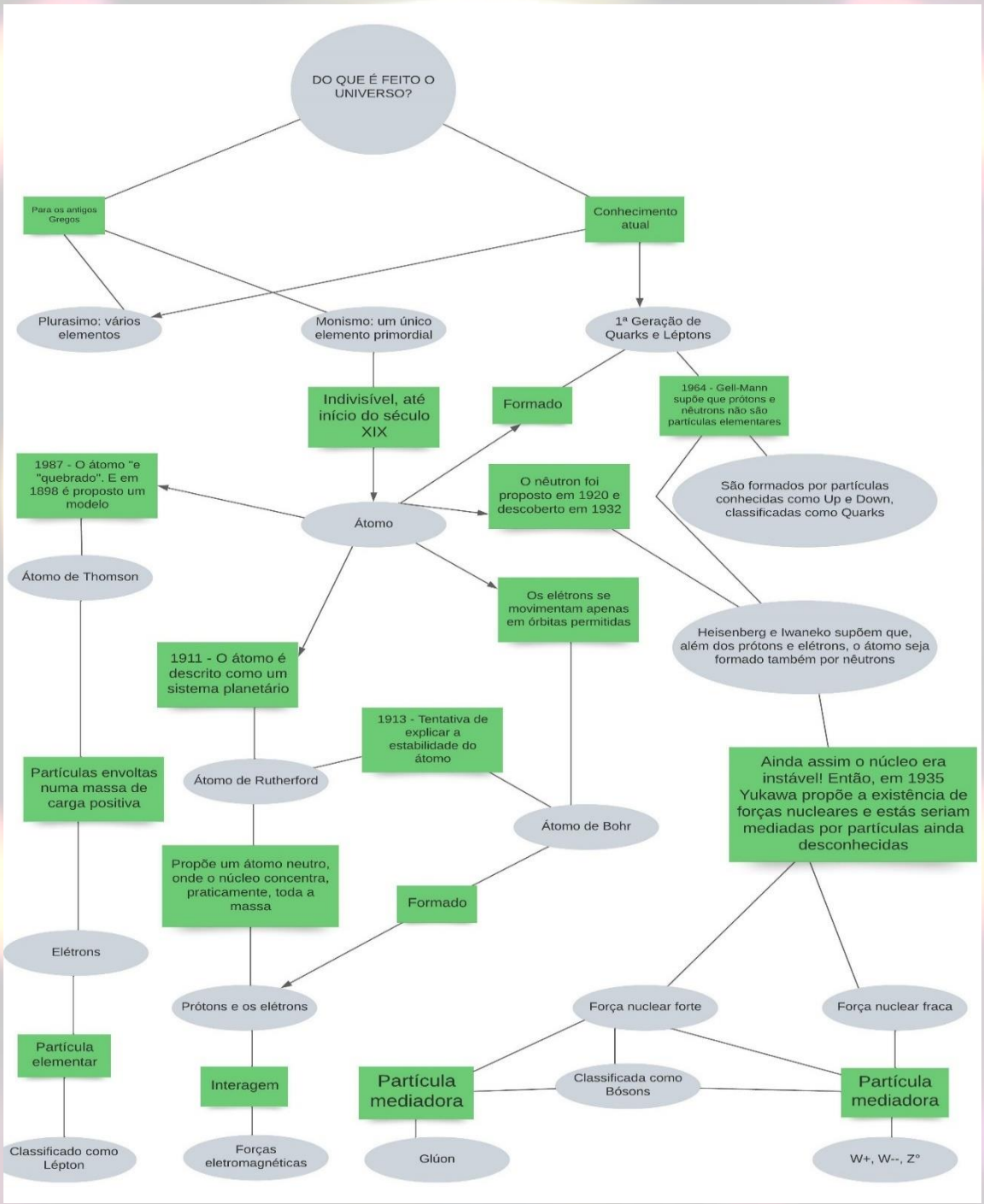


Figura 31: Mapa conceitual que apresenta, de forma cronológica, a evolução do conceito do átomo e suas partículas constituintes.
Fonte: Alves; Alanis, Costa, 2010 (Adaptado).

Uma área muito importante da Física, a Física de Partículas Elementares, é a responsável por estudar as partículas elementares e poderá nos ajudar a responder essas perguntas.

Nesta seção, iremos apresentar as fundamentações teóricas sobre Física de Partículas Elementares.

2.1 Modelos Atômicos

No decorrer dos anos os modelos atômicos foram criados e consequentemente, melhorados, como podemos ver na linha do tempo da figura 2.

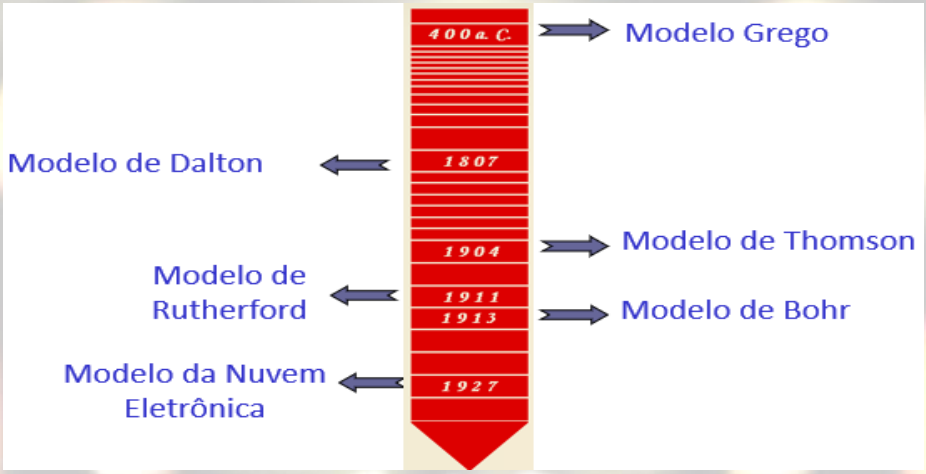


Figura 32: Linha do tempo da Evolução dos Modelos Atômicos.
Fonte: Próprio autor, 2022.

Um famoso seriado de televisão[24] americano diz, em uma parte de sua música de abertura, que "todo universo estava num estado quente e denso até que cerca de 14 bilhões de anos atrás a expansão começou... Matemática, Ciência, História, revelando os mistérios de que tudo começou com o Big Bang!

O Big Bang existiu? O universo teve seu início há cerca de 14 bilhões de anos atrás? Buscar explicações para questões como essas ainda continuam a estimular cientistas de todo o mundo.

O ser humano demonstra interesse pelas coisas que o cercam desde a antiguidade. Esse interesse não era apenas por curiosidade, mas por necessidade, uma vez que conhecer os fenômenos e poder prevê-los tinha vital importância. Ao longo dessa jornada

[24] The Big Bang Theory é uma série de TV americana transmitida originalmente pelo canal CBS.

(História das Ciências) diversos pensadores buscaram respostas para ampliar os conhecimentos a respeito da natureza e de seus fenômenos.

O conceito de átomo e os modelos atômicos podem ser descritos a partir da busca da resposta para a pergunta: de que todas as coisas são feitas?

Buscando resposta, os sábios gregos do século V a.C., tais como: Leucipo (450 a.C.) e Demócrito (380 a.C.) definiram que todos os elementos na natureza eram formados por: Terra, Ar, Fogo e Água e suas combinações.

O pensamento para a resposta desta pergunta mudou no decorrer do tempo. Desde o século V a.C. o homem passou a ser um experimentador e começou a observar o elemento indivisível, indestrutível que não poderia ser criado.

Com a evolução do pensamento humano novas perguntas foram formuladas e observamos a busca da explicação para a composição da matéria.

A seguir iremos apresentar detalhadamente cada modelo atômico que está na linha do tempo acima (figura 2).

2.2.1 O Átomo Grego

O primeiro modelo atômico foi descrito por Leucipo (450 a.C.) e Demócrito (380 a.C.), sendo que esse modelo era baseado apenas na intuição e na lógica. Tanto Leucipo quanto Demócrito afirmavam que a matéria era descontínua e formada por partículas discretas, indivisíveis e invisíveis, corroborando que a mesma teria forma diferente, tamanho diferente, arranjo diferente, justificando as diferentes estruturas ao nosso redor, batizando-as de átomo (do grego indivisível) (BROCKINGTON; SIQUEIRA; PIETROCOLA, 2017).

Por volta de 350 a.C., outro filósofo grego muito conhecido, Aristóteles (384-322 a.C.), retomou a ideia de Leucipo e Demócrito que todos os elementos na natureza eram formados por: Terra, Ar, Fogo e Água e suas combinações. Para Aristóteles a matéria era descontínua e formada por partículas discretas, indivisíveis e invisíveis, acrescentando que cada um desses elementos que compõem a matéria tinha um devido lugar e procurava permanecer nele ou encontrá-lo. Por exemplo, a terra estava no centro dos quatro elementos, em seguida vinha a água, acima vinha o ar e, por último, acima de todos, o fogo (CARUSO; SANTORO, 2012).

2.2.2 Modelo Atômico de Dalton

Passaram-se anos desde o primeiro modelo atômico proposto por Leucipo e Demócrito, até que na segunda metade do séc. XVIII, a Física sofreu uma grande evolução.

Certos fatos não podiam ser explicados pela teoria de Aristóteles, como a Lei de Lavoisier: “A massa dos reagentes é igual à massa dos produtos”. Para explicar estes fatos, em 1807, o químico, físico e meteorologista John Dalton “ressuscita” a teoria atômica e propôs seu modelo atômico.

Dalton apoiado pelo individualismo, buscando em Demócrito as justificativas para apoiar sua teoria, define que a matéria seria formada por diferentes combinações dos átomos, tido como partícula fundamental, sendo uma esfera maciça, sem constituintes e indivisíveis, definindo a origem das diversas substâncias conhecidas (BROWN; LEMAY; BURSTEN, 2005).

Para Dalton, os átomos do mesmo elemento eram iguais entre si, ou seja, teriam a mesma massa, e a matéria era formada pela união de diferentes átomos em proporções definidas (MAIA; BIANCHI, 2007). Na figura 3 podemos ver a representação do Modelo atômico proposto por Dalton.

Figura 33: Modelo atômico de Dalton.
Fonte: próprio autor, 2022.

2.2.3 Modelo Atômico de Thomson

Em 1904, o Físico britânico Joseph John Thomson (1856 – 1940) acabou com a indivisibilidade do átomo. Thomson realizou uma série de experiências utilizando um tubo de raios catódicos (tubo semelhante aos tubos existentes no interior dos televisores antigos). Neste tubo havia uma passagem de feixe de elétrons através de um gás rarefeito, os quais foram denominados como raios catódicos (MAIA; BIANCHI, 2007).

Thomson aplicou uma diferença de potencial entre o catodo e o anodo em um tubo de raios catódicos observando um feixe com uma mudança de direção dentro de um campo eletromagnético e estudando essa deflexão percebeu uma diferença de aproximadamente 2000 vezes entre a razão carga/massa do feixe entre dois momentos distintos.

Ao estudar a passagem do feixe no interior deste aparelho, Thomson observou uma fluorescência esverdeada devido à existência de uma partícula com natureza corpuscular de carga negativa que sai dos átomos do catodo (MAIA; BIANCHI, 2007).

A massa desta partícula era muito menor que a massa de qualquer átomo conhecido e com essas observações Thomson descobriu o **elétron** (BROWN; LEMAY; BURSTEN, 2005).

Thomson provou que os elétrons eram corpúsculos, dotados de carga elétrica e de massa, que fazem parte de toda a matéria.

O modelo proposto por Thomson definia o átomo como:

- uma esfera maciça de carga elétrica positiva, estando os elétrons dispersos na esfera;
- o número de elétrons seria tal que a carga total do átomo seria zero.

Esse modelo, o qual está representado na figura 4 é conhecido como pudim de passas ou de ameixas, passando a ser o átomo uma esfera agora divisível, recheada de **elétrons**, mas com característica neutra, sem termos ainda o conhecimento do próton.

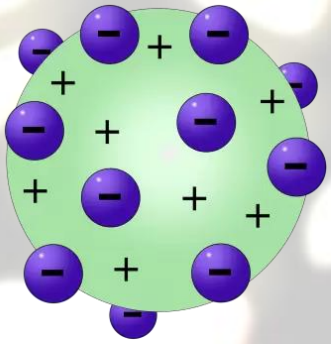


Figura 34: Modelo Atômico de Thomson.
Fonte: pt.energia-nuclear.net[25].

2.2.4 Modelo Atômico de Rutherford

O modelo atômico proposto por Thomson teve uma vida curta pois em 1911 o físico e químico neozelandês Ernest Rutherford (1871 – 1937), juntamente com seus colaboradores Geiger e Marsden realizaram uma experiência que lhes permitiu propor um

[25]Disponível em: https://cdn-0.energia-nuclear.net/uploads/cms/que-e-a-energia-nuclear/atomo/modelos-atomicos/modelo-atomico-de-thomson.webp?ezimgfmt=rs:350x350/rscb2/ng:webp/ngcb2.

novo modelo atômico (BROWN; LEMAY; BURSTEN, 2005). Na figura 5 podemos observar Hans Geiger e Ernest Rutherford no laboratório.

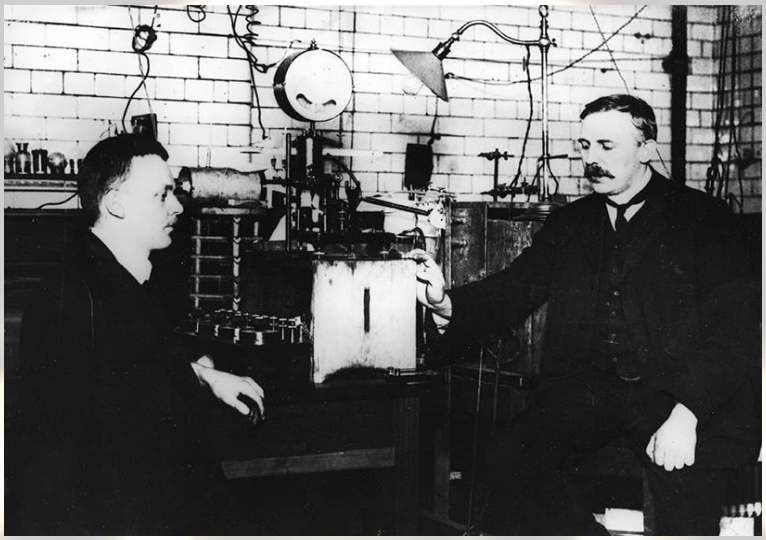


Figura 35: Hans Geiger e Ernest Rutherford no laboratório.
Fonte: https://www.researchgate.net[26]

Rutherford propôs aos seus colaboradores Geiger e Marsden que observassem espalhamentos a ângulos altos, o qual consistia em bombardear uma folha fina de ouro com partículas positivas alfa, como mostra a ilustração desse experimento na figura 6.

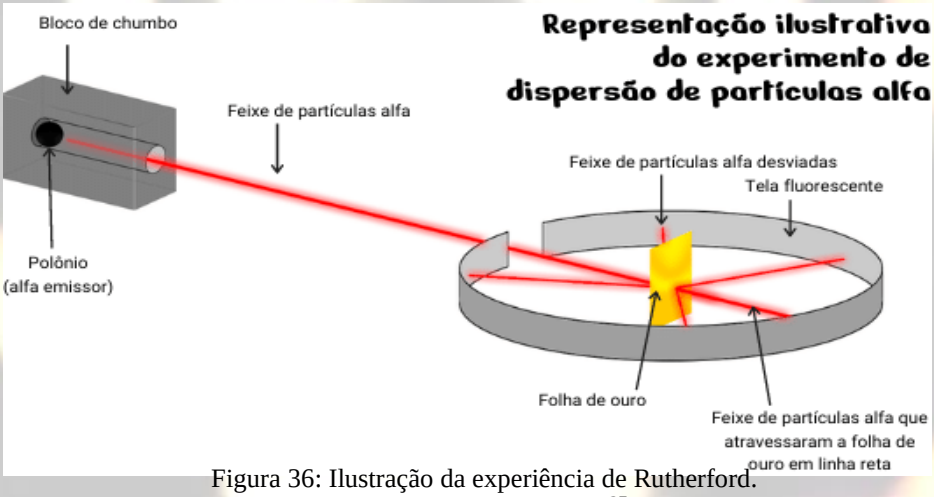


Figura 36: Ilustração da experiência de Rutherford.
Fonte: vaiquimica.com.br[27].

Embora a maior parte das partículas se comportasse como esperado, uma parte significativa não só foi desviada, como algumas retornaram na direção de lançamento,

[26]Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Cristiano-Moura/publication/304080186/figure/fig5/AS:374421148717060@1466280366692/Figura-IV5-Hans-Geiger-e-Ernest-Rutherford-no-laboratorio-Fonte-Acervo-de-Physics.png

[27] Disponível em: https://vaiquimica.com.br/wp-content/uploads/2021/02/experimento_de_rutherford.png

observando incompatibilidade com o modelo de Thomson, propondo que existe, no interior do átomo, uma região central positiva (o núcleo), que exerce fortes forças repulsivas sobre as partículas alfa (MAIA; BIANCHI, 2007). Na figura 7 podemos ver a ilustração do resultado do experimento de Rutherford.

O átomo passou a ter um núcleo positivo sendo orbitado por elétrons em esferas concêntricas.

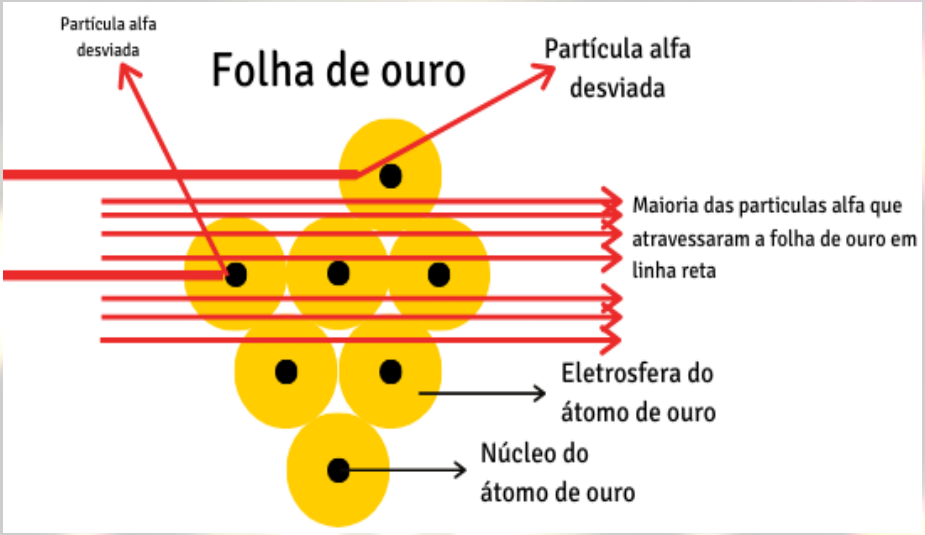


Figura 37: Ilustração do resultado da experiência de Rutherford
Fonte: vaiquimica.com.br[28].

Com esse experimento Rutherford propõe o seu modelo atômico como uma estrutura praticamente vazia, e não uma esfera maciça, o qual é constituído por:

- **Núcleo** muito pequeno com a carga positiva, onde se concentra quase toda a massa do átomo.
- **Elétrons** com carga negativa movendo-se em volta do núcleo.

Este modelo é conhecido como **Modelo Planetário**, pois o átomo seria um sistema semelhante ao sistema solar, como mostra a figura 8.

[28] Disponível em: https://vaiquimica.com.br/wp-content/uploads/2021/02/comportamento_das_particulas_alfa.png

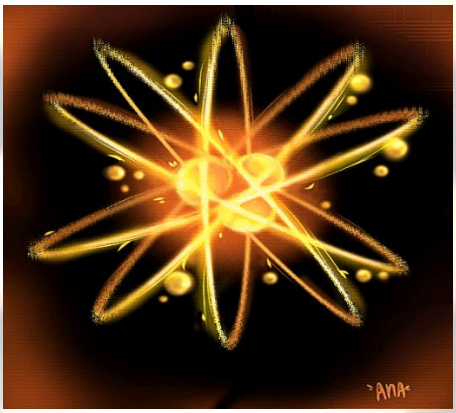


Figura 38: Representação do átomo de acordo com o modelo de Rutherford.
Fonte: próprio autor, 2022.

2.2.4 Modelo Atômico de Bohr

O modelo proposto por Rutherford era incompatível com algumas das teorias da Física.

De acordo com o que se conhecia na Eletrodinâmica, os elétrons ao percorrerem suas órbitas perderiam energia na forma de radiação, pois os elétrons possuem carga negativa e o núcleo possui carga positiva, fazendo com que o raio da órbita diminuísse gradativamente tornando seu movimento espiralado e assim iria acabar por cair sobre o núcleo, afetando a estabilidade do átomo, como ilustra a figura 9 (BROCKINGTON; SIQUEIRA; PIETROCOLA, 2017).

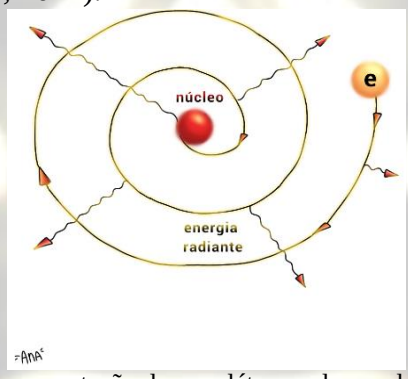


Figura 39: Representação de um elétron colapsando no núcleo do átomo.
Fonte: próprio autor.

Então, em 1913, o físico dinamarquês Niels Bohr (1885 – 1962), que trabalhou com Thomson e posteriormente com Rutherford, continuou o trabalho destes dois físicos, aperfeiçoando o modelo atômico de Rutherford.

Bohr propôs um refinamento no modelo de Rutherford, pois pela Física clássica o modelo de Rutherford não se sustentava. Segundo as leis do Eletromagnetismo, os elétrons ao orbitar o núcleo do átomo emitem radiação perdendo energia; a consequência

seria um movimento em espiral com diminuição do raio da órbita até colapsar com o núcleo atômico.

Bohr postulou que os elétrons estariam fixos nas órbitas circulares propondo uma quantização do momento angular com valores específicos e múltiplos da constante de Planck dividido por 2π, chegando em um modelo estável (MAIA; BIANCHI, 2007).

Os elétrons poderiam se movimentar em órbitas circulares com uma certa quantidade de energia constante que poderia ser transformada quando o elétron muda de nível, como mostra a figura 10 (CARUSO; SANTORO, 2012).

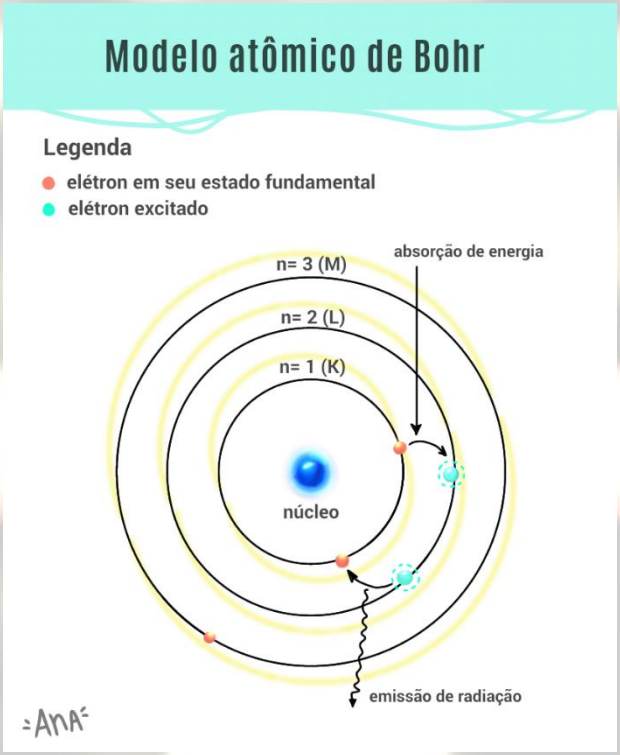


Figura 40: Modelo Atômico de Bohr.
Fonte: próprio autor.

O modelo atômico de Bohr foi descrito através dos postulados, citados a seguir:

- O elétron gira em torno do núcleo sem perder energia;
- Apenas as órbitas com momento angular com múltiplo inteiro de $\frac{h}{2\pi}$ são permitidas. Onde h é a constante de Planck = 6,62607015.10–34 J/s.
- Quando o elétron absorve energia (fóton) ele salta para uma órbita mais externa.
- Quando o elétron salta para uma órbita mais interna ele emite energia (fóton) (SEARS; ZEMANSKY, 2016).

Assim o modelo proposto por Bohr considerava que:

- Apenas algumas órbitas seriam permitidas aos elétrons.
- Cada órbita correspondia a um nível de energia bem definido.
- Os elétrons podem saltar de uma órbita para outra ao absorver ou emitir energia.
- O nível mais energético seria o mais distante do núcleo e o menos energético o mais próximo.

Esses postulados renderam a Niels Bohr o prêmio Nobel de Física em 1922.

2.2.5 A descoberta do Nêutron

Em 1932, o físico britânico James Chadwick (1891 – 1974), colaborador de Ernest Rutherford, utilizou o Princípio de Conservação da Quantidade de Movimento para comprovar a previsão de Ernest Rutherford, a qual previa que no núcleo do átomo haveria uma partícula sem carga, mas com a massa igual ao do próton que era originada de uma possível ligação de um próton com um elétron. O Princípio de Conservação da Quantidade de Movimento diz que: se a resultante das forças externas que atuam sobre o sistema for nula, a quantidade de movimento é conservada, ou seja, em um sistema isolado, a quantidade de movimento é constante.

Chadwick colidiu feixes de partículas alfa contra um disco composto de berílio, como mostra a figura 11. Com isso, apareceu um tipo de radiação diferente. Depois de fazer vários cálculos e medir a massa dessas partículas, Chadwick verificou que o núcleo do berílio radioativo emitia partículas sem carga elétrica e de massa praticamente igual a dos prótons, assim Chadwick descobriu outro tipo de partícula existente no núcleo do átomo, o **nêutron**. Os nêutrons são partículas sem carga elétrica (CARUSO; SANTORO, 2012).

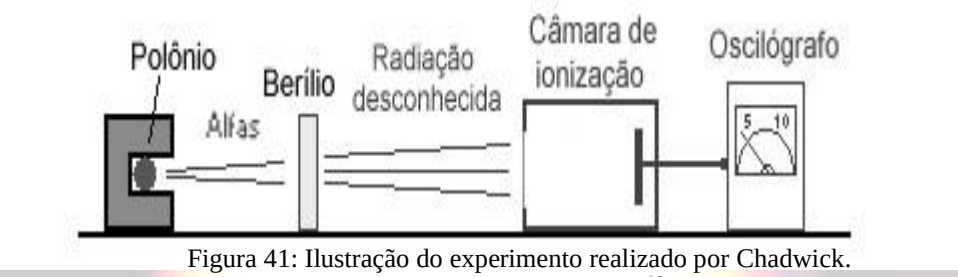


Figura 41: Ilustração do experimento realizado por Chadwick.
Fonte: https://seara.ufc.br[29]

[29] https://seara.ufc.br/wp-content/uploads/2019/03/setupchadwick.jpg

2.2.6 Modelo Atômico de Nuvem Eletrônica

Apesar do modelo proposto por Bohr ser utilizado por muitos cientistas, visto ser de fácil visualização, o mesmo apresentava algumas falhas. Pode-se verificar as inconsistências deste modelo analisando um átomo de hidrogênio que apresenta um único elétron, as inconsistências seriam:

- Sendo um único elétron girando em torno de um único próton, teria-se um modelo plano (semelhante a um disco de vinil com uma única órbita), o que tornaria impossível um gás formado por esse elemento exercer pressão em todas as direções do espaço com essa configuração plana. A aglomeração de átomos de hidrogênio, desta forma, teria a tendencia de ficarem empilhados como se fossem discos um em cima do outro;
- Com o movimento circular de um elétron em torno do núcleo em um modelo plano pelas leis do Eletromagnetismo, teria-se a formação de um campo magnético, tendo em vista que uma carga girando origina a formação de polos positivo e negativo, consequentemente haveria uma ação entre os átomos vizinhos. Nesta configuração poderíamos ter átomos com polo positivos para cima e outros para baixo, o que provocaria anulação do campo magnético;
- Esse modelo não explica as ligações interatômicas;
- Este modelo adequava-se a átomos com apenas um elétron, falhando para átomos com vários elétrons;
- Este modelo também não explicava a interação entre vários átomos.

Por volta de 1927 os cientistas deixaram de acreditar que o elétron teria uma trajetória bem definida em torno do núcleo.

O austríaco Erwin Rudolf Josef Alexander Schrödinger, (1887 – 1961), o qual foi um físico teórico, trouxe a ideia do que seria o orbital com um conceito diferente de órbita, como sendo uma região do espaço onde o elétron poderia surgir com uma certa probabilidade de ser encontrado (EISBERG; RESNICK 1988).

Na figura 12 observamos nuvens de probabilidade de elétrons em diferentes níveis de energia. Essas nuvens foram propostas por Schrödinger para o átomo de Hidrogênio no qual:

- o elétron passou a ser descrito por uma nuvem de densidade eletrônica;
- onde for mais densa a nuvem, maior é a probabilidade de encontrar o elétron;
- a nuvem é mais densa próximo do núcleo, e menos densa longe do núcleo.

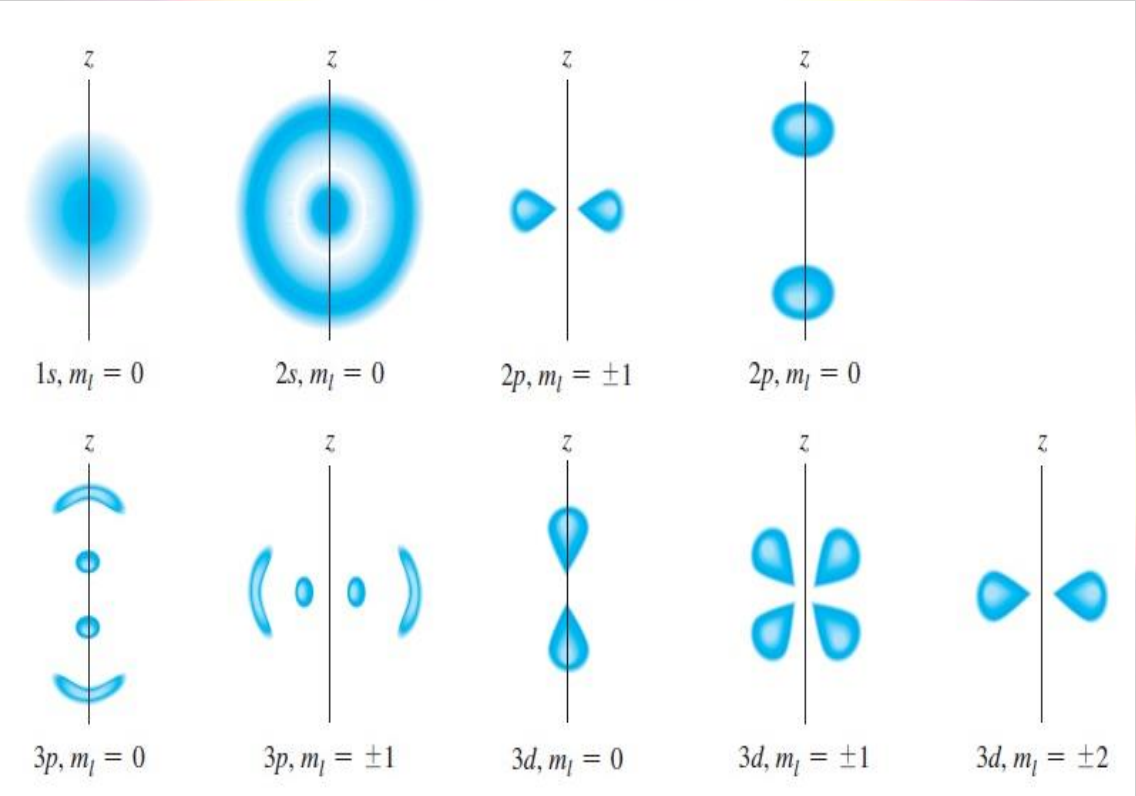


Figura 42: Modelos da Nuvem Eletrônica do átomo em diferentes níveis de energia.
Fonte: SEARS; ZEMANSKY, 2016.

Desde 1923 esse é o modelo mais atual, no entanto, ainda não chegou-se a um consenso de qual nome ser utilizado para referir-se a tal modelo. Alguns nomes são utilizados, tais como: Modelo Atômico da Nuvem Eletrônica; Modelo Atômico de Schrödinger; Modelo Atômico Quântico e Modelo Atômico Atual. Neste trabalho decidiu-se referir-se a este modelo como sendo o **Modelo Atômico da Nuvem Eletrônica**.

2.3 Muito Além do Átomo, o Modelo Padrão das Partículas Elementares

Hoje seguimos um modelo teórico proposto em 1964, chamado de **Modelo Padrão das Partículas Elementares** (Figura 13), que se consolidou em 2012 com a comprovação do Bóson de Higgs, verificado experimentalmente no Grande Colisor de Hádrons, ou LHC (*Large Hadron Collider*), localizado no Centro Europeu de Pesquisa Nuclear (CERN), com sede em Genebra – Suíça (ABDALLA, 2016).

Na tabela periódica, encontramos pela presença dos prótons e nêutrons em todos os elementos, um fator unificador pois os elementos são formados por diferentes

combinações destes. A simetria observada nos levou para um novo modelo atômico a partir da hipótese de Bohr.

Em 1913, Bohr propôs em uma hipótese a estabilidade para o átomo, fortalecida pela explicação do espectro de emissão de luz pelo átomo de hidrogênio para certas frequências. Em 1914, o próton é descoberto por E. Rutherford, o qual percebeu que os núcleos dos átomos não eram elementares, sendo necessária a existência de outra partícula, pois sua massa era maior que a dos prótons que lá existiam. Em 1932, os nêutrons foram descobertos (MAIA; BIANCHI, 2007).

Em 1935, Yukawa propôs que para os prótons ficarem junto aos nêutrons seria necessária a existência de uma força "forte", com troca de partículas mediadoras, os **píons** ou **méson pi**, apoiado pela Teoria Quântica de Campos (QED) (BROCKINGTON; SIQUEIRA; PIETROCOLA, 2017).

Um físico brasileiro que teve contribuição decisiva para a descoberta dos **píons** foi César Lattes. Físico com grande renome no cenário internacional a ponto de muitos dizerem que Lattes deveria estar no grupo de vencedores do Prêmio Nobel de 1950.

Lattes foi muito importante para a Física brasileira, ao lado de outros grandes físicos brasileiros, ajudou a desenvolver uma infraestrutura de pesquisa que até hoje tem sua marca. Lattes fundou e foi o primeiro diretor do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF), também fundou o CNPq, e a Universidade de Brasília entre outras grandes contribuições. Sem dúvida, Lattes foi um dos maiores nomes da ciência e que poucos têm conhecimento (SOARES et al, 2018).

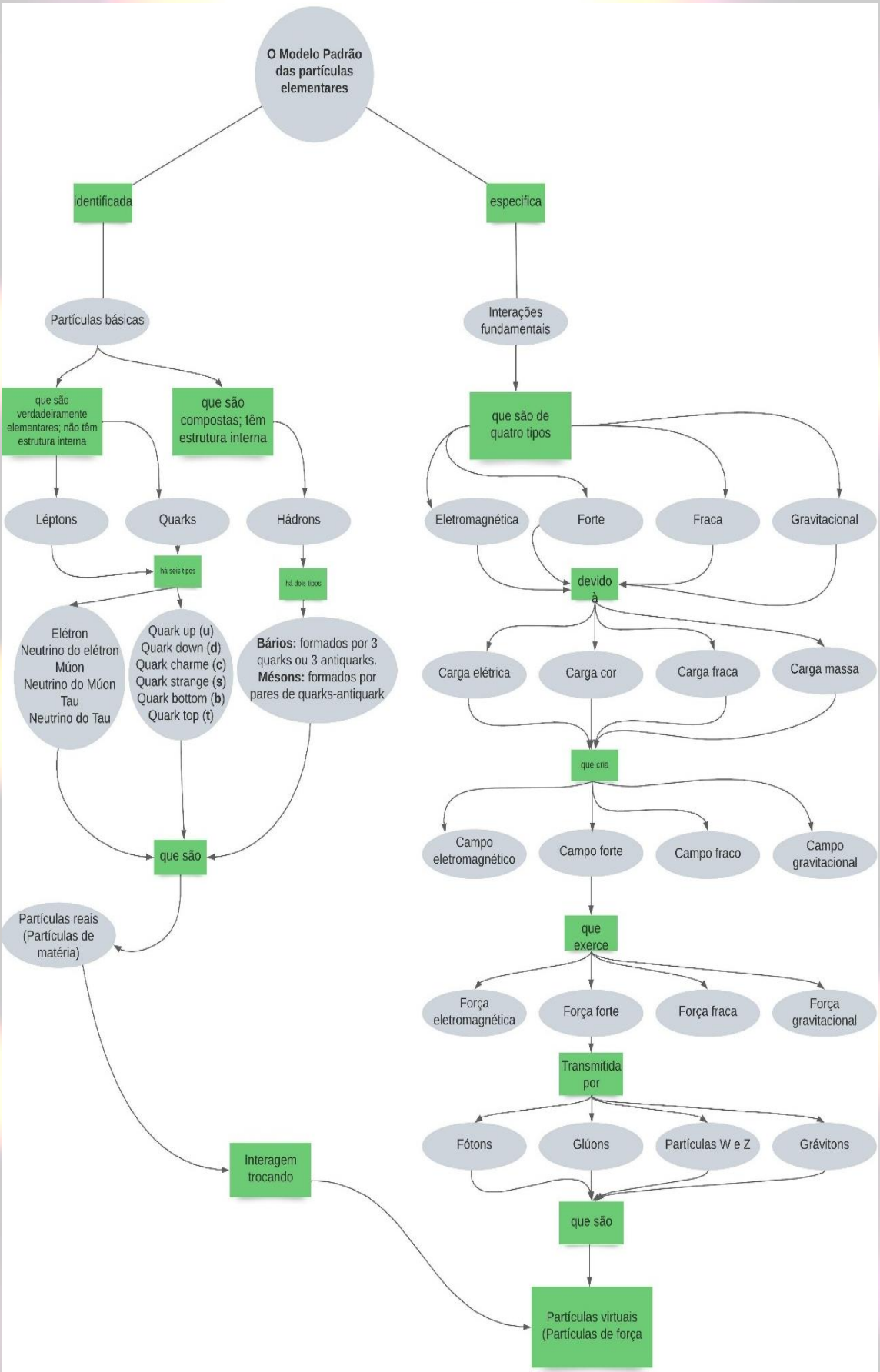


Figura 43:Esquema simplificado para o Modelo Padrão.
Fonte: Moreira, 2011 (Adaptado).

2.3.1 Os Quarks e Anti Quarks

Em 1964, Murray Gell-Mann e Kazuhito Nishijima propõem que algumas características dos prótons e nêutrons só poderiam ser definidas se alguns outros elementos pudessem coexistir dentro dos prótons e nêutrons, os chamados “tijolinhos” fundamentais. Nesta proposta os prótons e os nêutrons deixaram de ser partículas elementares.

Segundo o modelo proposto por Gell-Mann existiriam partículas elementares que foram chamadas de **Quarks** que formam os hádrons.

Os **Quarks** são divididos em três gerações ou famílias, com seis tipos chamados de “**sabores**” sendo eles: **Up (u)**, **Down (d)**, **Strange (s)**, **Charm (c)**, **Bottom (b)** e **Top (t)** (ABDALLA, 2016).

Na tabela 1 podemos ver o ano, o local e os descobridores dos Quarks e na tabela 2 podemos ver as características e propriedades de cada um dos Quarks.

Tabela 10: Quarks – Descobridor / Onde/ Ano

Quark	Descobridor	Onde / Ano
Up	M. Gell-Mann e George Zweig / 1964	SLAC Collb. / 1968
Down	M. Gell-Mann e George Zweig / 1964	SLAC Collb. / 1968
Strange	M. Gell-Mann / 1964	Raios cósmicos
Charm	C.C.Ting e B. Richter	SLAC e BNL / 1974
Bottom	Leon M. Lederman	Fermilab Collb / 1977
Top	CDF e DØ Collb.	Fermilab / 1995

Fonte: SLAC – Stanford Linear Accelerator Center; BNL – Brookhaven National Laboratory

Tabela 11: Quarks – Características / Propriedades

Quark	Símbolo	Carga	Massa (MeV/c^2)	Spin
Up	u	$+\frac{2}{3}e$	2,2	$\frac{1}{2}$
Down	d	$-\frac{1}{3}e$	4,7	$\frac{1}{2}$
Charm	c	$+\frac{2}{3}e$	1.280,0	$\frac{1}{2}$
Strange	s	$-\frac{1}{3}e$	96	$\frac{1}{2}$
Top	t	$+\frac{2}{3}e$	173.100,00	$\frac{1}{2}$
Bottom	b	$-\frac{1}{3}e$	4.180,00	$\frac{1}{2}$

Fonte: SLAC - Stanford Linear Accelerator Center; BNL – Brookhaven National Laboratory

Os Quarks possuem duas propriedades distintas que os diferenciam; a primeira é chamada de confinamento, já que Quarks livres não são observados separadamente na natureza, pois quanto mais se tenta afastá-los maior é a interação entre eles. A segunda é conhecida como liberdade assintótica pelo fato de que a maior proximidade entre os Quarks proporciona menor interação entre eles (ABDALLA, 2016).

O físico Paul Dirac (1829) propôs que cada partícula tem sua antipartícula correspondente. Uma antipartícula tem a mesma massa e o mesmo spin da partícula em questão, porém carga oposta. Quando uma partícula colide com sua antipartícula, há sua aniquilação, e assim havendo transformação na sua forma de energia. Portanto, antipartículas não são partículas completamente diferentes (MOREIRA, 2007).

Assim para cada Quark há seu Antiquark, com a mesma massa e o mesmo spin do Quark em questão, porém com carga oposta, perfazendo um total de 36 constituintes elementares [(6 Quarks + 6 Anti Quarks) x 3 “sabores” = 36 constituintes elementares)]. Na tabela 3 podemos observar as características e propriedades dos Antiquarks.

Tabela 12: Antiquarks – Características / Propriedades.

Antiquark	Símbolo	Carga	Massa (MeV/c^2)	Spin
Anti Up	$\bar{u}$	$-\frac{2}{3}e$	2,2	$\frac{1}{2}$
Anti Down	$\bar{d}$	$+\frac{1}{3}e$	4,7	$\frac{1}{2}$
Anti Charm	$\bar{c}$	$-\frac{2}{3}e$	1.280,0	$\frac{1}{2}$
Anti Strange	$\bar{s}$	$+\frac{1}{3}e$	96	$\frac{1}{2}$
Anti Top	$\bar{t}$	$-\frac{2}{3}e$	173.100,00	$\frac{1}{2}$
Anti Bottom	$\bar{b}$	$+\frac{1}{3}e$	4.180,00	$\frac{1}{2}$

Fonte: SLAC - Stanford Linear Accelerator Center; BNL – Brookhaven National Laboratory.

Os prótons e nêutrons, partículas constituintes do núcleo atômico, são chamadas de **Hádrons**, que do grego significa forte, massiva ou robusta. Existem dois tipos de Hádrons: os mésons que são partículas formados por um quark e um antiquark e os bárions constituídos por três quarks ou três antiquarks (ENDLER, 2010).

2.3.2 Os Léptons e Anti Léptons

Não somente os quarks, mas também os léptons (leves) são partículas fundamentais constituintes da matéria, as quais não experimentam a força forte, podendo ter carga elétrica ou não (neutrinos), sem possuir cor (“brancos”), pois a cor é uma propriedade dos quarks, com seis sabores ou tipos, em três gerações ou famílias, sendo eles: **Elétron**, **Neutrino do elétron**; **Múon**, **Neutrino do Múon**; **Tau**, **Neutrino do Tau** (ABDALLA, 2016; ENDLER, 2010).

Na tabela 4 podemos ver o ano, o local e os descobridores dos Léptons e na tabela 5 podemos ver as características e propriedades de cada um dos Léptons.

Tabela 13: Léptons – Descobridor / Onde/ Ano

Lépton	Descobridor	Onde / Ano
Elétron	J.J.Thompson	ampola de Crookes / 1897
Múon	S. Neddermeyer e C.Anderson	raios cósmicos / 1937
Neutrino do Elétron	C.Cowan e F.Reines	Reator / 1956
Neutrino do Múon	L.Lederman, M.Schwartz e J.Steinberger	BNL / 1962
Tau	M.Perl	SLAC / 1976
Neutrino do Tau	DONUT Collab.	Fermilab / 2000

Fonte: SLAC - Stanford Linear Accelerator Center; BNL – Brookhaven National Laboratory

Tabela 14: Léptons – Características / Propriedades

Lépton	Símbolo	Carga	Massa (MeV/c^2)	Spin
Elétron	E	–1	0,511	$\frac{1}{2}$
Neutrino do Elétron	U_e	0	< 0,00001	$\frac{1}{2}$
Anti Múon	μ	–1	105,658	$\frac{1}{2}$
Neutrino do Múon	U_μ	0	< 0,27	$\frac{1}{2}$
Anti Tau	T	–1	1776,99	$\frac{1}{2}$
Neutrino do Tau	U_t	0	< 31	$\frac{1}{2}$

Fonte: Abdalla, 2006, adaptado.

Assim como os Quarks que possuem seus respectivos Antiquarks, para cada Lépton há um Anti Lépton associado a ele, perfazendo um total de 12 constituintes elementares (6 Léptons + 6 Anti Léptons = 12 constituintes elementares) (ABDALLA, 2016; ENDLER, 2010).

Na tabela 6 podemos ver as características e propriedades de cada um dos Anti Léptons.

Tabela 15: Antiquarks – Características / Propriedades.

Anti Lépton	Símbolo	Carga	Massa (MeV/c^2)	Spin
Anti Elétron ou Pósitron	$\bar{e}$	1	0,511	$\frac{1}{2}$
Anti Neutrino do elétron	$\overline{U_e}$	0	< 0,00001	$\frac{1}{2}$
Anti Múon	$\bar{\mu}$	1	105,658	$\frac{1}{2}$
Anti Neutrino do múon	$\overline{U_\mu}$	0	< 0,27	$\frac{1}{2}$
Anti Tau	$\bar{t}$	1	1776,99	$\frac{1}{2}$
Anti Neutrino do tau	$\overline{U_t}$	0	< 31	$\frac{1}{2}$

Fonte: Abdalla, 2006, adaptado.

Quarks e Léptons são chamados de férmions por obedecerem a um princípio de exclusão proposto por Pauli segundo o qual duas partículas do mesmo tipo não podem ocupar o mesmo estado quântico, ou seja, de energia e spin, sendo o spin dos férmions comuns, justificando os mesmos a orientação quantizada espacial da partícula. Os férmions possuem spin semi-inteiro.

2.3.3 Os Bósons

Os Bósons são partículas mediadoras das forças fundamentais da natureza de spin inteiro. O modelo padrão sendo restrito à força gravitacional indica o fóton como partícula mediadora da força eletromagnética; os Glúons mediadores da força forte e as partículas W^+, W^- e Z_0 mediadores da força fraca.

A força eletromagnética está presente em todos os Quarks e Léptons que possuem carga elétrica; no total 08 Glúons com combinação de cores. Os Glúons são responsáveis pela transmissão da força forte entre os mésons e bárions constituídos pelos Quarks que interagem fortemente (ABDALLA, 2016; ENDLER, 2010).

Na tabela 7 podemos observar o ano e quem teorizou cada um dos Bósons.

Tabela 16: Bósons – Hipótese Teórica / Descoberta

Partícula	Hipótese Teórica	Ano
Fóton	Albert Einstein	1905
Glúons	Oscar W. Greenberg	1964
W^+	Steven Weinberg	1960
W^-	Steven Weinberg	1960
Z^0	Steven Weinberg	1960
Higgs	Peter Higgs e François Englert	1964

Fonte: DESy – Deutscher Elektronen-Syn-chrotron; CERN - European Organization for Nuclear Research

Já na tabela 8 observa-se as características e propriedades de cada um dos Bósons.

Tabela 17: Bósons – Características / Propriedades

Partícula	Símbolo	Carga	Massa (GeV/c^2)	Spin
Fóton	γ	0	0	1
glúons	g	0	0	1
W^+	W^+	+1	80,39	1
W^-	W^-	-1	80,39	1
Z^0	Z	0	91,19	1
Higgs	H	0	125,30	0

Fonte: DESy – Deutscher Elektronen-Syn-chrotron; CERN - European Organization for Nuclear Research

2.3.4 O Modelo Padrão

O Modelo Padrão se fundamenta nas teorias da Física Quântica e da Relatividade Restrita sendo constituído atualmente por 61 partículas ditas elementares, sendo algumas constituintes da estrutura da matéria, definindo a estrutura do átomo como conhecemos. É quase uma “teoria de tudo” ou uma “teoria de quase tudo” (OERTER, 2006).

O Modelo Padrão abrange duas áreas distintas de estudo, sendo a primeira a Teoria Eletrofraca que agrega as dimensões atômicas pela interação eletromagnética e a interação nuclear fraca. A outra área é a Cromodinâmica Quântica (QCD) que estuda as interações fortes entre os Quarks.

O modelo possui também ferramentas matemáticas que permitem calcular grandezas físicas para sua fundamentação, como os diagramas de Feynman que descrevem os processos possíveis nas interações (ENDLER, 2010).

Na figura 14 vemos um diagrama de Feynman que representa uma das possibilidades de obtenção do Bóson de Higgs pela análise probabilística deste processo.

O Bóson de Higgs, também chamado de "partícula de Deus", foi previsto por Peter Higgs e François Englert em 1964 pela Teoria Quântica de Campos (TQC) e detectado no LHC em 2012 (ENDLER, 2010; CARUSO; OGURI; SANTORO, 2012).

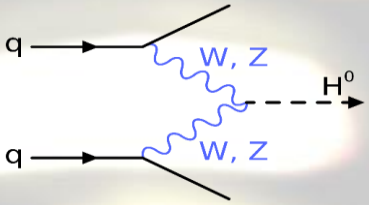


Figura 44: Diagrama de Feynman representando uma possibilidade de obtenção do Bóson de Higgs.
Fonte: próprio autor.

Para a TQC, a matéria é descrita através do conceito de campo quântico que pelo pressuposto teórico existe em todo o universo, associado à localização das partículas elementares fundamentais e suas propriedades.

Pela proposta teórica de Peter Higgs e François Englert, cobrindo uma lacuna deixada pela TQC, as massas das partículas elementares seriam determinadas por um outro campo denominado como campo de Higgs.

O campo de Higgs possui energia constante que atua de modo resistente a outras partículas sendo transformada em massa pela equivalência da equação relativística $E=mc^2$.

Na figura 15 observa-se o infográfico com as informações do Modelo Padrão que contêm: as Partículas Elementares, ano da descoberta e o local onde foram descobertas.

Figura 45: Infográfico do Modelo Padrão.
Fonte: Beatriz Abdalla/Jornal da USP, baseada na publicação de Symmetry Magazine

2.4 As Interações Fundamentais

A interação entre as partículas elementares do Modelo Padrão ocorre nas três grandes forças da natureza pelas partículas mediadoras como descrito anteriormente. Os Fótons mediam a força eletromagnética por uma distância infinita, os Glúons mediam a força forte com alcance de 10^{-15} m e as partículas mediadoras da força fraca W^+, W^- e Z^0 próximo de 10^{-13} cm.

A Física é a Ciência responsável pelo estudo da natureza e de seus fenômenos naturais. Na Física há uma área que estuda as partículas elementares que constituem a matéria, se dedicando também ao estudo da radiação emitida pelas partículas e a interação entre elas, essa área chama-se **Física de Partículas Elementares** ou também **Física de Altas Energias**, uma vez que várias partículas elementares são criadas apenas a energias elevadas, assim, só há possibilidade de detecção delas com altas energias de aceleração.

Há quatro tipos de interações fundamentais que são: **Eletromagnética**, **Gravitacional**, **Interação Forte** e a **Interação Fraca**. (MOREIRA, 2011).

A seguir veremos detalhadamente essas interações que a Física de Partículas estuda.

2.4.1 A Interação Eletromagnética

A Interação Eletromagnética ocorre entre as partículas que possuem carga elétrica, podendo ser classificada como atrativa ou repulsiva; tal interação é nula para toda matéria eletricamente neutra, com equilíbrio entre as cargas positivas e negativas, como a

encontramos na natureza em sua composição comum. Em uma escala pontuada por uma potência de base 10, sua ordem de grandeza tem intensidade 10^{-2} N, alcance infinito e tempo médio de vida 10^{-15} segundos (CARUSO; SANTORO, 2012).

2.4.2 A Interação Gravitacional

A Interação Gravitacional ocorre entre as partículas que possuem massa, sendo sempre atrativa, estando presente no núcleo atômico. Em um estudo comparativo das interações no núcleo do átomo, observamos que a Interação Eletromagnética é bem maior que a Interação Gravitacional. Sua intensidade na escala apontada corresponde à ordem de 10^{-40} N, alcance infinito e tempo médio de vida indeterminado; o fato de possuir uma ordem de grandeza de pequeno valor, em comparação às demais interações, corrobora com sua não aplicação no estudo da Física de partículas (CARUSO; SANTORO, 2012).

2.4.3 A Interação Forte

A Interação Forte está presente nas partículas que apresentam cor[30], tem intensidade 10 na ordem de grandeza apontada, alcance de 10^{-13} cm e tempo de vida médio de 10^{-23} segundos, sendo responsável pela permanência dos prótons e nêutrons no núcleo atômico. Tal interação por sua característica afeta os Bárions e Mésons formados por Quarks, mas não atingem os Léptons por não possuírem tal propriedade quântica (ABDALLA, 2016).

2.4.4 A Interação Fraca

A Interação Fraca atua sobre as partículas que possuem sabor[31] como Léptons e Quarks, sendo descaracterizada pela sua intensidade nos Bárions e Mésons devido a maior ação das interações eletromagnética e forte. É muito significativa nas interações entre os neutrinos pois se manifesta de modo exclusivo para essas partículas. Os decaimentos radioativos alfa, beta e gama são exemplos de atuação da interação fraca pela instabilidade do núcleo atômico. No decaimento alfa há emissão de núcleos de hélio ou partículas alfa, no decaimento beta há emissão de elétrons ou pósitrons e no decaimento

[30] É uma propriedade dos quarks. Os quarks tem três tipos de cores diferentes. A cor permite que quarks se unam para formar prótons, nêutrons e outras partículas (BALTHAZAR; OLIVEIRA, 2010).

[31] São os tipos de Quarks, os quais são: u (quark up); c (quark charm); e t (quark top), de carga +2/3 e d (quark down); s (quark strange) e b (quark bottom) de carga –1/3 (BALTHAZAR; OLIVEIRA, 2010).

gama há emissão de um *quantum* de radiação eletromagnética. A intensidade da Interação Fraca é da ordem de grandeza 10^{-5} N, alcance muito menor que 10^{-13} cm e tempo de vida médio 10^{-8} segundos (MOREIRA, 2011).

Na figura 16 podemos observar um mapa conceitual sobre as interações fundamentais.

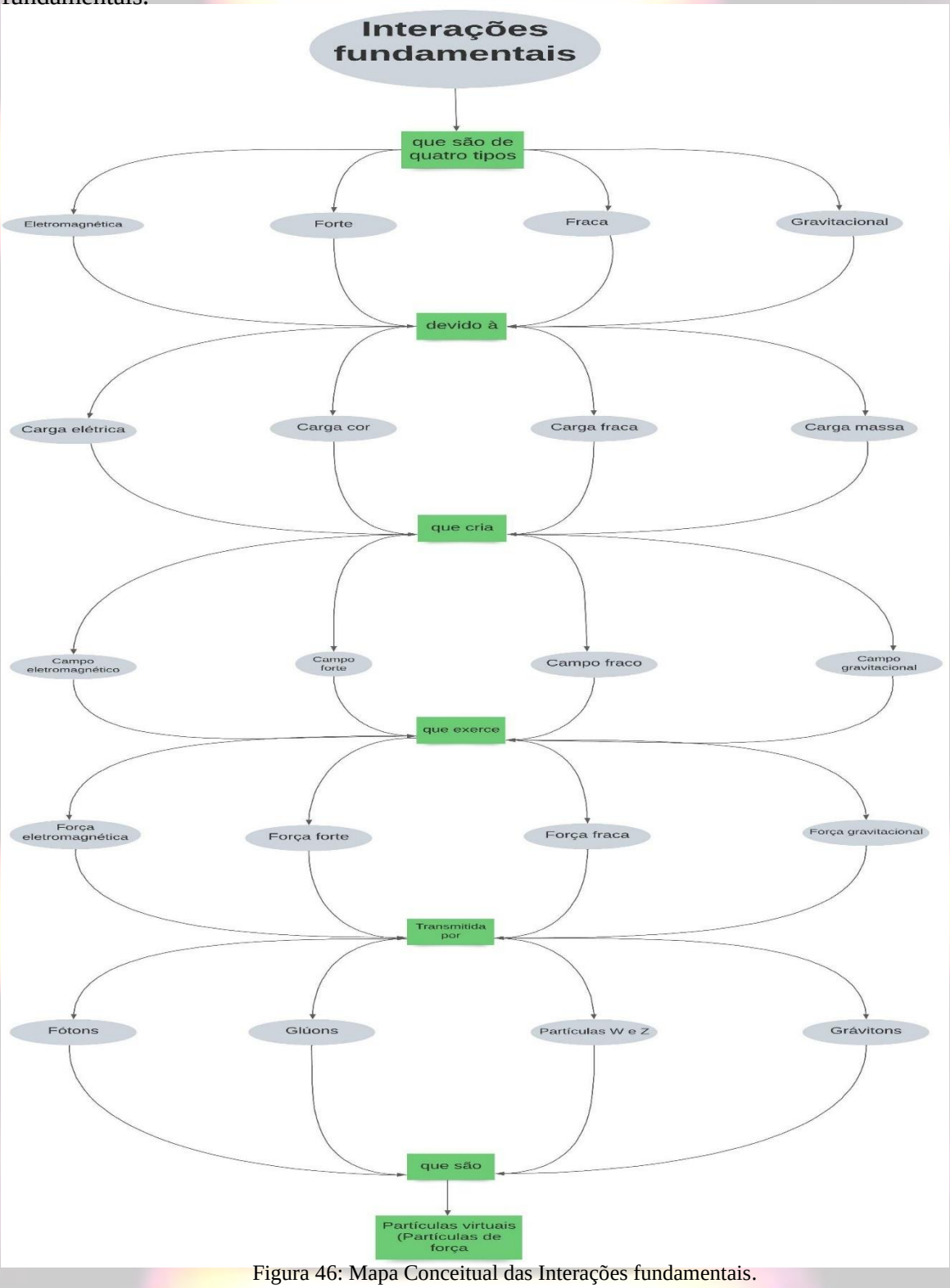


Figura 46: Mapa Conceitual das Interações fundamentais.
Fonte: Moreira, 2011 (Adaptado).

2.4.5 A Unificação das Quatro Interações Fundamentais

As quatro interações fundamentais tiveram sua justificativa teorizada no século XX em conjunto com a Física Quântica e a teoria da Relatividade Geral.

A busca pelo "Santo Graal" da Física passou ser a tentativa de unificação de todas as áreas do conhecimento através da junção das interações fundamentais, já tentada por Albert Einstein em seus últimos dias, assim como vislumbrada em filmes como Interestelar de Christopher Nolan.

Esta proposta ganhou o nome de **Teoria da Grande Unificação** (TGU). Na década de 60, S. Glashow, A. Salam e S. Weinberg apresentaram uma teoria unificadora para as interações eletromagnética e fraca: a teoria eletrofraca; como resultado da proposta, os bósons W^{+}, W^{-} e Z^{0} foram encontrados pelo CERN em 1983 com colisões energéticas a 540 GeV entre prótons e sua antipartícula.

A experiência mostrou que os fótons e os bósons de Gauge que possuem massa nula em baixas energias, apresentam massividade na mistura de suas massas em uma única interação com energias acima de 100 GeV.

A unificação apresentada e experimentalmente comprovada no acelerador *Large Electon Positron collider* (LEP), corrobora com a busca da TGU como o "Santo Graal" em altas energias.

O modelo padrão das partículas elementares propõe energias da ordem de 10^{16} GeV e nesta proximidade se pressupõe a unificação das interações eletrofraca e forte na TGU; tal pressuposto é aceito pelo motivo das interações fracas e fortes energeticamente serem semelhantes nesta proximidade, tendo em vista que a interação eletrofraca aumenta com a energia enquanto a forte diminui.

Na figura 17 observamos um mapa conceitual sobre a Teoria de Tudo ("*Theory of Everything – TOEs*") que propõe uma continuidade desse nível energético, aceito para energias acima de 10^{19} GeV (escala de Planck) a unificação de todas as interações fundamentais da natureza.

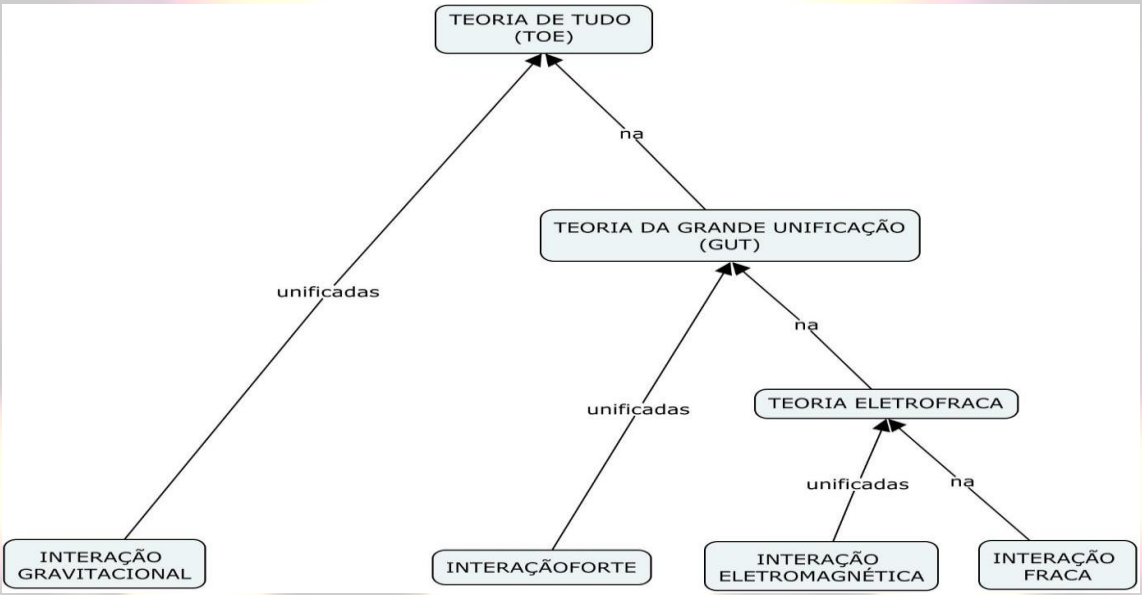


Figura 47: Mapa Conceitual sobre a Teoria de Tudo.
Fonte: Moreira, 2011.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo será discutido a metodologia utilizada para a realização deste trabalho.

3.1 Metodologia Baseada na Aprendizagem Significativa

Segundo Ausubel, é essencial que o professor valorize os conhecimentos prévios do discente, os quais poderão servir como subsunçores, assim contribuindo para que ocorra uma aprendizagem significativa. A valorização desses conhecimentos poderá ocorrer com a utilização de materiais significativos que esteja relacionado com a estrutura cognitiva do discente de maneira não literal e não arbitrária, os quais ajudará no reforço dos subsunçores, evitando a aprendizagem mecânica, através da memorização. Esse tipo de estratégia de ensino tem como essência: a participação dos discentes; a motivação, os conhecimentos prévios, seus interesses, tudo deve ser considerado e aproveitado em todas as etapas do processo ensino aprendizagem.

3.2 Sequência Didática Baseada nos Três Momentos Pedagógicos e na Aprendizagem Significativa

Um estudo de caso se pauta no estudo específico de um caso de interesse do investigador, dentro do ambiente ou contexto da vida real (YIN, 2015). Ainda de acordo com o autor este tipo de abordagem envolve múltiplas fontes de informações como: observações, entrevistas, materiais audiovisuais, documentos e relatórios. Assim, elaborou-se uma sequência didática com atividades lúdicas e aplicações de tecnologias

digitais com o objetivo de inserir conceitos básicos sobre Física de Partículas Elementares no Ensino Médio baseada nos **3MP (Três Momentos Pedagógicos)** proposto inicialmente por Delizoicov e Angotti (1992) e na Aprendizagem Significativa estabelecida por Ausubel.

Este produto educacional poderá ser aplicado aos discentes do terceiro ano do Ensino Médio, no momento que o professor ministre eletrostática, mais precisamente, quando for apresentar os modelos atômicos. Com isso, os alunos poderão perceber que a constituição da matéria vai muito além do átomo.

A seguir, na tabela 9 estão descritas as ações que contemplarão os 3MP na sequência didática com atividades lúdicas e aplicações de tecnologias digitais com o objetivo de inserir conceitos básicos sobre Física de Partículas Elementares no Ensino Médio.

3.3 Cronograma da Sequência Didática

A seguir, na tabela 9 estão descritas as ações que contemplarão os 3MP na sequência didática com atividades lúdicas e aplicações de tecnologias digitais com o objetivo de inserir os conceitos básicos sobre Física de Partículas Elementares no Ensino Médio.

Tabela 18: Ações para abordagem dos 3MP na Sequência didática.

Fases dos 3 MP	Ação	Etapa
Problematização Inicial	Aplicar o pré-teste com questões objetivas para verificação dos conhecimentos prévios.	I
	Discutir sobre o que é a matéria e de que a mesma é composta para identificação dos conhecimentos prévios dos estudantes.	II
Organização do conhecimento	Apresentar do site a "**Escala do Universo**", disponível em: https://htwins.net/scale2/.	III
	Apresentar um breve histórico da Física de partículas e os Modelos Atômicos.	IV
	Apresentar o simulador - Experimento de Rutherford, disponível em: https://phet.colorado.edu/en/simulation/rutherford-scattering	V

	Construir mapas conceituais sobre evolução dos modelos atômicos ao longo da história.	VI
	Apresentar o Modelo Padrão de Partículas e as interações fundamentais da natureza.	VII
	Visita virtual guiada ao LCH, CERN, Suíça.	VIII
Aplicação do conhecimento	Aplicação do produto educacional.	IX
	Aplicação do pós-teste para verificação do conhecimento após o desenvolvimento das atividades da sequência didática.	X

Com este produto educacional o professor poderá ministrar aulas mais dinâmicas de forma expositiva e dialogada, tendo ao seu favor recursos didáticos, tais como: audiovisuais, leituras, utilização de simuladores e jogos, construção de mapas conceituais, visitas virtuais e aplicação de questionários pré-teste e pós-teste com o objetivo de averiguar o processo de ensino aprendizagem antes e depois do desenvolvimento da metodologia baseada nos 3MP e na Aprendizagem Significativa.

A Sequência Didática é composta por planos de atividades explicitando os Modelos Atômicos e o Modelo Padrão da Partículas Elementares, no decorrer de nove aulas, com duração de 55 minutos cada, conforme pode ser verificada no **apêndice A**.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDALLA, M. C. B. **O discreto charme das Partículas Elementares.** São Paulo: Editora UNESP, 2016.

AUSUBEL, D. P; NOVAK, J; HANESIAN, H. **Psicologia educacional**. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.

AUSUBEL, D. P. **The Acquisition and Retention of Knowledge:** A Cognitive View. 1. Ed. New York: Springer Science + Business Media Dordrecht, 2000.

BALTHAZAR, W. F.; OLIVEIRA, A. L. **Partículas Elementares no Ensino Médio: uma abordagem a partir do LHC.** São Paulo: Editora Livraria da Física: Rio de Janeiro: CBPF – Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (Coleção Tópicos em Física). 2010.

BROCKINGTON, G.; SIQUEIRA, M.; PIETROCOLA, M. **A Realidade Escondida: A Inserção de Conceitos de Física Quântica e de Partículas no Ensino Médio**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2017.

CARUSO, F.; SANTORO, A. **Do Átomo à Física das Interações Fundamentais**. 3ª. ed. Rio de Janeiro: Editora Livraria da Física, 2012.

CARUSO, F.; OGURI, V.; SANTORO, A. **O que são Quarks, Glúons, Bóson de Higgs, Buracos Negros e Outras Coisas Estranhas?**. 3ª. ed. Rio de Janeiro: Editora Livraria da Física, 2012.

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

ENDLER, A. M. F. **Introdução à Física de Partículas**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2010.

MAIA, D. J.; BIANCHI, J. C. de A. **Química Geral: Fundamentos**. São Paulo: Editora Pearson Prentice Hall, 2007.

KANE, G.; **The Dawn of physics beyond the standard model.** Scientific American, june: 70-71. 2003.

MARTINS, O. S. G. **Atividade Lúdica no Ensino de Química: Uma Proposta de Guia Didático para o Estudo de Termoquímica.** 2022. 117f. Dissertação (Mestrado Profissional no Ensino de Ciências Naturais) - do Instituto de Física da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT).

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem Significativa: a teoria e textos complementares.** São Paulo: Editora Livraria da Física. 2012.

_____. **Física de Partículas: uma abordagem conceitual & epistemológica.** São Paulo: Editora Livraria da Física. 2011

_____. **Teorias de Aprendizagem.** São Paulo: EPU. 2011a.

NOVAK, J. D. **Aprender, criar e utilizar o conhecimento**. Mapas conceituais como ferramentas de facilitação nas escolas e empresas. Lisboa: Plátano Edições Técnicas, 1981.

OLIVEIRA, D., MAXWELL, S. **Física de Partículas Elementares nos Livros Didáticos: Uma Análise nas obras do PNLD 2018.** XXIV Simpósio Nacional de Ensino de Física – SNEF 2021

SOARES, T. C.; BELICH JR, H.; HELAYEL-NETO, J. A. **Física de Partículas vistas pelas Interações Fundamentais e Formação de Professores**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2018.

VALENTE, J. A. **A comunicação e a educação baseada no uso das tecnologias digitais de informação e comunicação.** UNIFESO-Humanas e Sociais, v. 1, n. 01, p. 141-166, 2014.

_____. **A teoria da aprendizagem significativa como teoria construtivista**. Aprendizagem Significativa em Revista, v. 1, n. 1, p. 36-57, 2011.

APÊNDICE A: SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Etapas	Atividade	Descrição	Produção	Finalidade	Duração	Aulas
I	Atividade Teórica	Aplicação do Questionário pré-teste. **(Apêndice B)**	–	Verificação dos conhecimentos prévios	55 min.	1
II	Aula Expositiva dialogada	Discussão sobre o que é a matéria e de que a mesma é composta.	–	Identificar os conhecimentos prévios dos discentes	10 min.	1
III	Aula Expositiva dialogada	Apresentação do site "**Escala do Universo**[32]"	Utilização do site para fazer uma viagem do Macro ao Micro.	Conhecer mais sobre a matéria e sua estrutura.	10 min.	
IV	Aula Expositiva dialogada	Apresentar os principais Modelos Atômicos.	–	Relembrar os Modelos Atômicos desde o Modelo Atômico Grego (Demócrito) até o Modelo Atômico de Nuvem Eletrônica (Schrödinger).	30 min.	

[32] Disponível em: https://htwins.net/scale2/

V	Aula Expositiva dialogada	Apresentação "**simulador phet**[33]"	–	Visualizar como foi o experimento de Rutherford.	5 min.	
VI	Aula Expositiva dialogada	Construção de mapas conceituais. Passar um vídeo[34] sobre o Modelo Padrão das Partículas Elementares	Os discentes construirão mapas conceituais sobre a evolução dos Modelos Atômicos.	Reorganizar o conceito sobre os Modelos Atômicos e terem o primeiro contato com as Partículas Elementares.	55 min	1
VII	Aula Expositiva Dialogada	Introduzir o Modelo Padrão de Partículas Elementares e Interações Fundamentais da Natureza	Leitura do artigo "**Sobre o Discreto Charme das Partículas Elementares**[35]".	Conhecer melhor as forças fundamentais, as partículas elementares (Quarks, Léptons e Bósons) e suas principais características.	110 min	2
VIII	Visita virtual ao experimento ATLAS pertencente à	Mostrar através de visita virtual guiada detalhes do	Discentes questionam pesquisadores como é fazer Ciências no	Conhecer o CERN e pesquisadores de Física de	55 min	1

[33] Disponível em: https://phet.colorado.edu/en/simulation/rutherford-scattering.

[34] Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=Nqi-bM90vfg.

[35]Disponível em: http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol6/Num1/charme.pdf.

	Organização Europeia para a Pesquisa Nuclear (CERN)	experimento ATLAS.	maior laboratório do mundo.	Partículas Elementares.		
IV	Aplicação do jogo "**Quem sou eu? Com as Partículas Elementares**".	Apresentar de modo lúdico o conteúdo sobre Partículas Elementares.	Os Alunos jogam em grupo.	Assimilar de forma lúdica o conteúdo ministrado.	55 min	1
X	Atividade Teórica	Aplicação do Questionário pós-teste. **(Apêndice B)**	–	Verificação da validade da metodologia	55 min.	1

APÊNDICE B: QUESTIONÁRIO PRÉ-TESTE E PÓS-TESTE

AS RESPOSTAS CORRETAS ESTÃO EM VERDE.

1) Você já ouviu falar em Física de Partículas?

a) Sim

b) Não

2) Você conhece o Modelo-Padrão das Partículas Elementares?

a) Sim

b) Não

3) Quais dessas partículas apresentadas abaixo você conhece ou já ouviu falar? (pode marcar mais de uma alternativa)

( ) Up

( ) Elétron

( ) Glúon

( ) Bóson de Higgs

( ) Prótons

( ) Charm

( ) Múon

( ) Fóton

( ) Nêutrons

( ) Top

( ) Tau

( ) Bóson Z

( ) Down

( ) Neutrino do Elétron

( ) Bóson W

( ) Strange

( ) Neutrino do Múon

( ) Botton

( ) Neutrino do tau

4) Quais são as partículas elementares que compõem o átomo?

a) Prótons, elétrons e nêutrons.

b) Léptons e quarks.

c) Partícula alfa e beta.

d) Partículas positivas e negativas.

e) Nenhuma das respostas anteriores.

5) O modelo atômico mais atual é:

a) Thomson.

b) Rutherford.

c) Bohr.

d) de nuvem eletrônica.

e) Nenhuma das respostas anteriores.

6) O que é uma partícula elementar?

a) Um átomo.

b) Um conjunto de prótons.

c) A menor porção da matéria conhecida.

d) Um conjunto de elétrons.

e) Nenhuma das respostas anteriores.

7) Como são encontradas as partículas elementares?

a) Por um microscópio.

b) Pela observação na natureza.

c) Por meio de observação indireta com o auxílio de aceleradores de partículas, câmaras de bolhas, detectores de raios cósmicos, entre outros.

d) Telescópios espaciais.

e) Nenhuma das respostas anteriores.

8) Dê o melhor conceito para os prótons.

a) Partículas elementares porque são constituintes dos átomos.

b) Partículas elementares porque são indivisíveis.

c) Partículas elementares porque possuem carga elétrica +e.

d) Partículas constituídas por quarks.

e) Nenhuma das respostas anteriores.

9) O que são elétrons?

a) Partículas elementares porque são indivisíveis.

b) Partículas elementares porque possuem carga elétrica –e.

c) Partículas elementares porque são constituintes dos átomos.

d) São partículas elementares pois sua massa é muito pequena comparada com a do próton.

e) Nenhuma das respostas anteriores.

10) Qual a melhor definição para nêutrons?

a) São partículas elementares porque são indivisíveis.

b) Partículas elementares pois sua carga elétrica é zero.

c) Partículas elementares porque sua massa é aproximadamente a mesma do próton.

d) São partículas compostas por quarks.

e) Nenhuma das respostas anteriores.

11) Qual(quais) é(são) a(s) partícula(s) elementar(es) de acordo com o Modelo Padrão?

a) Prótons, elétrons e nêutrons.

b) Léptons e quarks.

c) Apenas o elétron.

d) Apenas o fóton.

e) Nenhuma das respostas anteriores.

12) O que é um quark?

a) Uma partícula elementar que constitui a matéria.

b) Um átomo ionizado.

c) Uma característica das partículas elementares.

d) Um conjunto de prótons.

e) Nenhuma das respostas anteriores.

13) O que é um lépton?

a) Um átomo ionizado.

b) Uma partícula elementar que constitui a matéria.

c) Uma característica das partículas elementares, assim como a carga elétrica.

d) Um conjunto de elétrons.

e) Nenhuma das respostas anteriores.

14) O que são mésons?

a) Partículas responsáveis pelas interações entre prótons e elétrons.

b) Partículas mediadoras da interação forte residual.

c) Uma das partículas que compõem o nêutron.

d) Partículas com carga elétrica equivalente à metade da carga elétrica de elétrons e prótons.

e) Nenhuma das respostas anteriores.

15) O que são antipartículas?

a) Partículas responsáveis pelas interações fundamentais da natureza.

b) Partículas com todas as características contrárias a de sua correspondente na matéria.

c) Partículas iguais as suas correspondentes na matéria, mas com carga elétrica oposta.

d) Partículas responsáveis por interações entre dois corpos.

e) Nenhuma das respostas anteriores.

APÊNDICE D: GLOSSÁRIO DO JOGO QUEM SOU? COM AS PARTÍCULAS ELEMENTARES

O arquivo em PDF do glossário está disponível em: https://drive.google.com/drive/folders/1NPjDcU6FljbiDfSPmySM-i0MwocZ-LHN?usp=sharing

AUTORES

Francisco Bandeira Amaral Filho
amaral777@gmail.com

Sabrina Silva Carara
sabrina@fisica.ufmt.br

APOIO

SBF SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA

MNPEF Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

Instituto de Física - UFMT -

APRESENTAÇÃO

O presente glossário, juntamente com as cartas para aplicação do jogo "**Quem sou eu? Com as partículas Elementares**", fazem parte do produto educacional que está vinculado ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), Polo 25 — UFMT— Cuiabá.

Este tem por objetivo, auxiliar o professor a inserir os conceitos básicos e fundamentais sobre Física de Partículas Elementares no Ensino Médio.

Aqui, o professor e os alunos têm acesso às principais informações sobre os **Quarks** e **Antiquarks**; **Léptons** e **Antiléptons**; **Bósons**; **Detectores de partículas**; **Interações**; **conceitos fundamentais** e alguns **pesquisadores** que contribuíram para o desenvolvimento dessa área da Física.

Espera-se que, com este material, os alunos possam ter uma introdução à Física de Partículas Elementares ainda no Ensino Médio e assim despertem interesse por essa área da Física.

SOBRE OS AUTORES

Francisco Bandeira Amaral Filho Possui graduação em Ciências: Matemática e Física pela Universidade Federal do Amazonas - UFAM. Tem experiência na área de Matemática e Física. Atualmente é Mestrando no Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - MNPEF - Cuiabá, Professor de Física da SEDUC - MT (início em 2015), Escola Estadual Waldemon Moraes Coelho, professor de física na Escola Coopercamp e Professor de Cálculo da Faculdade Eduvale.

Sabrina Silva Carara possui graduação em Física Licenciatura Plena pela Universidade Federal de Santa Maria (2003), mestrado em Física (2006), doutorado (2010) em Física e pós-doutorado em Física (2012) pela Universidade Federal de Minas Gerais. Atualmente é professora Associada Ina Universidade Federal de Mato Grosso e Coordenadora do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física Polo 25-UFMT. Tem experiência na área de Física, com ênfase em Estrutura Eletrônica de Átomos e Moléculas; Teoria, atuando principalmente nos seguintes temas: dinâmica molecular, defeitos atômicos, nanoestruturas de carbono, nanopartículas e superfícies metálicas.

REFERÊNCIAS

CERN. **The Large Hadron Collider**, ©2022. Página Inicial. Disponível em <https://home.cern/science/accelerators/large-hadron-collider>. Acesso em: 05 de abr. de 2022.

CERN. **CMS**, ©2022. Página Inicial. Disponível em <https://home.cern/science/experiments/cms>. Acesso em: 05 de abr. de 2022.

SPRACE. **The paticle**. ©2018. Software (Aplicativo Android).

REGRAS DO JOGO "QUEM SOU EU? COM AS PARTÍCULAS ELEMENTARES"

NÍVEL AVANÇADO COM GLOSSÁRIO E CARTAS NA TESTA

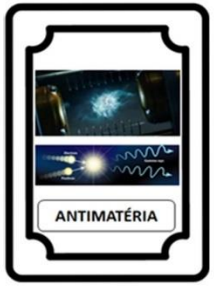
Para essa segunda variação da atividade proposta serão necessárias as 50 cartas impressas juntamente com glossário e o suporte para as cartas, o qual é confeccionado com acetato transparente colado ao elástico. Cada aluno retira uma carta do monte, não olha o nome retirado, em seguida, coloca a carta no suporte que estará fixo em sua testa, de modo que o jogador não sabe qual carta está colada no suporte. O "**Protagonista X**" pode fazer uma pergunta para cada jogador sobre a carta que está em sua testa e as respostas só podem ser **SIM** ou **NÃO**. Ao final da rodada, ele deve responder "**Eu sou...**" e dizer o nome que está na carta. Se o jogador acertar sua "**carta misteriosa**" que está no suporte, marcará um ponto e após todos terem tentado descobrir "**sua carta misteriosa**" é iniciada outra partida. Da mesma forma que no nível iniciante, se os alunos quiserem podem recorrer ao glossário.

GLOSSÁRIO

ALICE – Um dos principais detectores do LHC (Grande Colisor de Hádrons) no CERN, em Genebra. ALICE "A Large Ion Collider" (Um Grande Experimento de Colisão de Íons). Foi projetado para estudar as colisões de íons pesados, como os núcleos de chumbo, sob condições nas quais espera-se que os núcleos "derretam" em um plasma de quarks e glúons.

Anti do Tau – é a antipartícula do **Tau** e, portanto, é muito semelhante a este, tendo a mesma massa, além de ter em módulo a mesma carga elétrica e spin do **Tau**, no entanto, com sinais contrários. Com relação a sua carga elétrica, ele é muito parecido com o **Pósitron**, pois ambos possuem a mesma massa e mesmo módulo de carga. Seu tempo de vida é cerca $2{,}9\times10^{-13}$ s.

Antiléptons – são as antipartículas dos Léptons, com mesma massa, mas carga elétrica e número leptônico opostos. Como cada Lépton tem o seu próprio antilépton, logo existem seis antiléptons.



Antimatéria – é o inverso da matéria. As antipartículas possuem as mesmas características das partículas elementares, mas apresentam carga elétrica oposta.

Os pares de matéria e antimatéria têm a mesma massa, mas cargas elétricas opostas. Eles também têm algumas diferenças nas propriedades quânticas. Quando matéria e antimatéria se encontram, elas podem aniquilar-se mutuamente e produzir energia.

Antimúon – é a antipartícula do **Múon**. Possuem a mesma massa, contudo, sua carga é positiva.

Antineutrino do Elétron – é a antipartícula do **neutrino do elétron**. Eles são produzidos naturalmente numa das duas variações possíveis do decaimento beta, o beta negativo, no qual um nêutron torna-se um próton.

Antineutrino do Múon – é antipartícula do **neutrino do Múon**. Ele possui as mesmas características que este em módulo, porém as cargas são invertidas e sua massa é ínfima.

Antineutrino do Tau – é a antipartícula do **Tau**. Ele possui as mesmas características do **neutrino de tau** em módulo, entretanto com as cargas opostas. Sua massa é muito pequena e interage fracamente com a matéria. Dentre os antineutrinos, ele é o que possui maior massa.

REGRAS DO JOGO "QUEM SOU? EU COM AS PARTÍCULAS ELEMENTARES"

NÍVEL INICIANTE COM GLOSSÁRIO E CARTAS

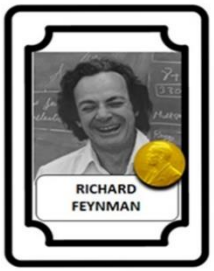
Para essa variação do jogo são necessárias as cinquenta cartas impressas, juntamente com três cópias do glossário, disponíveis para consultas rápidas dos grupos.

Essa variação pode ser jogada por três ou mais jogadores dispostos em círculo diante de uma mesa ou cadeira. As cinquentas cartas podem ser divididas em cinco grupos, que são classificados como: **Quarks** e **Antiquarks**; **Léptons** e **Antiléptons**; **Bósons** e **Detectores de partículas**; **Interações**, **Pesquisadores** e **conceitos fundamentais**. Inicialmente as cartas são embaralhadas e um aluno aqui chamado de "**Protagonista X**" retira apenas uma do monte, olha o nome e a guarda para si. Se desejar relembrar os dados da carta que foi retirada, pode consultar o glossário e então fazer a pergunta "**Quem sou eu?**" para o colega da direita. Este deve fazer uma, e somente uma, pergunta por rodada ao "**Protagonista X**" cujas respostas só podem ser **SIM** ou **NÃO**. Cada um tem direito a uma pergunta por rodada e não é permitido arriscar uma resposta ("**chutar**") antes do término da primeira rodada. Após esse período de restrição, quem "**chutar**" errado sairá do jogo, voltando somente após alguém acertar a resposta. Os outros jogadores também podem fazer consulta ao glossário e quando a identidade do "**Protagonista X**" é descoberta o vencedor marca um ponto, o jogador da direita assume sua função, retirando uma ficha e reconduzindo a turma à sessão de perguntas. Ao término de seis jogos, quem tiver mais pontos é o vencedor.

Quark Top – tem carga elétrica +2/3e (onde "**e = 1,6x10^{-19} C**" é a Carga elementar), que juntamente com o quark bottom (carga –1/3e), forma a 3ª geração de quarks. É a particula elementar mais pesada conhecida.

Quark Up – tem carga elétrica +2/3e, que juntamente com o quark down (carga –1/3e), forma a 1ª geração de quarks. O quark Up é um constituinte do próton, do nêutron e de outras particulas.

Richard Feynman – físico teórico norte-americano, que ganhou o Nobel de Física em 1965 por seu trabalho com QED (eletrodinâmica quântica). Ele é mais conhecido por sua popularização dos diagramas homônimos mostrando as interações e decaimentos das particulas. Era um excelente divulgador de ciência e autor de vários livros. Em uma pesquisa com importantes físicos em 1999, Feynman foi eleito um dos maiores físicos de todos os tempos.



Tau – é um Lépton que é similar ao elétron e ao múon, porém mais de 3000 vezes mais massivo que o elétron. O Tau é instável, sua vida útil sendo em torno de 1/3e de trilionésimo de segundos.

Antiquark – são as antiparticulas (para cada variedade de particulas, existe uma antiparticula com a mesma massa, mas carga elétrica oposta) dos Quarks. Como cada quark tem o seu próprio Antiquark, logo existem seis antiquarks que são:

Antiquark Bottom – é a antiparticula do quark **Bottom**, tem carga elétrica +1/3e.

Antiquark Charm – é a antiparticula do quark **Charm** e tem carga elétrica - 2/3e.

Antiquark Down – é a antiparticula do quark **Down** que tem carga elétrica +1/3e.

Antiquark Strange – é a antiparticula do quark **Strange** e tem carga elétrica +1/3e.

Antiquark Top – é a antipartícula do quark **Top** e tem carga elétrica –2/3e.

Antiquark Up – é a antipartícula do quark **Up**. Tem carga elétrica –2/3e.

ATLAS – sigla inglesa de **A** **T**oroidal **L**HC **A**pparatu**S** (Dispositivo Toroidal para o LHC) é o maior detector já construído para um colisor de partículas. Tem as dimensões de um cilindro, 46 metros de comprimento, 25 metros de diâmetro, e fica em uma caverna 100 metros abaixo do solo. O detector em si é um instrumento de muitas camadas projetado para detectar algumas das partículas mais minúsculas e mais energéticas já criadas na Terra.

Bóson – nome genérico para partículas com número inteiro de spin, medido em unidades de *quantum* de Planck. Exemplos são o píon e o bóson de Higgs, possuem o spin zero. Os bósons de Gauge como o fóton, glúon, W e Z com spin 1; e o graviton com spin 2. Nomeado em homenagem a Satyendra Bose.

Quark – é uma classe de partículas fundamentais com spin 1/2 , que sentem a força forte e são os blocos de construção de prótons, nêutrons e outros hádrons.

Quark Bottom – tem carga elétrica –1/3e, que juntamente com o quark top (carga +2/3e), forma a 3ª geração de quarks.

Quark Charm – tem carga elétrica +2/3, que juntamente com o quark strange (carga –1/3e), forma a 2ª geração de quarks.

Quark Down – tem carga elétrica –1/3e, que juntamente com o quark up (carga +2/3e), forma a 1ª geração de quarks. Constituinte do próton, nêutron e outras partículas.

Quark Strange – tem carga elétrica –1/3e, que juntamente com o quark Charm (carga +2/3e), forma a 2ª geração de quarks.

Neutrino do Tau – é um Lépton eletricamente neutro, o qual é parceiro do Tau (carga –1e) na 3ª geração de Léptons.

Bóson de Higgs – é uma partícula maciça prevista como a fonte de massa para todas as demais partículas fundamentais, como elétrons, quarks, bósons W e Z. No entanto, não é a fonte da massa de partículas compostas, como o próton e o nêutron. Assim, ao contrário de um equívoco comum, não é responsável pela "massa no universo". Nomeado em homenagem ao teórico Peter Higgs.

Paul Dirac – matemático britânico que combinou a teoria da relatividade especial e a mecânica quântica para descrever o elétron e previu a existência do pósitron, o primeiro exemplo de antimatéria. O pósitron foi descoberto em 1932 por Carl Anderson. Dirac recebeu o prêmio Nobel de Física em 1933.

César Lattes – físico brasileiro que estudou raios cósmicos. Ele começou seu trabalho nas montanhas da Bolívia e depois mudou-se para Bristol, na Inglaterra, para colaborar com Cecil Poweel. Em 1947, Lattes, Powell, Giuseppe Occhialini e Hugh Mirhead descobriram o pion, que confirmou a teoria de Yukawa da força forte que prende nêutrons e prótons em núcleos compactos no coração dos átomos.

Peter Higgs – físico inglês, cujos trabalhos teóricos de 1964 e 1966 propuseram o que é atualmente conhecido como o "**Bóson de Higgs**". Foi laureado com o Nobel de Física de 2013, juntamente com François Englert, pela descoberta do mecanismo de Higgs.

Pósitron – é a antipartícula do **Elétron**. Possui a mesma massa do Elétron, contudo, sua carga é positiva.

CMS – sigla inglesa para **C**ompact **M**uon **S**olenoid (Solenoide de Múon Compacto) é um detector de uso geral no Large Hadron Collider (LHC). Possui um amplo programa de física que vai desde o estudo do Modelo Padrão (incluindo o bóson de Higgs) até a busca de dimensões extras e partículas que poderiam compor a matéria escura.

O detector CMS é construído em torno de um enorme imã solenoide. Isso toma a forma de uma bobina cilíndrica de cabo supercondutor que gera um campo de 4 tesla, cerca de 100.000 vezes o campo magnético da Terra.

Diagramas de Feynman – diagramas são representações esquemáticas de como as partículas interagem entre si, dentro de uma determinada teoria ou modelo. Foram desenvolvidos por Richard P. Feynman na década de 40 com intuito de determinar a chamada amplitude de probabilidade de processos da, então em ascensão, teoria da Eletrodinâmica Quântica e tem como propósito principal realizar cálculos complicados das interações fundamentais de forma simplificada e eficiente.

Elétron – é um Lépton eletricamente carregado, que como o neutrino do elétron (carga 0), forma a 1ª geração de léptons. O elétron é estável e é a partícula eletricamente carregada mais leve. É um constituinte dos átomos e portador de corrente elétrica.

Energia Escura – provoca repulsão sobre a matéria. Atualmente pensa-se que a matéria normal constitui apenas 4% do universo. 26% do universo é constituído de matéria escura e 70% é constituído de **energia escura**. Como só conhecemos a matéria normal, 96% do universo é desconhecido para nós. A energia escura não deve ser confundida com **matéria escura**.

Fóton – é um bóson de Gauge e mediador da força eletromagnética; sendo um pacote de radiação eletromagnética.

Modelo Padrão – nome para o entendimento moderno sobre partículas fundamentais e das forças eletromagnética, fraca e forte, que determinam a dinâmica das partículas. O **modelo Padrão** não inclui uma teoria da gravidade e, portanto, só pode ser uma componente parcial de uma eventual "Teoria de Tudo".

Múon – é um Lépton que é similar ao elétron, mas cerca de 200 vezes mais massivo. O Múon é instável, sua vida útil sendo em torno de 2,2 microssegundos.

Neutrino do Elétron – é um Lépton eletricamente neutro, o qual é parceiro do elétron (carga –1e) na 1ª geração de Léptons.

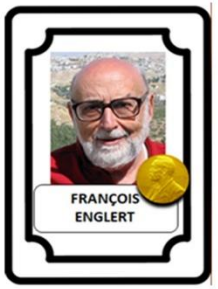
Neutrino do Múon – é um Lépton eletricamente neutro, o qual é parceiro do múon (carga –1e) na 2ª geração de Léptons.

LHCb - sigla inglesa para Large Hadron Collider beauty experiment, onde beauty é um nome alternativo para o quark bottom – é um dos oito experimentos detectores de particulas a coletar dados no acelerador LHC no CERN. O LHCb é um experimento especializado em física do quark b, projetado principalmente para medir os parâmetros da violação CP nas interações de hádrons-b (particulas pesadas que contêm um quark bottom).

Marie Curie – nascida em Varsóvia, Polônia, foi a primeira mulher a concluir a Graduação em Física na Universidade Francesa de Sorbonne. Após isso, Marie concluiu também a graduação em Matemática. Em 1903 foi laureada com o Nobel em Física por estudos relacionados à radioatividade e o prêmio foi dividido com seu marido Pierre Curie e Henri Becquerel. Após oito anos, ela recebeu o Nobel em Química pela descoberta dos elementos químicos Polônio e Rádio.

Matéria Escura – é a denominação dada a uma grande quantidade de **matéria de natureza desconhecida** cujo efeito afeta gravitacionalmente a dinâmica das galáxias e do próprio Universo. Acredita-se que a matéria escura possa ser formada por **objetos compactos e supermassivos**, como buracos negros primordiais ou partículas hipotéticas e praticamente indetectáveis conhecidas como neutrinos inertes.

François Englert – é um físico belga. Foi laureado com o Nobel de Física de 2013, juntamente com Peter Higgs, pela descoberta do **mecanismo de Higgs**. Professor emérito da Universidade Livre de Bruxelas (ULB), onde é membro do departamento de Física teórica do qual foi co-diretor com Robert Brout de 1980 a 1998. Suas principais contribuições estão relacionadas à física das transições de fase, partículas físicas, teoria das cordas e cosmologia.



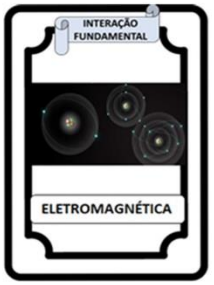
Gauge W^- e W^+ – é um Bóson de calibre e mediador eletricamente carregado (+ ou -) da força fraca, parceiro do bóson Z..

Gauge Z^0 – é um Bóson de calibre e mediador eletricamente neutro da força fraca, junto com o Bóson W eletricamente carregado.

Glúon – é um Bóson de gauge, o qual é a particula sem massa que prende os quarks juntos para formar hádrons (mésons e bárions). É o portador da força forte e é descrito pela teoria conhecida como QCD (cromodinâmica quântica).

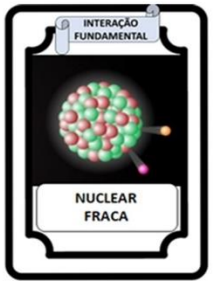
Gráviton – é uma partícula hipotética sem massa, com spin 2 e é o portador da força da gravidade.

Interação Eletromagnética – uma das quatro forças fundamentais, juntamente com a força forte, a força fraca e a gravitacional. A força eletromagnética atua entre partículas eletricamente carregadas e, até certo ponto, entre partículas eletricamente neutras como o nêutron, que contém partículas eletricamente carregadas (quarks) em seu interior. A teoria quântica relativística da força eletromagnética é QED (eletrodinâmica quântica) e interpreta a força como sendo transmitida por fótons.



Interação Gravitacional – uma das quatro forças fundamentais, juntamente com as forças eletromagnéticas, fraca e forte. A gravidade atrai todas as partículas em proporção à sua energia. Assim, mesmo uma partícula com massa zero, como o fóton, pode sentir a força gravitacional porque tem energia. A intensidade da força entre partículas fundamentais individuais, ou mesmo átomos, é insignificante, mas seus efeitos se somam de tal forma que, na matéria em grande volume, a gravidade é a força mais perceptível.

Interação Nuclear Forte – uma das quatro forças fundamentais, responsável por ligar quarks e antiquarks para criar hádrons e segurar prótons e nêutrons em núcleos atômicos. A força entre quarks e glúons é descrita pela teoria QCD (cromodinâmica quântica); entre núcleos, a força forte envolve a troca de píons.



Interação Nuclear Fraca – uma das quatro forças fundamentais, juntamente com a força eletromagnética, a força forte e a gravitacional. A força fraca ou "interação fraca" é responsável pelo decaimento beta e é mediada pelos bóson W ou Z. Neutrinos não sentem as forças forte ou eletromagnética. A teoria quântica relativística da força eletrofraca é a QFD (dinâmica de sabor quântico).

Lagrangeano do Modelo Padrão – trata-se da equação geral do Modelo Padrão, a qual está sob o princípio geral da Teoria Quântica de Campos. Descreve com sucesso todas as partículas elementares conhecidas e 3 das 4 interações fundamentais (a exceção vai para a força gravitacional, por apresentar incompatibilidade teórica na inserção dessa força ao Modelo Padrão). Esta equação também "prevê" a existência de uma partícula fundamental maciça, denominada Bóson de Higgs.

Lépton – É uma classe de partículas como o elétron e o neutrino, que não sentem a força forte e têm spin 1/2.

APÊNDICE D: CARTAS DO JOGO QUEM SOU? COM AS PARTÍCULAS ELEMENTARES

O arquivo em PDF das cartas para o jogo está disponível em: https://drive.google.com/drive/folders/1NPjDcU6FljbiDfSPmySM-i0MwocZ-LHN?usp=sharing

Imprimir as cartas em papel branco. A escolha de cores foi aleatória, sem considerar as características das partículas.

LÉPTON
ν_e
NEUTRINO DO ELÉTRON
ν_e
LÉPTON
ν_μ
NEUTRINO DO MÚON
ν_μ
LÉPTON
ν_τ
NEUTRINO DO TAU
ν_τ
BÓSON
γ
FÓTON
γ
BÓSON
g
GLÚON
g
BÓSON
Z^0
Gauge Z^0
Z^0
LÉPTON
e^-
ELÉTRON
e^-
LÉPTON
μ
MÚON
μ
LÉPTON
τ
TAU
τ
BÓSON
H
HIGGS
H
BÓSON
G
GRÁVITON
G
BÓSON
W^+
Gauge W^- e W^+
W^-

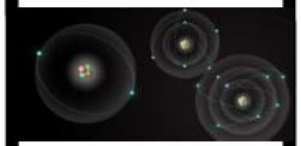
$\bar{u}$
ANTIQUARK
Anti UP
$\bar{u}$
$\bar{c}$
ANTIQUARK
Anti CHARME
$\bar{c}$
$\bar{t}$
ANTIQUARK
Anti TOP
$\bar{t}$
$\bar{\nu}_e$
ANTILÉPTON
ANTINEUTRINO DO ELÉTRON
$\bar{\nu}_e$
$\bar{\nu}_\mu$
ANTILÉPTON
ANTINEUTRINO DO MÚON
$\bar{\nu}_\mu$
$\bar{\nu}_\tau$
ANTILÉPTON
ANTINEUTRINO DO TAU
$\bar{\nu}_\tau$
$\bar{d}$
ANTIQUARK
Anti DOWN
$\bar{d}$
$\bar{s}$
ANTIQUARK
Anti ESTRANHO
$\bar{s}$
$\bar{b}$
ANTIQUARK
Anti BOTTON
$\bar{b}$
e^+
ANTILÉPTON
PÓSITRON
e^+
$\bar{\mu}$
ANTILÉPTON
Anti MÚON
$\bar{\mu}$
$\bar{\tau}$
ANTILÉPTON
Anti TAU
$\bar{\tau}$

MODELO PADRÃO
ANTIMATÉRIA
PETER HIGGS
ATLAS
CMS
ALICE
LHCb
Matéria Escura; 26%
Átomos; 4%
Energia Escura; 70%
ENERGIA ESCURA
Átomos; 4%
Energia Escura; 70%
Matéria Escura; 26%
MATÉRIA ESCURA
CÉSAR LATTES

INTERAÇÃO FUNDAMENTAL

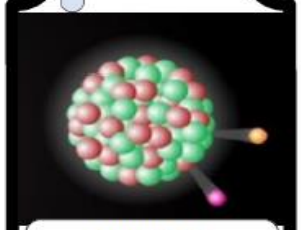
GRAVITACIONAL

INTERAÇÃO FUNDAMENTAL



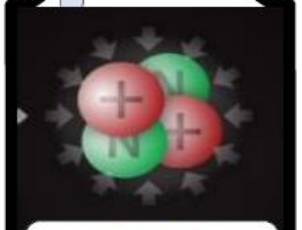
ELETROMAGNÉTICA

INTERAÇÃO FUNDAMENTAL

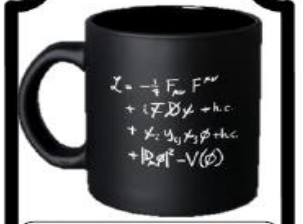


NUCLEAR FRACA

INTERAÇÃO FUNDAMENTAL

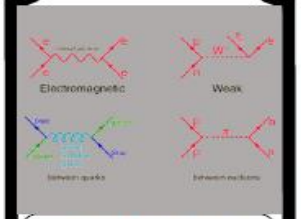


NUCLEAR FORTE



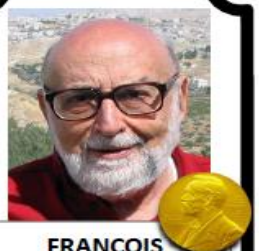
LAGRANGEANO DO MODELO PADRÃO

MARIE CURIE



DIAGRAMAS DE FEYNMAN

RICHARD FEYNMAN



FRANÇOIS ENGLERT

PAUL DIRAC