



## **O MODELO PADRÃO NO ENSINO MÉDIO: Um Tratamento Elementar.**

**ROBERTO RODRIGUES GOMES**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de São Carlos no Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Dias Campos

Sorocaba  
FEVEREIRO DE 2017

## O MODELO PADRÃO NO ENSINO MÉDIO: Um Tratamento Elementar

**ROBERTO RODRIGUES GOMES**



Orientador: Prof. Dr. Sérgio Dias Campos

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR) no Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

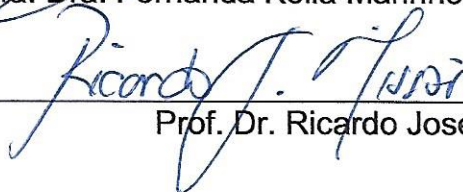
Aprovado por:



Profa. Dra. Ana Lúcia Brandl



Profa. Dra. Fernanda Keila Marinho da Silva



Prof. Dr. Ricardo José Missori

Sorocaba

FEVEREIRO DE 2017

Dedico esta dissertação à  
Marta Cristina dos Santos

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que direta ou indiretamente contribuíram para o desenvolvimento desta dissertação e do Produto Pedagógico Educacional. Agradeço especialmente:

A minha esposa, Marta Cristina dos Santos, por ter deixado de desfrutar momentos de lazer, por meses e até mesmo anos, em prol do meu mestrado. Em todo tempo estive ao meu lado proporcionando momentos agradáveis para eu me dedicar ao mestrado.

Ao meu orientador, professor doutor Sergio Dias Campos, que por diversas vezes teve a paciência de responder aos meus e-mails, as minhas mensagens, por me receber pessoalmente, pelas diversas correções da dissertação, por me incentivar a escrever cada vez mais sobre os tópicos desta dissertação e, principalmente, em nenhum momento ter demonstrado sinal de indisposição em me orientar.

A todos os professores do curso de pós-graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) por terem se dedicado meses de trabalho com o objetivo de transmitir informações significativas para o nosso aprendizado. Agradeço, principalmente, às professoras Ana Lúcia Brandl e Fernanda Keila Marinho da Silva pelas orientações fornecidas na qualificação, as quais contribuíram para a qualidade desta dissertação e do Produto Pedagógico Educacional.

À Sociedade Brasileira de Física (SBF) pela criação do mestrado profissional, à Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) por ter oferecido o MNPEF e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudo, a qual proporcionou condições para eu me dedicar mais tempo ao curso de pós-graduação.

# O MODELO PADRÃO NO ENSINO MÉDIO: Um Tratamento Elementar

ROBERTO RODRIGUES GOMES

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Dias Campos

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

## RESUMO

Devido à importância do ensino da Física Moderna e Contemporânea (FMC) na educação básica, principalmente no ensino médio, e das tecnologias desenvolvidas a partir do fim do século XIX, bem como de suas aplicabilidades, nesta dissertação contribuimos com o estudo de uma importante área da FMC: o Modelo Padrão. Para melhor compreensão desse tópico, adotamos metodologias variadas, como jogo lúdico, atividade prática, visitas técnicas (física e virtual), vídeos, entre outras. Pretendemos alcançar com essas metodologias a compreensão das características das partículas elementares constituintes da matéria, das forças de interação, da necessidade da construção dos aceleradores de partículas e das tecnologias envolvidas em suas construções que, direta ou indiretamente, contribuem com tecnologias voltadas para a sociedade em diferentes áreas do conhecimento, como: comunicações, médicas, alimentícias, segurança, entre outras. Inicialmente, fizemos uma recorrência histórica sobre a constituição da matéria, começando com os pensamentos de Demócrito e Aristóteles até chegarmos ao início do século XIX de nossa era. Sequencialmente abordamos os modelos atômicos de Dalton, Thomson, Rutherford, Bohr e Sommerfeld. Finalizamos a parte teórica dessa dissertação com um capítulo sobre o Modelo Padrão, o qual é a nossa prioridade de estudos. Nele, descrevemos teorias do Modelo Padrão, tecnologias e impactos que a FMC causa na economia dos países. Para o desenvolvimento desta dissertação, adotamos o referencial teórico defendido por David Ausubel, o qual considera que o conhecimento espontâneo do aluno é o conteúdo mais importante que ele leva para a sala de aula.

Palavras-chave: Física Moderna e Contemporânea, aprendizagem significativa, Modelo Padrão.

# THE STANDARD MODEL IN HIGH SCHOOL: An Elementary Treatment

ROBERTO RODRIGUES GOMES

Advisor: Sérgio Dias Campos

Dissertation presented at the Post-Graduate Program in the Course of Professional Master of Education of Physics (MNPEF), as part of the requirements to obtain a Master's degree in Teaching Physics.

## **ABSTRACT**

Due to the importance of the teaching of Modern and Contemporary Physics (MCP) in basic education, especially in high school, and the technologies developed as of the end of the 19<sup>th</sup> century, as well as their applications, in this dissertation we contribute with the study of an important area of MCP: The Standard Model. For better understanding of this topic, we have adopted various methods, like ludic game, practical activity, technical visits (physical and virtual), and videos, among others. We want to achieve with these methodologies the understanding of the characteristics of the constituent elementary particles of matter, of the forces of interaction, the need for the construction of particle accelerators and the technologies involved in their construction that, directly or indirectly, contribute to society-oriented technologies in different areas of knowledge, such as: communications, medical, food, security, among others. Initially, we made a historical recurrence on the constitution of matter, beginning with Democritus and Aristotle's thoughts, until we get to the beginning of the 19<sup>th</sup> century of our era. Sequentially, we approach the atomic models of Dalton, Thomson, Rutherford, Bohr and Sommerfeld. We finish the theoretical part of this dissertation with a chapter on the Standard Model, which is our priority. In it we describe the Standard Model theories, technologies and the impacts MCP has on countries' economies. For the development of this dissertation, we adopted the theoretical reference championed by David Ausubel, which considers that the spontaneous knowledge of the student is the most important content that he brings to the classroom.

Keywords: Modern and Contemporary Physics, significant learning, Standard Model.

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO GERAL E REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>4</b>
1.1 INTRODUÇÃO GERAL .....	4
1.2 OBJETIVOS .....	10
1.3 REFERENCIAL TEÓRICO .....	11
<b>CAPÍTULO 2: DESENVOLVIMENTO HISTÓRICO .....</b>	<b>16</b>
2.1 MÉTODO CIENTÍFICO .....	23
2.2 MODELOS ATÔMICOS .....	30
2.2.1 O ÁTOMO DE DALTON .....	30
2.2.2 O ÁTOMO DE THOMSON .....	32
2.2.3 O ÁTOMO DE RUTHERFORD .....	39
2.2.4 O ÁTOMO DE BOHR .....	42
2.2.5 O ÁTOMO DE SOMMERFELD .....	47
<b>CAPÍTULO 3: O MODELO PADRÃO .....</b>	<b>50</b>
3.1 CROMODINÂMICA .....	54
3.2 FORÇAS DE INTERAÇÃO .....	56
3.3 A ORIGEM DA MASSA .....	68
3.4 ACELERADORES DE PARTÍCULAS .....	70
3.5 TECNOLOGIAS .....	79
3.6 SETOR ECONÔMICO .....	83
<b>CAPÍTULO 4: METODOLOGIA E APLICAÇÃO .....</b>	<b>86</b>
<b>CAPÍTULO 5: ANÁLISE DOS RESULTADOS E COMENTÁRIOS.....</b>	<b>107</b>
<b>CAPÍTULO 6: CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÃO .....</b>	<b>131</b>
<b>APÊNDICE I.....</b>	<b>134</b>
<b>APÊNDICE II.....</b>	<b>136</b>
<b>ANEXO I.....</b>	<b>138</b>

<b>ANEXO II.....</b>	<b>139</b>
<b>ANEXO III.....</b>	<b>140</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>141</b>



# CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO GERAL E REFERENCIAL TEÓRICO

## 1.1 INTRODUÇÃO GERAL

A Física Moderna e Contemporânea (FMC) tem profundas consequências tecnológicas nos dias atuais, fazendo com que quase a totalidade da conectividade atual entre pessoas se dê por meios eletrônicos, baseados quase que totalmente em conceitos da Física introduzidos entre o final do século XIX e meados do XX. As pessoas, mesmo desconhecendo os fundamentos de funcionamento dos aparelhos que usam, têm suas vidas influenciadas e até mesmo modificadas por eles.

Diante dessa enorme influência no cotidiano das pessoas, mas não só por isso, a implantação do ensino de FMC na educação brasileira é defendida e justificada por vários estudiosos da área, entre eles podemos destacar as contribuições feitas por Eduardo Adolfo Terrazzan (1992), Alexandre Custódio Pinto e João Zanetic (1999), Marco Antônio Moreira (2000), Ileana María Grega *et al* (2001), D. I. Machado e Roberto Nardi (2001) e Aleksandro Pereira e Fernanda Ostermann (2009). Mas, somente em meados da década de 1990 que a FMC passou a ser discutida com maior profundidade nos encontros dos profissionais da área da educação, conforme citam Sanches e Neves:

Na primeira metade da década de 1990, propostas e trabalhos apresentados em diversos encontros científicos nacionais e internacionais sobre o ensino de Física (SNEF, EPEF, RELAEF, REF, ENSEÑANZA, GIREP)<sup>1</sup> levantaram discussões acerca das possíveis inovações e tendências necessárias ao currículo do Ensino Médio (CARVALHO; VANNUCHI, 1995). Nesses encontros, começavam-se a delinear as tentativas de inclusão da FMC no currículo, deixando evidente a necessidade de a escola integrar-se ao mundo atual e a de preparar o aluno para conviver em uma sociedade em que os conhecimentos científicos e a capacidade de utilizar diferentes tecnologias são fundamentais (SANCHES E NEVES, 2011, p. 24)

---

<sup>1</sup>SNEF-Simpósio Nacional de Ensino de Física; EPEF-Encontro de Pesquisadores em Ensino de Física; RELAEF-Reunião Latino-americana sobre Educação em Física; REF-Reunión Nacional de Educación em la Física; Revista Enseñanza de las Ciencias. GIREP-Groupe International de Recherche sur l'enseignement de la Physique

Na citação, vemos, claramente, que as autoras defendem a importância de os alunos terem conhecimento das tecnologias atuais, as quais, em sua maioria, estão intrinsecamente ligadas à FMC. Dentro deste contexto, é inadmissível que os alunos do ensino médio terminem a educação básica sem ter contato com a Física iniciada no fim do século XIX e meados do século XX e que tem grande aplicabilidade nas ciências e na geração de tecnologias deste século. Essas palavras vêm ao encontro do que citam Valadares e Moreira (1998): “é imprescindível que o estudante do ensino médio conheça os fundamentos da tecnologia atual, já que ela atua diretamente em sua vida e pode definir seu futuro profissional.” Outras justificativas para a introdução de tópicos da FMC no ensino médio podem ser extraídas de uma discussão levantada por um grupo de especialistas que participaram de uma Conferência Interamericana sobre Educação em Física, conforme cita Barojas:

Despertar a curiosidade dos estudantes e ajudá-los a reconhecer a Física como um empreendimento humano e, portanto, mais próxima a eles;  
Os estudantes não têm contato com o excitante mundo da pesquisa atual em Física, pois não vêem nenhuma Física além de 1900. Esta situação é inaceitável em um século no qual idéias revolucionárias mudaram a ciência totalmente;  
É de maior interesse atrair jovens para a carreira científica. Serão eles os futuros pesquisadores e professores de Física;  
É mais divertido para o professor ensinar tópicos que são novos. O entusiasmo pelo ensino deriva do entusiasmo que se tem em relação ao material didático utilizado e de mudanças estimulantes no conteúdo do curso. É importante não desprezar os efeitos que o entusiasmo tem sobre o bom ensino (BAROJAS, 1988 apud OSTERMANN, 1999, p. 9).

Outro fator que favorece o ensino de FMC na educação básica, principalmente no ensino médio - a experiência pedagógica comprova - é que assuntos relacionados à área da FMC despertam maior interesse nos alunos, o que vem ao encontro de artigos e publicações de diversos autores, dentre os quais citamos Ostermann e Moreira (2000), Pinto e Zanetic (1999) e Terrazzan (1992). Esta constatação, ainda, pode ser observada nas citações de Ostermann (1999), quando ela afirma que pelos resultados obtidos em uma pesquisa realizada por Stannard (1990), ao fazer um levantamento entre estudantes de nível universitário para saber o motivo que os levaram a realizar o curso de Física, a maioria mostrou que fora a FMC que os influenciara nessa decisão. Sanches e Neves apresentam outro estudo de Stannard para corroborar tal hipótese, como podemos ver em:

Ele [Stannard] entrevistou 250 crianças com média de 12 anos de idade, a fim de saber o que conheciam sobre gravidade e aceleração. Como resultado, observou que a maioria conhecia, ou pelo menos já ouvira falar, sobre temas como buraco negro, Big Bang. Esses temas haviam sido aprendidos pela televisão e por meios de filmes de ficção científica (SANCHES E NEVES, 2011, p. 31).

Pelas respostas vemos, novamente, que a FMC está no dia a dia dos alunos, mas, por outro lado, a resposta também é preocupante, pois os alunos têm mais conhecimento de tais assuntos pela mídia e pelos filmes, do que pelos assuntos abordados em sala de aula. É importante destacar que algumas vezes a mídia e os filmes distorcem ou simplificam demais os conceitos da Física, sendo ela Moderna ou Clássica.

Encontramos respaldo, também, para o ensino da FMC na Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB) 9394/96, na qual consta que uma das finalidades do ensino médio, etapa final da educação básica, é “a compreensão dos fundamentos científico-tecnológicos dos processos produtivos, relacionando a teoria com a prática, no ensino de cada disciplina (artigo 35, inciso IV)”. Nesta mesma lei, encontramos que o aluno do ensino médio, em sua formação, deve ter o conhecimento do “domínio dos princípios científicos e tecnológicos que presidem a produção moderna (artigo 36, § 1º. Inciso I)”. Outro documento importante relativo à educação do Brasil são os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN), no qual vemos que:

o aprendizado de Física deve estimular os jovens a acompanhar as notícias científicas, orientando-os para a identificação sobre o assunto que está sendo tratado e promovendo meios para a interpretação de seus significados (BRASIL, 1999, p. 235).

Em uma simples atenção aos noticiários, vemos e ouvimos, constantemente, assuntos relacionados às ciências e tecnologias e o quanto elas influenciam no Produto Interno Bruto (PIB) dos países. Conforme podemos ver em SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA (2005, p.129): “até 2015, os bens e serviços de base Nano tecnológica deverão ultrapassar US\$ 1 trilhão anuais.” Ruzzi (2008, p.21) cita que “em torno de 30% do PIB mundial está ligado à Física Moderna.” Desta forma, se os alunos não estiverem imersos nos significados da FMC, essas informações

científicas e econômicas obtidas pelos meios de comunicações serão desprovidas de importância na vida de nossos alunos.

Diante do exposto, surge uma questão aparentemente, paradoxal: com o apoio de tantos estudiosos da área de ensino, das LDB e dos PCN, por que o ensino de FMC não é implantado nas escolas do Brasil? A resposta não é simples, mas acreditamos que, entre os fatores que contribuem para que essa ciência ainda não esteja tão disseminada em nossas escolas, podemos citar o despreparo dos professores devido à sua formação, material pedagógico ainda pouco difundido quando comparado aos da Física Clássica<sup>2</sup> (FC), poucas questões de FMC cobradas nos vestibulares atuais e até mesmo em avaliações feitas por órgãos governamentais, como o Sistema de Avaliação do Rendimento Escolar do Estado de São Paulo (SARESP) e o Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM), e a falta de transposição didática do conteúdo abrangendo a FMC para o ensino médio. Esses, com certeza, não são os únicos fatores que contribuem para que a FMC não seja trabalhada na educação básica, mas acreditamos que eles têm peso significativo para que ela não seja definitivamente estudada no ensino médio.

Ainda, podemos citar que a proposta desta dissertação vem ao encontro da aprendizagem significativa de David Ausubel, ou seja, da fundamentação teórica que aplicamos, pois os alunos que participaram desta proposta possuem conhecimento prévio dos assuntos que abordamos, uma vez que o estudo da Constituição da Matéria é abordado em Química no primeiro ou segundo ano do ensino médio, quando o professor faz referências aos átomos. Destacamos, também, que, como os alunos são do último ano do ensino médio e estão atentos aos vestibulares, há possibilidade de estarem acompanhando os meios de comunicação que constantemente vêm divulgando invenções tecnológicas onde a FMC tem grande participação. Cabe frisar, ainda, que mesmo para os alunos que não estejam na iminência dos vestibulares, esses assuntos são importantes, pois os alunos estão inseridos em uma sociedade.

Conforme já citado, há consenso a respeito da importância de ensinar FMC na educação básica. Mas o que ensinar se, ainda, não foi feita uma transposição didática dessa ciência para a educação básica? Vários são os assuntos que

---

<sup>2</sup> Conjunto de leis desenvolvidas antes do fim do século XIX. Basicamente se restringe aos estudos do eletromagnetismo, da termodinâmica e da mecânica newtoniana.

poderíamos abordar: raios-x, efeito fotoelétrico, cosmologia, física quântica, relatividade geral e restrita, nanofísica, estrutura da matéria, e muitos outros tópicos poderiam ser citados. Arons (1990) cita que, devido ao vasto conteúdo de FMC, o professor deve abordar tópicos especiais, explorando apenas alguns conceitos como: elétrons, fótons, núcleos, estrutura atômica e talvez os primeiros aspectos qualitativos da relatividade. Acreditamos que essa decisão cabe aos professores de Física, pois muitas variáveis devem ser avaliadas, como: escola pública ou particular, primeiros anos, segundos ou terceiros, cursos técnicos ou regulares ou até mesmo discutir tópicos que estejam recentemente na mídia.

Nessa dissertação, propusemos o estudo do Modelo Padrão, teoria que descreve as forças de interação forte, fraca e eletromagnética, bem como as partículas fundamentais que constituem a matéria. O Produto Pedagógico Educacional (PPE) desta dissertação foi aplicado aos alunos do terceiro ano do ensino médio da rede pública municipal, mas poderia ser aplicado às outras redes de ensino.

Até aqui, apresentamos alguns autores que defendem a implantação da FMC no ensino médio, o apoio encontrado na legislação, as dificuldades apresentadas e os tópicos que poderiam ou que deveriam ser abordados, mas outra questão, ainda, deve ser levantada: a introdução dos conceitos da FMC deve ser associada à (FC) ou deve ser independente? Em uma consulta feita à literatura, encontramos vertentes divergentes sobre essa abordagem. Ostermann (1999) cita que uma delas é defendida por Gil e Solbes (1993), os quais defendem a exploração dos limites dos modelos clássico e moderno. Para ele, é importante que os alunos saibam que a FMC surgiu pela necessidade de explicar fenômenos que a FC não conseguia explicar, e não simplesmente, porque os físicos quiseram construir uma nova Física. A segunda vertente, atribuída a Fischler e Lichtfeldt (1992 apud Sanches et al, 2011), defende a não utilização de referências aos modelos clássicos, eles acreditam que fazer analogias clássicas dificulta o aprendizado da FMC. Sanches e Neves (2011, p. 28) citam algumas premissas sugeridas pelos autores desta vertente:

1. referências à Física Clássica devem ser evitadas;
  2. introdução do efeito fotoelétrico a partir das características dos elétrons e não das dos fótons;
  3. interpretação estatística do fenômeno deve ser usada e descrições dualistas devem ser evitadas;
  4. relação de incerteza de Heisenberg deve ser introduzida no início dos estudos;
  5. exclusão do modelo de Bohr no tratamento do átomo de hidrogênio.
- (SANCHES E NEVES, 2011, p. 28)

Assim, mais uma vez, cabe ao professor decidir qual das duas vertentes ele deve trabalhar ou, ainda, ver qual delas traz melhores resultados dependendo do tópico da FMC estudado.

Desta forma, acreditamos que com o estudo de FMC seja possível fornecer aos alunos meios para que tenham suporte para entender as informações transmitidas pelos meios de comunicação, sejam elas oriundas de rádio, televisão, jornais, revistas, entre outros. Queremos, também, informar aos alunos o quanto a Física, em especial a FMC, está presente em seu cotidiano, principalmente nas tecnologias que os envolvem constantemente: GPS, computadores, celulares, aparelhos de raios-X, efeito fotoelétrico, etc. Assim, esperamos que os alunos possam terminar o ensino médio alfabetizados tecnologicamente e com maior interesse na área das ciências exatas.

Acreditamos que, no término da aplicação do PPE desta dissertação, possamos fazer compreender o porquê de tantos cientistas trabalharem para tentar entender do que a matéria é constituída e que os alunos possam acreditar que os recursos financeiros destinados a estes estudos trazem retorno à sociedade.

## 1.2 OBJETIVOS

O objetivo desta dissertação não é único. Assim, vamos dividi-lo em objetivo principal e objetivos secundários. No primeiro, queremos propor a inserção, no ensino médio, de pelo menos um dos tópicos da FMC – O Modelo Padrão - e associar as Tecnologias intrínsecas a ele, para que os alunos possam ter maior contato com a Física que vem revolucionando o século XX e que já está consolidada no século atual. Encontramos apoio a esta proposta, também, na Lei de Diretrizes e Bases (LDB 9394/96), em seus artigos 35 e 36, conforme citado abaixo:

Artigo 35, Inciso IV: “compreensão dos fundamentos científico-tecnológicos dos processos produtivos, relacionando a teoria com a prática”;  
Artigo 36, §1º, Inciso I: “domínio dos princípios científicos e tecnológicos que presidem a produção moderna”. (LDB 9394/96).

Quanto aos objetivos secundários, propomos fornecer meios para que os alunos possam compreender os processos de estudos científicos, tais como: métodos científicos, criação de hipóteses, modelos, teorias e leis. Como esta dissertação aborda diversos assuntos tecnológicos, queremos, assim, fazer uma análise reflexiva, juntamente com os alunos, sobre os retornos, diretos e indiretos, que os investimentos em pesquisas trazem para a sociedade e, também, analisar os impactos das tecnologias associadas à FMC na economia dos países.

Esperamos desta forma que, até ao término do terceiro ano do ensino médio, os alunos compreendam a importância do estudo da FMC.

### 1.3 REFERENCIAL TEÓRICO

A primeira tentativa de explicar a forma como a aprendizagem ocorre surgiu com a psicologia, por volta de meados do século XX. O autor Santos (2013) cita que a aprendizagem possui quatro dimensões: moral, científica, tecnológica e psicológica. Esta última, na primeira metade do século XX, impulsionada pela ação da psicologia como ciência, faz sua primeira tentativa de explicar o processo de aprender. Para melhor estudar e compreender a aprendizagem, a psicologia a divide em três partes: afetiva, psicomotora e cognitiva. A primeira está relacionada aos sinais emocionais do indivíduo: amor, dor, prazer, satisfação, contentamento, ansiedade, etc. Quanto à segunda, envolve estímulos e respostas musculares: praticar atividades físicas, dançar, tocar instrumentos sonoros, entre outros. A terceira forma de aprendizagem está relacionada ao cérebro: as formas como as informações são recebidas, armazenadas, processadas e aplicadas. Porém, é importante frisar que essas aprendizagens não ocorrem isoladamente, elas se manifestam, apenas, em grau maior ou menor em cada indivíduo. O estudo isolado de cada uma delas é apenas para dar ênfase aos processos de aprendizagem.

Dentre as teorias de aprendizagens afetiva, psicomotora e cognitiva, acreditamos que esta última forneça melhor suporte para a aplicação do produto educacional desta dissertação. Entre os principais defensores dessa teoria - Piaget, Bruner, Vygotsky e Ausubel - nesta dissertação, elegemos como base para a fundamentação teórica os estudos sobre aprendizagem cognitiva de David Ausubel, a qual tem como foco a aprendizagem significativa. David Paul Ausubel (1918 – 2008) nasceu em Brooklin, Nova Iorque, Estados Unidos da América. Formou-se em psicologia, em 1939, em medicina, em 1943, e doutorou-se em psicologia do desenvolvimento cognitivo. Não temos a intenção de abordar aqui toda a teoria de Ausubel, mas, sim, citar e explicar resumidamente os seus principais conceitos: aprendizagens significativa e mecânica, aprendizagens por descoberta e por recepção, subsunçores, estrutura cognitiva e conhecimento prévio.

O ponto de partida da Teoria de Ausubel é o conjunto de conhecimento que o aluno traz consigo, ou seja, o conhecimento prévio. Para Ausubel, esse conhecimento é de fundamental importância para o aprendizado de novas informações, as quais, depois de compreendidas e armazenadas na estrutura



cognitiva<sup>3</sup> do aprendiz, se tornarão conhecimentos prévios mais evoluídos para outras novas informações, transformando-se um processo em espiral ascendente. No que se refere ao conhecimento prévio, as autoras Pelizzari, Kriegl et al. (2001/2002, p.41) citam que, para Ausubel, “o fator isolado de maior importância na aprendizagem do aluno é o conhecimento que ele carrega consigo.”

Ausubel considera que a aprendizagem significativa é um processo de armazenamento de informação que, no âmbito mental do indivíduo, seja manipulada e utilizada adequadamente através da organização e da integração dos novos conteúdos aprendidos. Neste processo de armazenamento e processamento de informação, devemos considerar dois pontos importantes: a não arbitrariedade e a não literalidade. No primeiro caso, é necessário que haja uma relação lógica entre a nova informação e a já existente na estrutura cognitiva do aprendiz. No segundo ponto, uma vez que o aluno tiver aprendido um determinado conceito, ele deverá ser capaz de explicar com as suas palavras o significado desse novo conceito. Não há pretensão de que suas palavras sejam idênticas às que ele aprendeu, mas, sim, que elas transmitam o mesmo significado das palavras originais. Caso a nova informação seja armazenada e processada de forma arbitrária e substantiva, ou seja, literal, chamamos de aprendizagem mecânica. Assim, nesta aprendizagem a nova informação não faz ligação com o que o aluno já sabe ou com o que ele irá aprender. Em outras palavras, podemos dizer que a aprendizagem mecânica ocorre quando não existem conceitos relevantes na estrutura cognitiva do aprendiz ou quando ele não consegue relacionar novas informações aos conceitos relevantes da estrutura cognitiva. Não estamos nos referindo aqui a duas aprendizagens opostas, mas apenas distintas. No entanto, apesar de David Ausubel priorizar a aprendizagem significativa, ele não descarta a importância da aprendizagem mecânica. Ele acredita que ela possa servir de subsunçor para a aprendizagem significativa. Os autores Moreira e Masini (2001) citam que:

---

<sup>3</sup> Conjunto de informações armazenadas e organizadas na mente do aprendiz.

A aprendizagem mecânica é sempre necessária quando um indivíduo adquire informação numa área de conhecimento completamente nova para ele. Isto é, a aprendizagem mecânica ocorre até que alguns elementos de conhecimento, relevantes a novas informações na mesma área, existam na estrutura cognitiva e passam a servir de subsunçores, ainda que pouco elaborados. À medida que a aprendizagem passa a ser significativa, esses subsunçores vão ficando cada vez mais elaborados e mais capazes de ancorar novas informações (MOREIRA E MASINI, 2001, p. 19 e 20).

Assim, vemos nas citações dos autores que, para Ausubel, o conceito de subsunçor é uma área específica de conhecimento da estrutura cognitiva do aprendiz. É nela que ocorre a relação lógica entre o que o aprendiz já sabe com a nova informação. Assim, os subsunçores já existem na estrutura cognitiva do aluno e eles servirão como ponto de ancoragem para uma nova informação.

Outra forma de desenvolver subsunçores na estrutura cognitiva do indivíduo, além da aprendizagem mecânica, é fazer uso de organizadores prévios. Estes organizadores são materiais extremamente relevantes que preparam o aluno para os novos conceitos que irão aprender. O autor Moreira (2009), cita que:

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. Organizadores prévios são materiais introdutórios apresentados antes do material a ser aprendido em si (MOREIRA, 2009, p. 163).

É importante citar que os organizadores prévios não tratam, simplesmente, de revisão de conteúdo. Neles, há necessidade de que haja conceitos que servirão de subsunçores para os novos assuntos que serão estudados. Apenas para clarear essas informações, citamos que os organizadores prévios são materiais que irão preparar o assunto que será aprendido e que os subsunçores são conceitos inclusivos dos alunos.

Sendo a aprendizagem significativa ponto fundamental da teoria de David Ausubel, citamos abaixo os três tipos de aprendizagem significativa defendida por ele: representacional, conceitual e proposicional. A primeira é a mais simples e serve de base para as duas outras. Ela está relacionada ao conhecimento dos símbolos que o indivíduo aprende. O mesmo símbolo pode ter significados diferentes. Apenas para efeito didático, podemos dar o seguinte exemplo: a letra “a” pode

significar a primeira letra de nosso alfabeto, mas também significar aceleração, ou um gene recessivo, quando o “a” estiver relacionado ao estudo da Física e da Biologia, respectivamente. As representações não precisam estar relacionadas apenas às letras do alfabeto, mas, também, às figuras geométricas: círculos, quadrados, triângulos, etc.

A segunda forma de aprendizagem significativa – conceitual – faz referência aos conceitos, conforme o próprio nome sugere. Neste caso, além de o aprendiz saber que o “a” representa a aceleração de um corpo, é necessário que ele saiba o conceito de aceleração, ou seja, que ela fornece a taxa de variação da velocidade pela taxa de variação temporal ( $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ ). Vemos assim, que esta forma de aprendizagem é mais aprimorada do que a anterior, ela exige mais que uma simples “memorização”.

A aprendizagem significativa proposicional, considerada a mais complexa, fornece condições ao aprendiz de obter informações por meio de proposições. Aqui, o aluno tem condições de relacionar novos significados, tanto denotativos quanto conotativos, pelas combinações e relações de palavras ou ideias. A título de exemplo para esta aprendizagem, a qual é a mais complexa quando comparada com as duas anteriores, temos: para o aluno entender os conceitos de função seno e cosseno, é necessário que ele conheça os parâmetros de uma circunferência – raio, diâmetro, ângulo e projeções – conheça o plano cartesiano e o conceito de função. Sem esses conhecimentos prévios, o aluno poderá ter apenas uma aprendizagem mecânica, a qual não é a ênfase da teoria de David Paul Ausubel.

Outro ponto importante a ser considerado na teoria de Ausubel é o conceito de aprendizagens por recepção e por descoberta. Temos que tomar cuidado para que os conceitos dessas aprendizagens não sejam confundidos com os de aprendizagens significativa e mecânica, as quais já foram abordadas nesta dissertação. Nas primeiras formas de aprendizagens, há uma relação estreita com o ensinar, enquanto, que na segunda há uma relação intrínseca com a forma de aprender. Não será discutida aqui qual aprendizagem - recepção ou descoberta - leva à aprendizagem mecânica ou significativa, até mesmo porque não acreditamos nesta relação. Assim, é importante citar que diversos autores, entre eles Moreira e Masini (2001), Santos (2003) e Moreira (2011), citam que uma aprendizagem por

descoberta não necessariamente leva a uma aprendizagem significativa, da mesma forma como a aprendizagem por recepção não o faz. O que torna uma aprendizagem por descoberta ou por recepção é a forma de como o material de estudo é apresentado ao aluno. Cabe frisar aqui que aprendizagem por recepção não significa passividade, ou seja, mesmo nesta forma de aprendizagem, o aluno tem condições de participar ativamente do processo. Assim, os materiais de estudos apresentados por meios de livros, aulas expositivas, vídeos, jogos, textos, entre outros, fornecem condições ao aluno de ter uma aprendizagem significativa.

Para Ausubel, a aprendizagem significativa não ocorre de qualquer forma, há necessidade de dar condições para que ela seja concretizada. Para isso, ele relaciona aspectos do material, do discente e do docente. Conforme vemos nas palavras de Moreira (2009), o material deve ser relacionável à estrutura cognitiva do aprendiz, de maneira não arbitrária e não literal. É necessário, também, que o aluno manifeste uma disposição para relacionar de maneira substantiva e não arbitrária o material, do contrário a aprendizagem pode ocorrer apenas de forma mecanizada.

Assim, para encerrar esse resumo sobre a Teoria da Aprendizagem Significativa de David Paul Ausubel, citamos que a aprendizagem significativa ocorre quando um novo conceito faz relação relevante com os conceitos já existentes na estrutura cognitiva do indivíduo. Esperamos que o papel do professor na facilitação da aprendizagem significativa, conforme cita Santos (2013), seja identificar a estrutura conceitual e proposicional da matéria de ensino, identificar quais são os subsunçores para um determinado tópico a ser estudado, diagnosticar aquilo que o aluno já sabe, ou seja, os conhecimentos prévios, e facilitar na aquisição de conceito de modo significativo. Para o estudo do Modelo Padrão, é importante que o professor consiga indentificar nos alunos os seguintes subsunçores: modelo atômico, núcleo atômico, eletrosfera, partículas elementares, partículas subatômicas e força de interação.

## CAPÍTULO 2: DESENVOLVIMENTO HISTÓRICO

É possível afirmar que tudo que sabemos hoje sobre a natureza é fruto dos esforços de muitas pessoas, remontando desde a antiguidade. Conforme cita Cruz (2005), o homem sempre buscou compreender os fenômenos e os mistérios do mundo à sua volta, e essa busca constitui-se numa longa odisséia, em que muitos se empenham, até lhe dedicando a vida inteira.

Mas o que levou e leva tantos pensadores e/ou pesquisadores a dedicarem as suas vidas em prol da construção do conhecimento? É possível dizer que é a sede pelo conhecimento, ou, simplesmente, a curiosidade? Quem sabe as duas?

O conhecimento produzido ao longo de séculos abrange diferentes áreas, como Física, Química, Matemática, Ciências Sociais, etc. E cada uma dessas áreas possui dezenas de subáreas que muitas vezes não se comunicam entre si. Mas não está no escopo desta dissertação analisar áreas inteiras ou mesmo as suas ramificações. O que se deseja aqui é dar um tratamento específico ao estudo das partículas constituintes da matéria, pouco vista no Ensino Médio. A forma como será apresentado esse estudo deve servir de base para a elaboração de uma sequência didática que possa ser coerentemente trabalhada com os estudantes, permitindo a construção do conhecimento de forma plena, satisfatória e significativa.

Assim, tendo a constituição da matéria como foco desta pesquisa, uma pergunta é fundamental para a introdução deste assunto: do que as coisas são feitas? Essa pergunta é crucial para a humanidade. Como ponto de partida para os nossos estudos, adotamos duas teorias filosóficas: a atomística e a dos quatro elementos. A primeira surgiu com o pensador Leucipo (480 – 420 a.C.) e se fortaleceu com o seu contemporâneo Demócrito (460 – 370 a.C.). Nessa teoria, conforme Baeyer (1994), todos os objetos materiais consistem em minúsculos pedaços indivisíveis de matéria que se deslocam no vácuo. A palavra átomo vem do grego *a-tomos*, que significa “não-divisível.” Como os primeiros atomistas defendiam a ideia de que tudo na natureza era constituído de átomos e vazios, consideravam que até mesmo a alma era formada por átomos. Vemos, em Pires e Carvalho (2014), que os gregos acreditavam que todas as coisas eram constituídas de uma infinidade de pequenos átomos, eternos, imutáveis e indivisíveis. Esses átomos

existiam em diversas formas, possuíam ganchos e engates que permitiam suas combinações, e explicavam a variedade das substâncias existentes.

Os pensamentos dos primeiros filósofos sobre a matéria não estão tão distantes do que conhecemos hoje, muito pelo contrário, a sua semelhança traz admiração aos estudiosos modernos sobre o assunto, como podemos ver em Rocha (*et al.*, 2011):

O atomismo é um sistema de pensamento extremamente avançado para a sua época e possui, a nosso ver, grandes virtudes, sendo uma delas a de eliminar do pensamento antigo o medo e a superstição provocados pela intervenção de deuses vingativos e ciumentos, permitindo ao universo uma evolução livre feita de acordo com a dança combinatória dos átomos. Além disso, o atomismo sustenta até hoje a base do pensamento científico ocidental, qual seja, a de dividir um sistema complexo e mutante em partes indivisíveis e, portanto, sem estrutura interna. É a técnica de “dividir por partes para entender o todo”. Essa concepção científico-filosófica constituiu-se numa das grandes sínteses do pensamento ocidental, que persiste na ciência moderna... (ROCHA et al., 2011, p. 59).

Outro defensor do pensamento atomístico antes da era Cristã, mas agora romano e não grego, foi Lucrécio (95 – 52 a.C.). Ele difundiu com muita propriedade o pensamento atomístico em seu poema *Da Natureza das Coisas*. Segundo Baeyer (1994), em todos os aspectos, os átomos filosóficos de Lucrécio precedem os seus correlatos modernos, conforme podemos ver abaixo:

os átomos eram pedaços invisíveis, sólidos e não-perecíveis de matéria que não poderiam ser subdivididos e que não possuíam partes. Podiam desprender-se mutuamente e se aglutinar formando compostos. Eles estão rodeados pelo vácuo, no qual circulam livremente. Substâncias diferentes consistem em átomos diferentes, mas os átomos de uma mesma substância são idênticos (BAEYER, 1994, p. 126).

O pensamento do autor está em consonância com o de Neves e Farias, quando se referem às descobertas feitas sobre a Estrutura da Matéria, ocorridas séculos depois dos pensamentos de Leucipo e de seu discípulo:

A respeito das descobertas posteriormente feitas no tocante à estrutura da matéria, as ideias de Demócrito e Leucipo estavam, em essência, corretas, e é mesmo admirável que, há mais de 1.500 anos, e contando apenas com os recursos de suas mentes, um conceito de partícula elementar tão próximo do atual tenha sido elaborado (NEVES e FARIAS, 2011, p. 18).

A segunda teoria sobre as partículas constituintes da matéria, defendida por Empédocles (495 – 430 a.C.), dizia que todas as coisas eram formadas por quatro elementos essenciais: fogo, água, terra e ar. Esses elementos eram imutáveis, mas poderiam se combinar sob a ação de duas forças, uma de atração e a outra de repulsão. O autor Rocha cita que “os quatro elementos eram a terra, o ar, o fogo e a água, e as duas forças eram por ele (Empédocles) poeticamente chamadas de “amor” e “ódio”, isto é, atração e repulsão.” (ROCHA et al, 2011, p.57) Entre outros pensadores que apoiaram essa teoria, podemos citar Aristóteles (384 – 322 a.C.). Para ele, os quatro elementos defendidos por Empédocles poderiam se combinar dois a dois para formar as substâncias, e cada nova substância dependia da proporção dos elementos que era formada. Assim, substâncias diferentes poderiam ser formadas pelos mesmos elementos, mas em proporções diferentes. No que se refere a essa teoria, encontramos nas palavras de Neves e Farias o seguinte:

Aristóteles admitiu que os quatro elementos (ou antes, princípios) fundamentais eram: frio, quente, úmido e seco. Esses “princípios” agrupados dois a dois produziram, por sua vez, os quatro elementos de Empédocles. Assim: seco + frio = terra; seco + quente = fogo; úmido + frio = água e úmido + quente = ar (NEVES E FARIAS, 2011, p. 34).

A figura abaixo ilustra os quatro elementos criados por Empédocles e as suas combinações, em partes iguais, formando as qualidades descritas por Aristóteles:



**Figura 01.** Os quatro elementos clássicos de Empédocles e as qualidades de Aristóteles.  
Fonte: quimlab

Ainda sobre a constituição da matéria, Aristóteles foi mais adiante, ele introduziu um quinto elemento: o éter. Para ele, o éter era o constituinte da matéria supralunar, ou seja, tudo que houvesse após a lua seria feito de éter e, nesta região, somente os deuses podiam interferir. Por outro lado, na região sublunar, tudo era formado pela combinação dos quatro elementos.

Desta forma, temos que as principais diferenças entre essas duas teorias sobre a concepção da matéria são: I-) no atomismo, tudo, inclusive a alma, era constituído por partículas indivisíveis e imutáveis que se movimentavam no vazio. Essas partículas possuíam tamanhos e formas diferentes, ou seja, as suas propriedades eram geométricas. Não havia espaço para existência dos deuses, pois a criação das coisas era explicada pelas combinações dessas partículas para formarem o visível e o invisível. II-) Na teoria dos quatro elementos, o vazio não existia, tudo era formado por elementos visíveis ou que pudessem ser sentidos (água, terra, fogo e ar), mas a alma, que não era matéria, era formada por ações divinas. O espaço supralunar era habitado por deuses, criadores de todas as coisas.

Assim, entre essas duas teorias sobre a concepção da matéria - atomismo e os quatro elementos - esta prevaleceu sobre aquela. Acreditamos que vários fatores contribuíram para isso, entre eles podemos citar: a) apoio da igreja católica, pois, conforme já citamos, nessa teoria havia espaço para os deuses; b) explicação da matéria apoiada em elementos visíveis; c) Aristóteles atuou em muitos campos, como Lógica, Física, Metafísica, Biologia, Ética, Política e Retórica, o que lhe trouxe credibilidade.

Os pensamentos Aristotélicos dominaram todo o mediterrâneo e a Europa e atravessaram séculos, passando por todo período da Idade Média (V – XV d.C.). A Igreja, sob fortes influências dos pensamentos de Aristóteles, o qual era contrário à teoria atomista, era considerada a instituição mais importante desse período. Conforme podemos ver na citação abaixo:

os clérigos se tornaram sucessores dos filósofos da antiguidade e a Igreja passou a determinar o clima cultural. Poucos se interessavam pela Ciência ou Filosofia, exceto na medida em que esses assuntos pudessem servir para fins religiosos (PIRES, 2011, p. 61).

O mesmo autor cita, ainda, que para “Santo Angostinho, um dos clérigos mais eruditos e influentes, o único tipo de conhecimento desejável era o



conhecimento de Deus e da alma e para ele não havia proveito algum a investigação do reino da Natureza” (PIRES, 2011, p. 60). Encontramos essa dominação da Igreja Católica, também, na citação dos autores Mota e Flores: “... a Igreja detém a única forma centralizada e hierarquizada do saber via o monopólio dos ensinamentos, em geral, visando exclusivamente a formação de seus próprios religiosos.” (MOTA E FLORES et al., 2003, p. 30 e 31)

O período da Idade Média é denominado por alguns autores, entre eles Neves e Farias (2011), de Período do Obscurantismo, pelo menos do ponto de vista da ciência. Neste período de mil anos, a ciência ficou obstruída pela Igreja e o seu desenvolvimento ocorreu praticamente de forma indireta. Vemos nas citações de Mello (2016) que:

a expansão do Cristianismo foi uma imensa derrota para a ciência, que era considerada bruxaria, mergulhando a humanidade no obscurantismo medieval por mais de dez séculos, onde a dúvida era pecado mortal devidamente “corrigida” com as chamadas inquisições (MELLO, 2016, p. 01)

Há, também, outra corrente que se opõe à crítica dada ao período da Idade Média. Um dos pensadores desta corrente é o autor Lindberg<sup>4</sup>. Ele cita que na Idade Média várias faculdades foram criadas na Europa, entre elas são destacadas Direito, Filosofia, Astronomia e Teologia. Sua defesa das principais contribuições medievais é apresentada por Pires na citação abaixo:

Primeiro, ele diz que os estudiosos do período final da Idade Média criaram uma tradição, na ausência da qual o progresso ulterior na Filosofia natural seria impossível. Em segundo lugar, diz ele, os filósofos europeus procuraram entender o conteúdo do vasto conhecimento filosófico ganho dos gregos e árabes. Em terceiro, aponta o apoio intelectual das escolas e universidades que surgiram naquela época (PIRES, 2011, p. 83).

É certo que nenhum dos fatores isoladamente citados pelos autores, teria conduzido a ciência ao patamar que estamos hoje. Não será discutido nesta dissertação se o período da Idade Média trouxe ou não grandes contribuições, direta ou indiretamente, para a ciência, mas sim informar ao leitor que foi um período de transição, pois foi nele que o conhecimento que estava concentrado na Grécia e em

---

<sup>4</sup> Lindberg, David C. *The Beginnings of Western Science*. Chicago: University of Chicago Press, 1992.

áreas próximas sofreu a transição para a Europa, o que, com certeza, necessitou de muito esforço e tempo.

Como nos é ensinado pela História, todo período não se inicia ou termina do nada, as mudanças e/ou transformações acontecem paulatinamente devido às ações de grupos, geralmente minorias, com ideias divergentes das que ora dominam o cenário. Com o período da Idade Média não foi diferente. Por volta do século XIV, deu-se início ao movimento denominado de Renascimento, o qual, tendo a Itália como berço, mas que logo se espalhou por toda a Europa, se estendeu até o século XVI. No período do Renascimento ocorreram muitas transformações em todos os campos: político, econômico, artístico, literário, científico e, principalmente, das ideias. Nas citações de Mota, temos que, com o florescimento das artes na Renascença, a redescoberta da literatura clássica grega, as grandes navegações, os surgimentos de Instituições de Ensino com alguma independência da Igreja, a Reforma Protestante, todos estes elementos contribuíram para o enfraquecimento da Idade Média (Mota et al, 2003). A autora Godinho (2012) reforça o Renascimento como o período que proporcionou o desenvolvimento do racionalismo, a explicação do mundo através de verdades estabelecidas pela razão, e permitiu que fosse desenvolvida a observação experimental, o que levou à descoberta de leis que regem a natureza. Dentro deste contexto, podemos citar alguns ícones da ciência que começaram a questionar as ideias de Aristóteles, tanto da ação divina sobre o homem, sobre todas as coisas e sobre a investigação e a afirmação da verdade. Entre esses pensadores podemos citar Nicolau Copérnico (1473-1543), Tycho Brahe (1546-1601), Johannes Kepler (1571-1630), Galileu Galilei (1564-1642), entre outros.

No desenvolvimento das ciências da natureza como a Biologia, a Física e a Química, as quais, no período medieval, ainda não eram tratadas separadamente como hoje, esta última teve um papel de destaque, pois os experimentos nessa área foram conduzidos em grande escala, o que contribuiu fortemente para o desenvolvimento da Estrutura da Matéria, principalmente no que se refere às ideias do modelo corpuscular, o qual foi retomado com o Renascimento. Nas citações de Neves e Farias (2011) encontramos alguns desses notórios estudiosos e algumas de suas contribuições:

O químico Nicolas Lémery (1645-1715) explicava as propriedades da matéria com base nas formas dos átomos...assim, para ele os ácidos seriam formados por átomos com protuberâncias pontiagudas que penetrariam os poros dos átomos das bases [...] Robert Boyle, químico que viveu entre 1627 a 1691, se torna conhecido por conta de seus experimentos sobre as propriedades físicas do ar, combustão e calcinação [...] Johann Rudolph Glauber (1604-1670) foi possivelmente o químico prático mais produtivo do século XVII, dentre as suas inúmeras contribuições para a química sintética, Glauber desenvolveu um método para a preparação de ácido nítrico, mediante o aquecimento de nitrato de potássio na presença de ácido sulfúrico [...] No século XVIII, a Química se estabelece, de forma inequívoca, como uma ciência independente... neste mesmo século, os laboratórios de Química passaram a ser equipados com balanças e termômetros, entre outros equipamentos o que levou as experiências a resultados mais precisos (NEVES E FARIAS, 2011, p. 40-48).

Assim, a Química, com laboratórios mais equipados e com novas técnicas, possibilitou desenvolver experiências mais precisas, o que levou a resultados que contribuíram decisivamente para o desenvolvimento dessa ciência e que levaram os estudiosos da época a pensar mais sobre o atomismo, principalmente nos estudos dos gases. Esta constatação pode ser vista nas citações de Rosmorduc:

Boyle distingue as misturas das combinações, distinção ainda em vigor: os corpos que constituem as misturas conservam suas propriedades e são facilmente separáveis por simples ações mecânicas; ao contrário, uma combinação tem suas propriedades características, diferentes das de seus constituintes, os quais não são separáveis como os de uma mistura... Em 1765, Cavendish estuda o gás que é liberado na reação do ácido sulfúrico diluído sobre o ferro, gás cuja existência era conhecida anteriormente...Em 1774, Priesley aquece óxido de mercúrio; ele constata que se libera um “ar” que ativa as combustões... Um novo elemento é fornecido pelo matemático e mecânico Daniel Bernouilli, que retoma certas idéias de Gassendi... Bernouilli publica em 1738 o que se tornará em seguida a teoria cinética dos gases. O gás é elástico como resultado do choque de suas partículas constituintes com o recipiente que o contém. Se se diminuir da metade o volume deste recipiente, a densidade de partículas assim como o número de choques dobram, e a pressão do gás também (ROSMORDUC, 1988, p. 101-102).

No trecho acima, o autor faz referências às ideias de Gassendi. Apenas para refrescar as nossas mentes, Gassendi (1592-1655) foi um filósofo e matemático francês que demonstrou grande interesse pelo pensamento atomista. Nas citações de Neves e Farias (2011, p. 34), temos: “Os escritos de Gassendi reviveram o interesse pela teoria atômica, que se tornaria largamente difundida no século XVII.” Rosmorduc faz referência também à teoria cinética dos gases, a qual teve papel decisivo na evolução da teoria atômica.

Dois outros químicos, entre o fim do século XVIII e início do XIX, que trouxeram grandes contribuições para a Química e cujas ideias ajudaram Dalton na formulação do seu modelo atômico foram Lavoisier (1743-1794), com a Lei das Proporções da Massa, e Proust (1754-1826), com a Lei das Proporções Fixas. Conforme descreve Aragão:

Lei da Conservação da Massa, de Lavoisier: a soma dos pesos das substâncias que reagem é igual à soma dos pesos das substâncias que têm origem nessa mesma reação. De outra maneira, na natureza nada se cria e nada se perde, tudo se transforma [...] Lei das Proporções Fixas, de Proust: determinada substância composta é formada por substâncias mais simples, unidas sempre na mesma proporção em massa. (ARAGÃO, 2008, p. 35-41)

Essas foram algumas das contribuições dadas pela Química que ajudaram Dalton a construir o primeiro modelo atômico moderno. Logo a seguir, falaremos sobre este modelo e outros, retomando de forma detalhada cada um deles.

Antes de prosseguirmos com o estudo da matéria e abordarmos os pensamentos de John Dalton (1766 – 1844), cientista que construiu o primeiro modelo atômico, faremos uma pequena pausa sobre esse assunto e introduziremos alguns conceitos sobre Métodos Científicos. Essa abordagem torna-se necessária porque, das atividades do Produto Pedagógico Educacional desta dissertação, duas exigem conceitos que se encontram nesse método, os quais, bem como, nos ajudarão a entender os caminhos trilhados pelos pesquisadores para construir hipóteses, modelos e teorias.

## 2.1 MÉTODO CIENTÍFICO

Conforme vimos, logo no início desta dissertação, a busca pelo conhecimento é antiga. É fato que não temos como precisar quando o homem começou a buscá-lo, mas tudo nos leva a crer que está longe de ter fim. Porém, calcado nos acúmulos de nossas experiências, concluímos que essa busca se iniciou logo após o surgimento de um problema, seja ele científico ou não. No que se refere à ciência, em que os cientistas têm um compromisso com a verdade, podemos dizer que a busca pelo conhecimento, utilizando-se de métodos e/ou técnicas diferentes, pode

ser chamada de investigação científica. Quanto ao conhecimento, o autor Costa (2001) o classifica em quatro tipos: filosófico, teológico, empírico e científico.

O conhecimento filosófico diz respeito ao saber e ao amor pelo conhecimento. Etimologicamente, filosofia significa amor à sabedoria. O conhecimento teológico é o saber que vem pela revelação. Depende fundamentalmente da crença e da fé. O conhecimento empírico é aquele que resulta da prática, da experiência, e é mantido pela tradição. O conhecimento científico é aquele produzido segundo as regras do método científico. É o conhecimento baseado na realidade, sendo testável, reproduzível e fortemente determinista (COSTA, 2001, p. 8-10).

O último conhecimento citado pelo autor, ou seja, o científico, foi o que teve maior relevância nesta dissertação, pois ele nos forneceu suporte para entender como o primeiro modelo para a Estrutura da Matéria foi construído no início do século XIX e o porquê da necessidade de novos modelos serem criados. O autor define conhecimento científico como:

Organizado, metódico e sistemático, além de analítico, racional, cumulativo e empírico. **Organizado** por ser hierarquizado... articulado funcionalmente. É **metódico** porque cuja produção segue caminhos pré-determinados... É **sistemático** no sentido de que as ideias, os conceitos, as teorias e os recursos de que se vale pertencem todos a uma *família lógica de declarações e de conclusões*. **Analítico** porque implica *desmontar o todo em suas partes*, a fim de que, conhecendo o *mecanismo de funcionamento de cada uma*, seja possível enxergar, no todo, a contribuição individual. Por ser **racional**, o conhecimento científico exclui toda e qualquer relação entre variáveis que dependa de crença ou de fé. Também não participam da construção do conhecimento científico as emoções. Finalmente, é a **experiência** – como **produto** – e o **experimento** – como **ação** – que dão o toque final à produção de conhecimento científico (COSTA, 2001, p. 11 e 12).

As primeiras ideias do método científico remontam ao século XIII, com Roger Bacon (1220 - 1292), o primeiro a defender a experimentação como forma de conhecimento, mas o marco deste método se deu com a obra *Discurso do Método*, de René Descartes (1596 – 1650), na qual encontramos os seus fundamentos. Por definição, temos que método é um conjunto de regras que uma pessoa deve seguir para alcançar um determinado objetivo: chegar a algum lugar, concluir um curso, fazer uma investigação, etc. As autoras Marconi e Lakatos (2005) definem o método científico como:

“conjunto das atividades sistemáticas e racionais que, com maior segurança e economia, permite alcançar o objetivo – conhecimentos válidos e verdadeiros - , traçando o caminho a ser seguidos, detectando erros e auxiliando as decisões do cientista (MARCONI E LAKATOS, 2005, p. 83).

Modernamente, para Lakatos e Marcone:

“todas as ciências caracteriam-se pela utilização de métodos científicos, em contrapartida, nem todos os ramos do estudo que empregam estes métodos são ciências. Dessas afirmações, podemos concluir que a utilização de métodos científicos não é alçada exclusiva da ciência, mas não há ciência sem o emprego de métodos científicos (MARCONI E LAKATOS, 1991, p. 39).”

Vale ressaltar que o método científico não é único e nem sempre o mesmo para um determinado objeto de estudo, pois ele reflete a temporaridade bem como as tecnologias da época da investigação. Conforme definem Barros e Lehfeld:

O método não é único e nem sempre o mesmo para o estudo deste ou daquele objeto e/ou para este ou aquele quadro da ciência, uma vez que reflete as condições históricas do momento em que o conhecimento é construído. Somente à base desta reflexão o pesquisador conseguirá compreender o plano histórico e dinâmico do conhecimento científico (BARROS E LEHFELD, 2000, p. 55).

Por não serem único, os caminhos tomados para atingir os objetivos foram classificados em indutivo, dedutivo, hipotético-dedutivo e dialético. Resumidamente, os autores Diniz e Silva descrevem cada um deles:

o indutivo, que pressupõe a observação de fatos particulares para elaboração de explicações gerais; o dedutivo que parte de teorias gerais que são aplicáveis ao conhecimento dos fenômenos particulares; o hipotético-dedutivo que se orienta por deduções teóricas e hipóteses verificáveis na busca do estabelecimento de novos parâmetros teóricos; e o método dialético que busca o conhecimento por meio das contradições, negações e conflitos em processo de mudança qualitativa (DINIZ E SILVA, 2008, p. 16).

O método científico é uma forma de investigação da ciência, é um procedimento que busca conhecer e interpretar a realidade.

Saiz (2011) acrescenta que neste método não se levam em consideração superstições ou sentimentos religiosos, conforme defendido também por Costa (2001), mas sim a lógica e a observação sistemática dos fenômenos estudados.

Outros assuntos que destacamos na construção desta dissertação são as hipóteses, os modelos e as teorias, porque esses conceitos estão intrinsecamente ligados ao conhecimento científico. A partir de observações de um fenômeno, os cientistas dão respostas primárias com o intuito de explicá-lo. Estas respostas primárias, sendo elas verdadeiras ou não, recebem o nome de hipóteses, as quais devem ser testadas para verificar as suas veracidades. Para GIL (2002, p.31), hipótese é uma “tentativa de oferecer uma solução possível mediante uma proposição, ou seja, uma expressão verbal suscetível de ser declarada verdadeira ou falsa.”

As autoras Marconi e Lakatos definem hipótese como sendo uma afirmação “provável, suposta e provisória” para um problema. Ela pode ser classificada como básica ou secundária e pode ser de diferentes formas, entre elas:

- as que afirmam, em dada situação, a presença ou ausência de certos fenômenos;
- as que se referem à natureza ou características de dados fenômenos, em uma situação específica;
- as que apontam a existência ou não de determinadas relações entre fenômenos;
- as que prevêem variação concomitante, direta ou inversa, entre certos fenômenos etc.

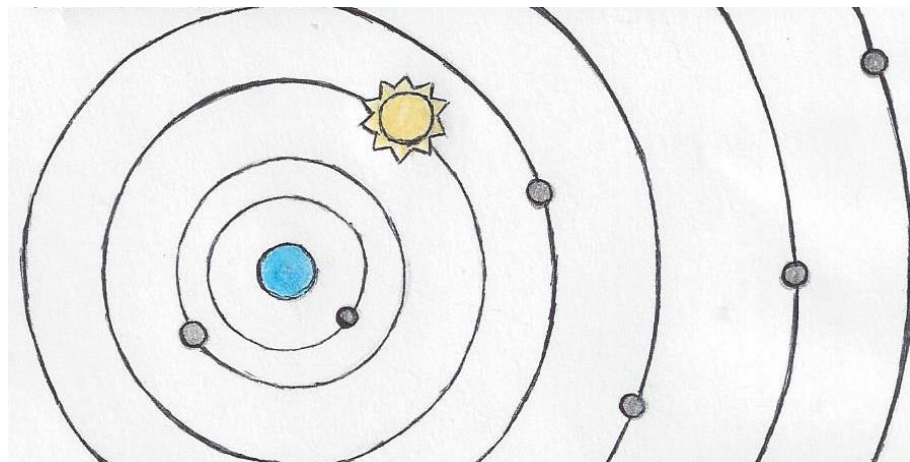
As hipóteses secundárias são afirmações complementares da básica, podendo:

- abarcam em detalhes o que a hipótese básica afirma em geral;
- englobar aspectos não especificados na básica;
- indicar relações deduzidas da primeira;
- decompor em pormenores a afirmação geral;
- apontar outras relações possíveis de serem encontradas etc. (MARCONI E LAKATOS, 2005, p. 222 e 223)

O modelo científico é uma forma de representação do conhecimento, podendo sofrer modificações à medida que novas descobertas são feitas, e a sua finalidade é dar forma estrutural ao conhecimento para melhor compreensão. Para Jung (2003, p. 32), os modelos científicos são “*formulados a partir de observações, percepções e interpretações do pesquisador acerca de dados coletados cientificamente.*” O autor, ainda, faz referência ao modelo científico como:

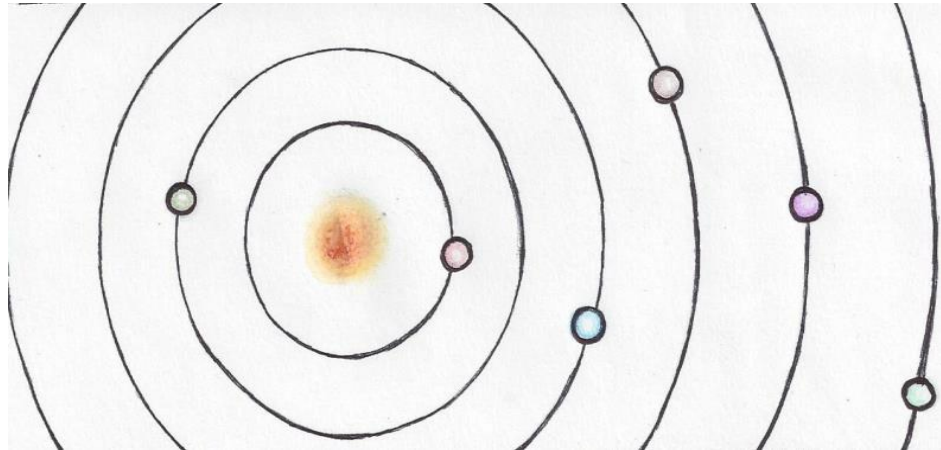
- uma representação lógica, um conjunto de mecanismos virtuais que permite a representação de um fenômeno;
- pode ser avaliado segundo a sua semelhança com o sistema físico real;
- a validade do modelo consiste em efetivamente descrever aquilo que se propõe a descrever e, depende do seu grau de precisão;
- os modelos são utilizados para representar os conhecimentos científicos obtidos através da experimentação ou observação dos fenômenos da natureza... (JUNG, 2003, p. 32 e 33).

Esta forma de representação do conhecimento já vem sendo adotada há séculos, nas diversas áreas do conhecimento, como a Biologia, Física, Química, Geografia, entre outras. Entre os modelos mais conhecidos, podemos citar: geocentrismo, heliocentrismo, estrutura terrestre, estrutura do código genético e atômico. As figuras 2, 3, 4, 5 e 6 representam, respectivamente os modelos supracitados.

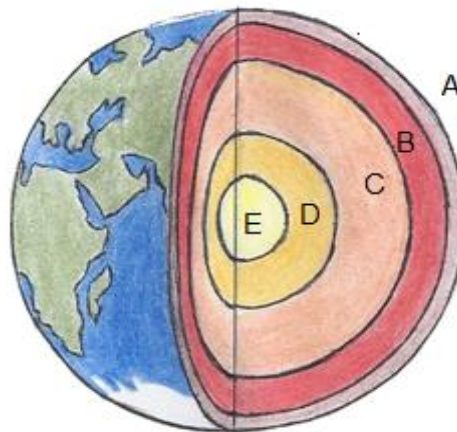


**Figura 02.** Modelo Geocêntrico – A Terra localizada no centro do Universo e os outros planetas e o Sol, girando em círculos em torno dela.  
Fonte: Autor

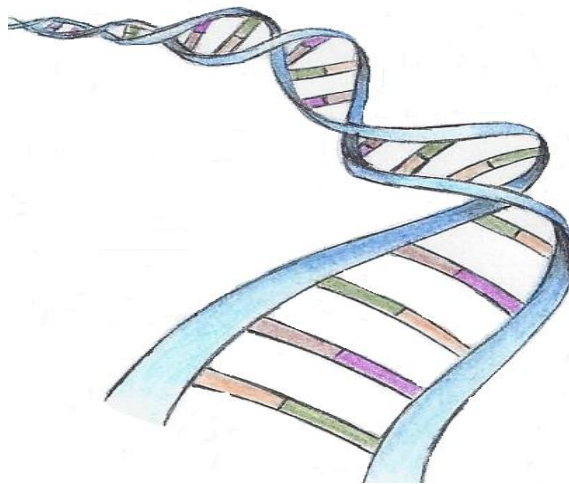




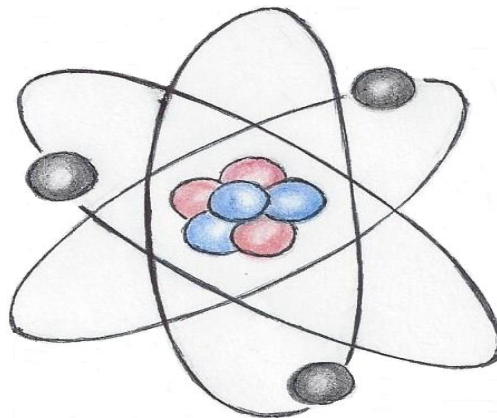
**Figura 03.** Modelo Heliocêntrico de Nicolau Copérnico – O Sol localizado no centro do Universo, e os outros planetas girando em círculos em torno dela.  
Fonte: Autor



**Figura 04.** Modelo da Estrutura da Terra com suas principais camadas – A) Crosta, B) Manto Externo, C) Manto Interno, D) Núcleo Externo e E) Núcleo Interno.  
Fonte: Autor



**Figura 05.** Modelo da Estrutura Molécula de DNA.  
Fonte: Autor



**Figura 06.** Modelo da Estrutura Atômica – Os prótons e os nêutrons no núcleo com os elétrons girando na região da eletrosfera.  
Fonte: Autor

No nosso dia a dia, a palavra teoria muitas vezes nos leva logo a imaginar a ausência da prática, mas, no meio científico, essa imaginação não se concretiza, porque a teoria científica é criada calcada em confirmações de hipóteses que são confirmadas pela observação e/ou pela experimentação, ou seja, a teoria está intrinsecamente ligada à prática. Para Costa (2001, p. 36), teoria científica é “o conjunto de descrições de um fenômeno particular, associado a explicações, mais as hipóteses que tenham resistido aos testes.” Para Jung (2003), as teorias científicas são superiores aos modelos científicos, pois elas, além de permitirem previsões acerca de um dado conhecimento, permitem, também, a identificação de

eventuais ações de controle, ou seja, elas estabelecem relações entre aspectos não diretamente observáveis. Ao encontro das ideias citadas pelo autor acima, as autoras Marconi e Lakatos afirmam que

A teoria serve para, baseando-se em fatos e relações já conhecidos, prever novos fatos e relações – a teoria torna-se um meio de prever fatos, pois resume os fatos já observados e estabelece uma uniformidade geral que ultrapassa as observações imediatas (MARCONI E LAKATOS, 2005, p. 119).

Como exemplos de teorias científicas, podemos citar: teoria da relatividade, teoria das cordas, teoria da gravitação universal, teoria do eletromagnetismo, entre outras. Mais informações e detalhes sobre métodos científicos, bem como as suas aplicações, podemos encontrar também em Costa (2001) e Johann (1997).

## 2.2 MODELOS ATÔMICOS

Conforme já citamos, até o presente momento não falamos sobre modelos, teorias científicas e leis que tratam da estrutura da matéria. Mas agora, se torna impossível dissertar sobre a matéria sem abordarmos os conceitos supracitados, porque já vamos entrar em assuntos do século XIX, e, por volta de meados do século XVIII, o pensamento atomístico já estava consolidado, pois os pensamentos Aristotélicos sobre a constituição da matéria, em que a intervenção divina predominava, aos poucos foram substituídos por conhecimentos científicos. Logo no início do século XIX, com forte influência da química, surge o primeiro modelo atômico: Modelo Atômico de Dalton (1766 – 1844).

### 2.2.1 O ÁTOMO DE DALTON

O conceito de teoria atômica surgiu com as ideias científicas sobre a Estrutura da Matéria proposta por Dalton depois de estudar os resultados das várias observações experimentais sobre gases e reações químicas. Conforme podemos ver em Farias, os conceitos atômicos propostos por Dalton foram muito mais que uma redescoberta do átomo:

Uma cuidadosa análise da ordem em que os estudos de Dalton foram publicados, permite afirmar que ele elaborou sua teoria atômica especulando sobre as propriedades físicas dos gases, executando, então, experimentos sobre proporções múltiplas, numa tentativa de confirmar suas hipóteses... As idéias atomistas de Dalton parecem ter evoluído rapidamente, passando a teoria – que inicialmente fora empregada para explicar o comportamento físico dos gases – a ser utilizada para explicar as reações químicas... O atomismo de Dalton foi bem mais do que uma redescoberta, ou uma espécie de plágio das idéias dos antigos pensadores gregos. O atomismo grego era de natureza apenas intelectual, especulativa, enquanto que o atomismo de Dalton nasceu já revestido de um aspecto quantitativo e prático, verdadeiro modelo científico, capaz de racionalizar diversas das informações conhecidas sobre as reações químicas. Dalton fez uma espécie de síntese entre o atomismo filosófico de Demócrito e Leucipo com o aspecto quantitativo das reações químicas, enfatizado por Lavoisier (FARIAS, 2013, p. 56).

No modelo proposto por Dalton, em 1808, os cientistas encontraram explicações para justificar as suas constatações experimentais, entre elas, a conservação da massa que ocorre durante uma reação química (Lei de Lavoisier) e a composição definida (Lei de Proust), conforme já citadas nesta dissertação. Neste sentido, Goldfarb et al. (2016, p. 126) destaca que “a quantificação das massas envolvidas nas transformações, por sua vez, conduziu a outra ideia fundamental: uma nova teoria atômica, formulada pelo inglês John Dalton.”

Retomando praticamente todos os conceitos dos gregos sobre o átomo e acrescentando os seus resultados obtidos pelas experimentações, Dalton sustentou os seguintes princípios:

- a-) a matéria é constituída por partículas últimas ou átomos;
- b-) todos os átomos de um mesmo elemento são idênticos e apresentam o mesmo peso;
- c-) átomos de elementos diferentes têm pesos diferentes;
- d-) os átomos são indivisíveis e não podem ser criados nem destruídos;
- e-) os compostos são formados por um número fixo de átomos de seus elementos constituintes (FILGUEIRAS, 2004, p. 42)

No item citado na letra “d”, o autor faz referência à Lei de Lavoisier: conservação da massa. Em suas experiências, Lavoisier “pesava” o reagente e o produto, e, como os recipientes eram fechados, não havia perda de massa: desta forma, ele pôde constatar que em uma reação química, a massa se conservava. Os recipientes utilizados por Lavoisier eram fechados porque ele já sabia que em algumas reações químicas, os produtos eram gases, e, assim, poderiam ser

liberados para o meio externo, interferindo nos resultados de seus experimentos. No item “e”, a referência é feita à Lei das Proporções Fixas de Proust. Segundo essa Lei, a composição de uma substância era mantida constante independentemente da massa total da substância. Desta forma, se para nove gramas de água houvesse a proporção de um grama de hidrogênio para oito gramas de oxigênio, então, para dezoito gramas de água, haveria dois gramas de hidrogênio para dezesseis gramas de oxigênio.

A figura 07 abaixo ilustra as ideias de Dalton ao citar que os átomos são esféricos, mas possuem massas e tamanhos diferentes para elementos diferentes. Quanto ao formato esférico, Dalton diferenciou dos gregos, pois estes consideravam que os átomos poderiam ter formas diversas, com ganchos e engates. Aliás, para os gregos, a única propriedade dos átomos era, justamente, a geométrica.



**Figura 07.** Ilustração de três átomos diferentes: A, B e C. As cores são fantasiosas e os tamanhos estão fora de escala. A combinação desses átomos formaria substâncias simples ou compostas, e a atração entre eles ocorria mutuamente.  
Fonte: Autor

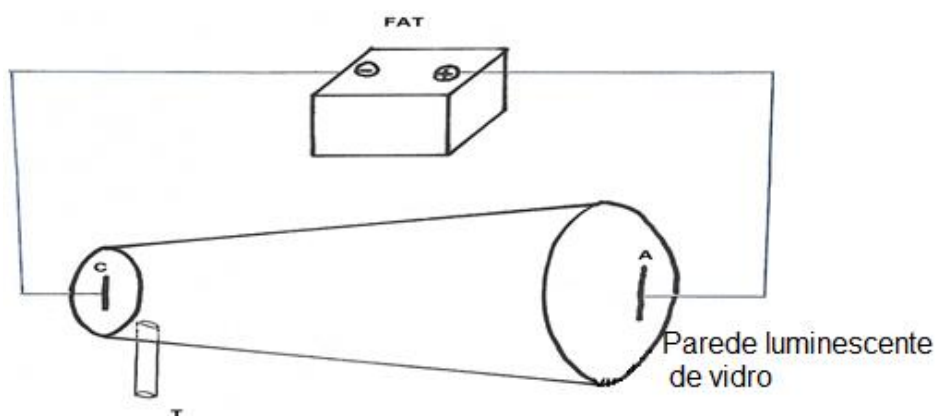
Quanto às transformações químicas, Dalton afirmava que elas eram, simplesmente, combinações e/ou rearranjos dos átomos. O modelo atômico de Dalton conhecido como Bola de Bilhar foi muito bem aceito pelos cientistas, mas com algumas restrições, porque ele não conseguia explicar alguns fenômenos que já eram estudados na época, como a eletricidade, a radioatividade e os isótopos. Mesmo sem essas explicações, o seu modelo despertou interesse de outros cientistas para os estudos da Estrutura da Matéria.

### 2.2.2 O ÁTOMO DE THOMSON

Todo modelo pode sofrer alteração ou, simplesmente, ser substituído quando novas descobertas feitas venham a contribuir para a explicação de fenômenos que

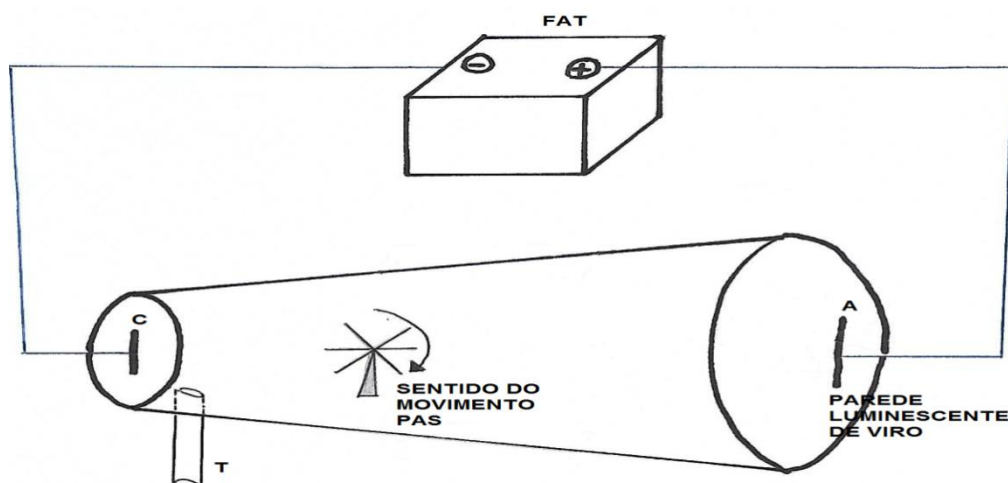
até então não eram explicados. Essas alterações ou substituições muitas vezes não ocorrem de forma tão rápida, podendo levar décadas ou até mesmo séculos, fato que ocorreu com o modelo de Dalton, que durou quase cem anos antes de ser substituído. Esse modelo atômico, conforme vimos acima, não explicava, entre outros fenômenos, a natureza elétrica da matéria. O estudo desse fenômeno, o qual já era conhecido desde a antiguidade, mas que se fortaleceu com o estudo da eletrólise, ajudou a derrubar o modelo da Bola de Bilhar, conforme veremos a seguir.

Os gases em condições normais de temperatura e pressão não são bons condutores de eletricidade, mas em condições especiais, como baixíssima pressão, podem conduzir eletricidade. Pensando dessa forma, em meados do século XIX os cientistas Heinrich Geissler, Johann Hittorf e William Crookes, desenvolvendo experimentos com gás em baixa pressão e submetido a altas tensões de natureza elétrica, em um tubo de raios catódicos, observaram que aparecia uma luminosidade dentro do tubo e, conforme a tensão elétrica aumentava, essa luminosidade desaparecia e apenas uma mancha surgia em uma das pontas do tubo. A figura 08 representa, de forma simplificada, um tubo de raios catódicos com os seus principais componentes:



**Figura 08.** Ilustração simplificada de um tubo de raios catódicos. FAT: Fonte de Alta Tensão; A: Anodo; C: Catodo e T: tubo conectado à bomba de vácuo.  
Fonte: Autor

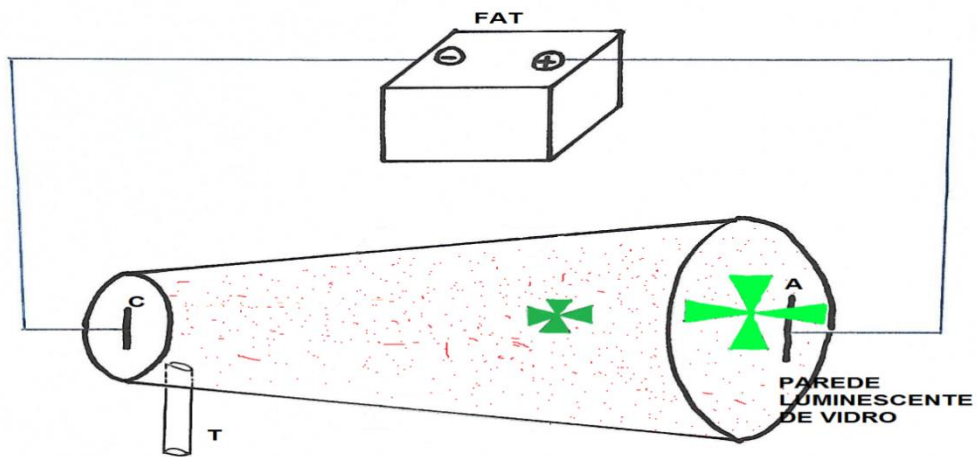
A partir de então, os cientistas trabalharam para descobrir a natureza desses raios, os quais foram chamados de raios catódicos. Para determinar o sentido de propagação desses raios, os cientistas colocaram uma pequena hélice entre o catodo e o anodo e observaram o movimento das pás das hélices, concluindo, assim, que os raios saíam do catodo e iam ao sentido do anodo. Concluíram, também, que como as pás giravam, então esses raios não eram formados por ondas, mas sim por partículas. A figura 09 ilustra o aparato montado pelos cientistas.



**Figura 09.** Ilustração da hélice de pás introduzida no tubo de raios catódicos girando após ser atingida pelos raios que saíam do catodo e seguiam em direção ao anodo.

Fonte: Autor

Para identificar a forma de propagação dos raios, os pesquisadores introduziram no tubo de raios catódicos, entre os dois polos A e C, anteparos com formatos diferentes. Perceberam que as sombras formadas nas paredes do vidro em que estava o anodo, eram semelhantes ao formato do anteparo. Assim, concluíram que os raios se propagavam em linha reta. A figura 10 representa a montagem do experimento em que os cientistas conseguiram notar a propagação retilínea dos raios catódicos.

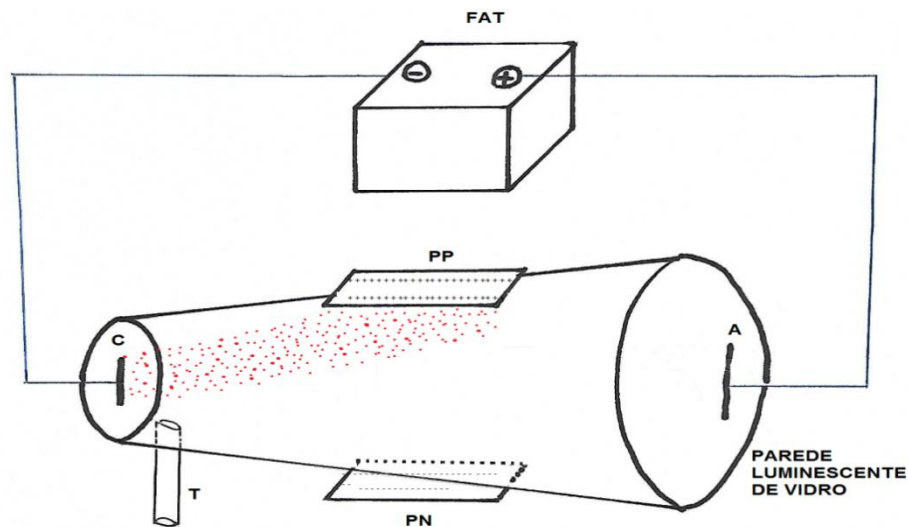


**Figura 10.** Ilustração de uma cruz, em verde, (o objeto utilizado pelos pesquisadores foi uma cruz de Malta) introduzida no tubo de raios catódicos sendo bombardeada pelos raios, cor vermelha, oriundos do catodo em direção ao anodo. A cruz luminiscente representa a imagem projetada no anteparo. As cores para representar a cruz e os raios são fantasiosas e os seus tamanhos estão fora de escala.

Fonte: Autor

No final do século XIX, o cientista Joseph John Thomson (1856–1940), realizando experiências em tubos de raios catódicos, dos mesmos utilizados pelos cientistas Geissler, Hittorf e Crookes, fez novas descobertas, conforme veremos abaixo, as quais foram fundamentais para construção de um novo modelo atômico. Thomson, ao fazer o estudo de diversos gases nas Ampolas de Crookes, concluiu que os raios catódicos faziam parte de todo tipo de matéria, pois em suas experiências, por diferente que fosse o gás, o comportamento das partículas era o mesmo que fora observado pelos seus antecessores. Para identificar se as partículas que saíam do catodo possuíam natureza elétrica, Thomson submeteu o tubo de raio catódico a um campo elétrico externo, formado por um capacitor. Percebeu, então, que as partículas que iam ao encontro do anodo eram desviadas no sentido da placa positiva do capacitor. Desta forma, concluiu que essas partículas possuíam natureza elétrica negativa. Assim, concluindo as suas pesquisas, em 1897, Thomson nomeou essas partículas de elétrons. A figura 11 ilustra a situação criada por Thomson:





elétrico externo, formado pelas placas do capacitor (PP=Polo Positivo; PN=Polo Negativo). As partículas emitidas pelo catodo (elétrons) são atraídas pelo polo positivo do capacitor.  
 Fonte: Autor

Das observações feitas com as experiências realizadas com o tubo de raios catódicos, até o final do século XIX os pesquisadores já haviam concluído, conforme encontramos em Martins, que os raios apresentavam as seguintes propriedades:

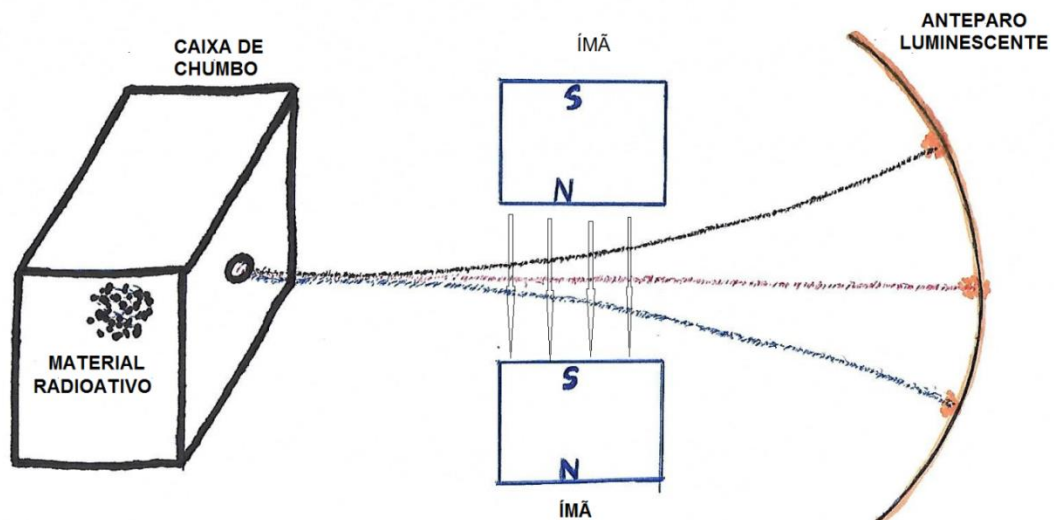
- se propagam em linha reta;
- podem penetrar pequenas espessuras da matéria;
- apresentam carga negativa;
- são defletidos por um campo elétrico;
- são defletidos por um campo magnético;
- transportam considerável quantidade de energia cinética. (MARTINS, 2001, p. 22-23)

Esse resultado vinha de encontro ao modelo atômico até então existente, ou seja, o átomo agora passou a ser visto como matéria divisível e com cargas elétricas.

O estudo dos raios catódicos, emanações de natureza elétrica, não foi a única contribuição para a melhor compreensão dos átomos. Por volta de 1886, Antonie Henri Becquerel (1852–1908), estudando as emanações naturais de alguns elementos instáveis, entre eles o urânio, percebeu que alguns elementos químicos emitiam, espontaneamente, raios com três características diferentes. Essa constatação foi feita quando Becquerel submeteu uma massa de urânio a um campo magnético e percebeu que os raios seguiam três caminhos distintos. Conforme cita Rosmorduc:

Becquerel denomina sua descoberta de “raios urânicos”. Todos os compostos de urânio possuem, ele constata, a mesma propriedade. Ela é portanto devida ao próprio átomo de urânio. Becquerel submete a radiação à ação de um campo magnético. Ele constata que os raios urânicos são, na realidade, compostos de três partes distintas (ROSMORDUC, 1988, p. 152).

A figura 12 representa a experiência desenvolvida por Becquerel quando adotou uma massa de urânio na presença de um campo magnético.



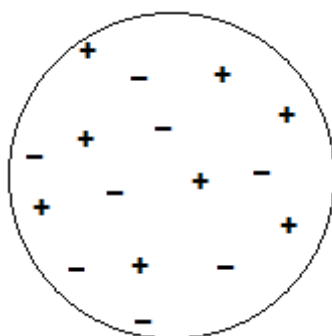
**Figura 12.** Ilustração do aparato da experiência de Becquerel. O material radioativo urânio, o qual se encontra dentro da caixa de chumbo, emite espontaneamente partículas que, ao passarem pelo orifício da caixa em direção ao campo magnético, seguem três caminhos distintos: algumas partículas são atraídas no sentido do polo norte do ímã, outras no sentido do polo sul, e outras não sofrem efeito do campo magnético. A seta indica o sentido do campo magnético. É importante observar que as linhas que indicam os “raios” não são observáveis, elas estão apenas representando as possíveis das partículas emitidas pelo material radioativo.  
Fonte: Autor

Outra contribuição importante à compreensão dos elementos radioativos foi dada por Marie Curie (1867-1934). Ela descobriu que outros elementos químicos como o rádio, o polônio e o tório também emanavam raios naturais, os quais foram nomeados radiações. Em suas pesquisas, Marie Curie concluiu que a radiação era proporcional à quantidade do elemento químico radioativo e não devido às reações químicas, como podemos ver em Parker:

Marie começou a pesquisar outras substâncias que emitissem radiações como o urânio, e descobriu que o tório era uma delas. Constatou também que, quanto maior fosse a proporção de metal (urânio ou tório, por exemplo) na substância, maior seria a radiação emitida. Marie deduziu então que as radiações não eram causadas por reações químicas, mas vinham dos átomos de urânio ou tório (PARKER, 1996, p. 12)

Enquanto o estudo dos raios catódicos levou à evidência de que os átomos não eram mais as menores partículas, com a radiação foi possível constatar que os átomos podiam ser mutáveis, ou seja, transmutar de um átomo para outro, mas esta constatação foi feita por Ernest Rutherford, conforme veremos adiante.

Assim, J.J. Thomson, calcado em suas experiências com tubos de raios catódicos e nas de seus antecessores, em 1903 propôs um novo modelo atômico, o qual foi denominado de Pudim de Passas. Thomson propôs que o átomo era esférico, de carga elétrica positiva, e os elétrons, de carga elétrica negativa, estariam incrustados nessa esfera unidas pelas forças de atração de natureza elétrica. Essa definição, encontra-se melhor explicada em Pires e Carvalho (2014, p.15): “Thomson apoiou a ideia de um modelo atômico consistindo de uma esfera de carga positiva uniformemente distribuída, onde os elétrons estavam embebidos como passas em um pudim.” A figura 13 ilustra o modelo atômico proposto por J.J. Thomson.



**Figura 13.** Modelo atômico proposto por J.J.Thomson. Átomo esférico carregado positivamente com cargas elétricas negativas incrustadas. Todas as cargas elétricas são distribuídas uniformemente, totalizando uma carga atômica neutra. Modelo conhecido como Pudim de Passas.  
Fonte: Autor

### 2.2.3 O ÁTOMO DE RUTHERFORD

Ernest Rutherford (1871–1937) foi aluno de Thomson e liderava uma equipe de físicos que trabalhava há tempos com elementos radioativos. Ele e sua equipe constataram que a radioatividade natural que ocorre em alguns elementos químicos deve-se à emissão de núcleos atômicos, e o elemento fonte passa a ser outro elemento químico. Nas palavras de Brennan, vemos que:

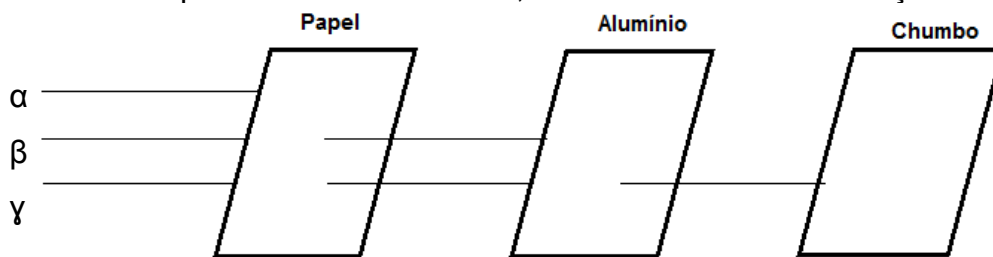
Ele (Rutherford) e seus colegas descobriram que a radioatividade que ocorre naturalmente no urânio consiste na emissão, por um átomo de urânio, de uma partícula que se transforma num átomo do elemento hélio, e que o que resta não é mais um átomo de urânio mas um átomo ligeiramente mais leve de um elemento diferente. Novas pesquisas mostraram que essa transmutação era uma numa série que terminava com o isótopo estável de chumbo (BRENNAN, 2003, p. 135).

O autor cita também que Rutherford concluiu que a radioatividade era um processo em que átomos de um elemento se desintegravam espontaneamente em átomos de um elemento inteiramente diferente, o qual permanecia igualmente radioativo.

Por volta de 1898, Rutherford, estudando os raios urânicos de Becquerel, concluiu que eles penetravam a matéria com intensidades diferentes e que eles sofriam a influência de campo elétrico. A radiação de menor penetração foi chamada por ele de raio alfa, e a outra de raio beta. Um ano mais tarde, Villard descobre uma terceira radiação, a qual recebeu o nome de gama. Esta, ao contrário das outras duas radiações, não sofria os efeitos do campo elétrico. Conforme cita Brennan:

Rutherford imaginou um experimento que permitiria identificar dois tipos distintos de radiação. O experimento envolvia o estudo do modo como radiações radioativas penetram lâminas de alumínio. Ele descobriu que parte da radiação podia ser detida por uma lâmina de alumínio com 1/500 de centímetro de espessura, ao passo que o restante só podia ser detido por uma lâmina consideravelmente mais grossa. Chamou a primeira radiação, positivamente carregada, de raios alfa, raios extremamente poderosos na produção de ionização mais facilmente absorvidos. À segunda radiação, negativamente carregada, chamou de raios beta, os quais produziam menos radiação mas tinham maior capacidade de penetração. Um terceiro tipo de radiação foi descoberto em 1900 pelo físico francês Paul Ulrich Villard. Ela tinha frequência extremamente alta e comprimento de onda curto, sendo portanto a mais penetrante de todas. Essa radiação foi chamada de raios gama. Embora chamasse o fenômeno que descobrira de “raios”, Rutherford pensava que eles deviam se compor de partículas extremamente diminutas de matéria (BRENNAN, 2003, p. 133-134).

A figura abaixo representa o poder das três radiações emitidas espontaneamente por elementos instáveis, conforme descrito na citação:



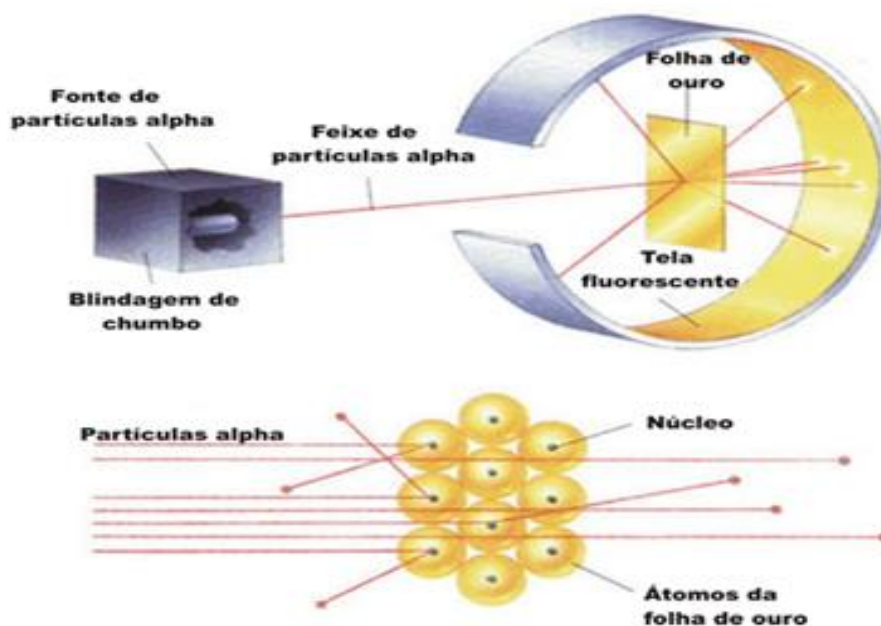
**Figura 14.** Ilustração do poder de penetração das partículas alfa ( $\alpha$ ), beta ( $\beta$ ) e gama ( $\gamma$ ). A primeira carregada positivamente e a segunda carregada negativamente, ambas sofrem influência de campo elétrico. A terceira não possui carga elétrica, sendo assim, invisível ao campo elétrico.  
Fonte: Autor

Rutherford considerava o modelo de Thomson correto, mas não estava totalmente convencido por este modelo. Assim, conhecendo as características das partículas alfas, construiu um aparato com o intuito de testar o modelo atômico proposto pelo seu mestre. Ele bombardeou com partículas alfa, as quais já se sabia, por meio da radioatividade, que eram partículas positivas, uma fina lâmina de ouro. Pelo modelo atômico de Thomson, as partículas alfa deveriam ser barradas, pois elas têm baixíssimo poder de penetração, porém não foi exatamente isso o observado. No aparato construído por Rutherford e sua equipe, conforme representado na figura abaixo, foi possível perceber que o caminho das partículas alfas, após passarem pelo spintariscópio (dispositivo inventado por Willian Crookes)

descreviam três configurações diferentes para os caminhos percorridos pelas partículas. Esse experimento pode ser melhor compreendido conforme descrito abaixo:

Já se sabia que as partículas alfa têm pequeno poder de penetração e, por tanto, tinham sua trajetória facilmente brecada por lâminas metálicas, ainda que finas como folha de papel. Entretanto, Rutherford e seus colaboradores conseguiram obter lâminas extremamente finas, quase transparente, dos metais ouro e platina (que apresentam grande maleabilidade). Ao exporem uma lâmina desse tipo a uma fonte de polônio, que emite radiação alfa, notaram que a grande maioria das partículas alfa atravessava a lâmina como se não houvesse nenhum obstáculo à sua frente. Algumas sofriam leves desvios e poucas, grandes desvios, chegando a voltar em direção à fonte de polônio. Conseguiram detectar essas partículas com o uso de um anteparo móvel, revestido com sulfeto de zinco, substância que, ao ser atingida por essa radiação, ficava luminescente. Assim, cada ponto do anteparo que ficava luminescente indicava que uma partícula alfa o tinha atingido (JÚNIOR, TRIVELLATO, *et al.*, 2009, p. 54)

A figura abaixo representa o aparato construído por Rutherford para testar o modelo de Thomson.



**Figura 15.** Uma amostra de polônio, fonte de partículas alfa, é colocada dentro de uma caixa de chumbo contendo um pequeno orifício. Uma lâmina de ouro é bombardeada pelas partículas alfa. Algumas atravessam a lâmina, outras sofrem pequenos desvios e outras são ricocheteadas. O spintariscópio é o arco revestido por uma substância luminescente, a qual emitia luz ao ser atingida pelas partículas alfa.

Fonte: [blogspot.com.br](http://blogspot.com.br)

Os resultados obtidos nessas experiências surpreenderam Rutherford. Para justificar os resultados, ele fez as seguintes considerações: os átomos não poderiam ser constituídos de esferas maciças, a sua carga positiva deveria estar concentrada, e as cargas negativas deveriam ficar ao redor deste centro e entre as cargas positivas e negativas deveria existir um grande vazio. Assim, em 1911, Rutherford propôs um novo modelo atômico, no qual propunha que os átomos consistiam de um caroço com carga positiva, o núcleo, que continha quase toda a massa do átomo, cercado por uma nuvem de elétrons com carga negativa (PIRES e CARVALHO, 2014).

Outra diferença entre os modelos de Thomson e de Rutherford é que neste último os elétrons giram de forma circular em torno do núcleo, em uma região mais tarde denominada eletrosfera. Esse modelo ficou conhecido como Modelo Planetário.

Com o modelo atômico proposto por Rutherford, podemos dizer que foi dado início à Física Nuclear, ramo de grande importância na Física dos dias atuais.

#### *2.2.4 O ÁTOMO DE BOHR*

Os modelos são criados para explicar resultados obtidos experimentalmente ou são frutos de observações ou criações teóricas. Porém, eles devem ser aceitos pela comunidade científica e permanecerem válidos até que modelos mais sofisticados venham a substituí-los, conforme citamos na seção 2.2.2.

O modelo atômico proposto por Rutherford explicava bem as observações dos resultados obtidos nas experimentações feitas por ele e sua equipe, mas o modelo planetário proposto por ele ainda deixava algumas perguntas sem respostas, entre as quais podemos citar:

I) Se os elétrons giram em torno do núcleo atômico, então ele estava sujeito à ação de uma aceleração, neste caso, aceleração centrípeta, mas isso vinha de encontro à teoria clássica do eletromagnetismo de James Clerk Maxwell (1831–1879), a qual dizia que cargas elétricas em movimento acelerado emitiam radiação. Assim, no movimento circular dos elétrons em torno do núcleo, eles estariam sob a ação de uma aceleração centrípeta. Desta forma, devido à perda de energia pelos elétrons por irradiação, eles deveriam descrever um movimento em espiral até

colapsarem no núcleo atômico. No entanto, isso não ocorria e desde há muito tempo já se sabia que os átomos eram estáveis. Este fato pode ser melhor explicado na citação abaixo:

Segundo a teoria de Maxwell, todas as cargas aceleradas irradiam ondas eletromagnéticas. Os elétrons, ao girar em torno do núcleo, estão sujeitos à aceleração centrípeta e, portanto, *deveriam* irradiar ondas eletromagnéticas às custas da energia do átomo. À medida que essa energia fosse diminuindo, os elétrons deveriam se aproximar cada vez mais do núcleo, até chocar-se contra ele. No entanto, como os átomos são estáveis e esse fenômeno catastrófico não ocorre, deve-se concluir que os elétrons dos átomos não obedecem às leis do Eletromagnetismo e portanto, embora acelerados, não emitem radiações (AMALDI, 2006, p. 407 e 408).

II) Outro fato, também, que não era explicado pelo modelo de Rutherford era com relação a atração ou repulsão eletrostática. No estudo das cargas elétricas, já era conhecido na época que cargas de sinais iguais se repeliam e que cargas de sinais opostos se atraíam. Assim, Rutherford não conseguia explicar por que as cargas elétricas negativas, ou seja, os elétrons, se mantinham afastadas do núcleo atômico que era formado por cargas elétricas positivas e, também, não explicava como os núcleos dos átomos conseguiam se manter unidos, já que são formados por cargas elétricas de sinais iguais, ou seja, prótons. Assim, mesmo que no modelo de Rutherford os elétrons estivessem parados, eles deveriam sofrer a ação de atração da Força Elétrica Coulombiana, tornando-se instáveis. Com relação ao núcleo, as cargas positivas deveriam sofrer uma Força Elétrica Coulombiana de repulsão. Neste caso, as cargas elétricas positivas não poderiam ficar concentradas no centro do átomo. Conforme Cruz:

em 1785, Charles Augustin Coulomb, nascido em 1736 e falecido em 1806, utiliza uma balança de torção e demonstra que corpos elétricos carregados se atraem ou se repelem, obedecendo à lei newtoniana de forças, isto é, a força varia com o inverso do quadrado da distância (CRUZ, 2005, p. 84).

III) Outra observação que o modelo de Rutherford não explicava estava relacionada aos espectros de emissão dos átomos. De acordo com o seu modelo, os espectros registrados deveriam ser contínuos; no entanto, as raias tinham uma configuração discreta. A espectroscopia já era estudada nessa época, principalmente por Balmer. Conforme cita Martins (2001, p. 52), “tornou-se [Balmer]



quase no final de sua vida interessado em problemas de espectroscopia, tendo estabelecido uma fórmula semi-empírica em 1885, que dava uma lei de formação dos comprimentos de onda de nove raias do espectro visível do hidrogênio.”

Vale a pena citar que a espectroscopia para estudo de diferentes elementos químicos fora inventada logo no início do século XIX, por Fraunhofer. Ele descobriu que todo elemento químico, quando em estado gasoso, emite luz, que pode ser decomposta em várias cores. Conforme citamos abaixo:

Uma chave para a estrutura de diferentes elementos foi descoberta como resultado de um novo tipo de espectroscópio inventado em 1814, obra do óptico bávaro Joseph von Fraunhofer... Ao ser aquecido intensamente, qualquer elemento em estado gasoso brilha, e, quando essa luz emitida é examinada com um espectroscópio, é decomposta nas cores que a compõem. Estas se mostram como faixas de linhas coloridas no espectro global das cores, e descobriu-se que cada elemento tinha seu “espectro de emissão” característico. A cada linha no espectro de emissão podia ser atribuído um valor numérico preciso, de acordo com seu comprimento de onda. Essas pareciam se repetir, em processo muito semelhante ao de uma sequência harmônica (STRATHERN, 1999, p. 42 e 43)

As figuras 16a e 16b mostram, respectivamente, o modelo atômico proposto por Rutherford e como deveria ser o comportamento das órbitas do elétron, de acordo com a teoria do eletromagnetismo clássico. A figura representa o átomo de hidrogênio, mas poderia ser estendido para os demais átomos.

Átomo de hidrogênio

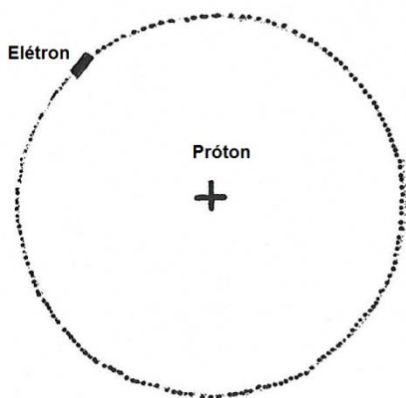


Figura A

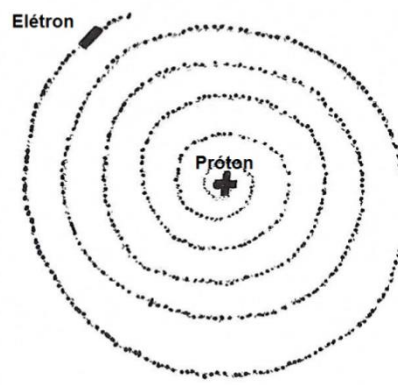


Figura B

A figura A ilustra o elétron girando em torno do núcleo atômico, representando o sistema planetário. Mas de acordo com a teoria clássica do eletromagnetismo, devido à aceleração centrípeta do elétron, ele deveria perder radiação eletromagnética e, em movimento espiral, deveria colapsar no núcleo.

Fonte: Autor

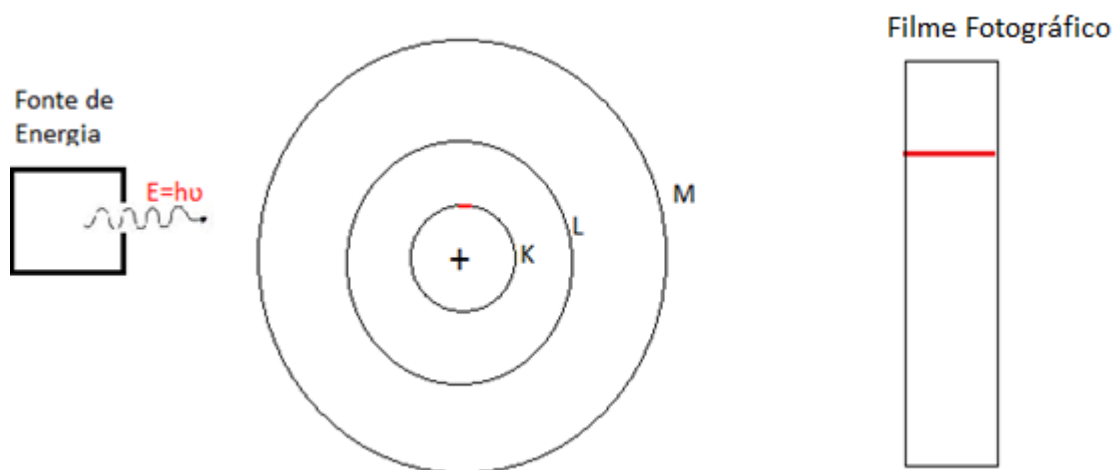
Foi para tentar explicar as dificuldades apresentadas pelo modelo de Rutherford que um novo modelo atômico surgiu, o qual foi proposto, em 1913, por Niels Henrik David Bohr (1885–1962). Bohr concordava com o modelo planetário proposto por Rutherford, porém precisaria fazer alguns ajustes. Assim, propôs que os elétrons giravam em órbitas circulares concêntricas e “pré-definidas”, as quais eram regidas pela mecânica clássica. Na órbita mais próxima do núcleo, estado mínimo de energia, conforme considerado por Bohr, o elétron estaria em seu estado fundamental. Para órbitas mais distantes do núcleo, o elétron não poderia “saltar” espontaneamente. Por outro lado, ele afirmava que nessas órbitas os elétrons não emitiam radiação eletromagnética, o que levava a uma contradição da teoria eletromagnética da época, mas foi desta forma que Bohr explicou a estabilidade do átomo. Porém, se de alguma forma fornecesse energia para o elétron até que ele atingisse camadas superiores, quando a energia cessasse, ele, espontaneamente, passaria para a camada de seu menor nível de energia. A passagem do elétron de um nível de energia para outro seria em saltos, como se fosse em uma escada, e não contínuo com se ele estivesse em uma esteira, e, na passagem do elétron de uma órbita superior para uma inferior, ele emitiria uma radiação eletromagnética, com valor discreto. Conforme podemos ver em Pires e Carvalho (2014, p. 17), “o modelo de Bohr era uma mistura de conceitos clássicos com conceitos da teoria da física moderna, o qual podemos considerar que foi o ponto de partida para a formulação quântica do átomo.”

Assim, para salvar o Modelo Atômico Planetário, Bohr formulou os seguintes postulados:

\_\_\_ em uma órbita estacionária, o elétron não perde energia;  
\_\_\_ quando um elétron de uma órbita **a** decai para uma órbita **b**, a energia associada ao decaimento é dada pela diferença de energia entre as duas órbitas ( $E_a - E_b = h\nu$ ), onde  $h$  é a constante de Planck e  $\nu$  é a frequência (ABDALLA, 2006, p. 55)

Com o primeiro postulado, Bohr “explica” a estabilidade do átomo e com o segundo, ele explica as linhas espectrais discretas registradas nos espectrômetros. As linhas discretas seriam a impressão das energias discretas emitidas pelos elétrons quando saltavam de uma órbita superior para outra inferior. A figura abaixo ilustra o Modelo Atômico de Bohr para o átomo de hidrogênio. A fonte de energia

emite fóton com energia  $E$  necessária para que o elétron o absorva e salte para um nível de energia superior. Como o elétron tem a tendência de ficar em sua camada de menor energia, quando a fonte de energia for interrompida, imediatamente o elétron saltará para a camada inferior emitindo um fóton - essa emissão será detectada pelo espectrômetro.



**Figura 17.** K é a camada de menor energia que o elétron pode ocupar. Nessa camada, o elétron gira em torno do núcleo sem emitir energia. Se o elétron absorver a energia  $E$ , ele saltará para a camada L, mas, dependendo da energia, ele pode saltar para outras camadas superiores. Quando o elétron “pular” para a sua camada estável, ou seja, de menor energia, ele emitirá um fóton que será registrado pelo espectrômetro.

**Fonte:** Autor

Apenas para contextualizar historicamente os fatos, é importante citar que a Física Clássica, a qual compreende até o final do século XIX, estava em crise, pois não conseguia explicar alguns fenômenos da época, entre eles, a radiação espectral do corpo negro. Assim, com novas teorias para explicar o comportamento da energia térmica e o comportamento anômalo da velocidade da luz, surge uma nova Física, denominada de Física Moderna (FM), com marco no ano de 1900. O estudo para explicar as curvas espectrais da energia térmica nos interessa muito, pois ela nos dará suporte para compreender os próximos assuntos. A energia quantizada foi um conceito introduzido por Max Planck para explicar os espectros de radiação emitidos por corpos aquecidos, em especial, a altas temperaturas. A hipótese proposta por Planck foi a de que a energia não era emitida de forma contínua, como defendia a termodinâmica clássica e o eletromagnetismo clássico, mas sim de forma discreta, com energia mínima dada pela equação  $E=h.f$ , sendo  $h$  a constante de

Planck e  $f$  a frequência da radiação, e todas as outras energias eram múltiplas desse valor mínimo. Essa sua interpretação foi mais tarde, em 1905, confirmada por Albert Einstein quando fazia estudos do efeito fotoelétrico.

Assim, vemos que quando Bohr propôs o seu modelo, o que estava em crise não era só o modelo atômico de Rutherford, mas também a teoria clássica da Física.

### 2.2.5 O ÁTOMO DE SOMMERFELD

Conforme vimos logo acima, inicialmente, Bohr tentou explicar a estabilidade do átomo do Modelo Atômico de Rutherford, uma vez que ele concordava com o esse modelo. Assim, para contornar a instabilidade do átomo de Rutherford, Bohr introduziu conceitos novos, mesmo indo de encontro à teoria do eletromagnetismo vigente na época, utilizando-se das linhas espectrais de emissão registradas nos espectrômetros e na Teoria Quântica de Planck. Vale ressaltar que os espectros de emissão e de absorção não eram estranhos aos conceitos da FC, pois a espectroscopia já era estudada há anos pelos físicos. Conforme podemos ver em Borissevitch *et al.*:

Desde a época dos romanos já era conhecido o processo de dispersão da luz solar por um prisma. Esse processo só foi compreendido em 1665 através do estudo sistemático realizado por *Sir* Isaac Newton, quando foi cunhado o nome *spectrum*. Esses trabalhos podem ser considerados o início dos estudos de espectroscopia. Em 1814, o físico alemão Joseph Fraunhofer proporcionou um grande avanço para a espectroscopia ao desenvolver espectrômetros precisos que permitiram observar linhas escuras no colorido espectro solar. Em 1860, Kirchhoff e Bunsen aplicaram as técnicas ópticas desenvolvidas por Fraunhofer para estudar diferentes elementos químicos (BORISSEVITCH *et al.*, 2016, p. 23).

A estranheza, aqui, se dá pelo fato de os espectros emitidos pelos átomos (no estudo realizado por Bohr, era o átomo de hidrogênio) serem discretos, e não contínuos. Bohr justificou as linhas espectrais observadas como sendo a transição do elétron entre as camadas energéticas, que hoje conhecemos por K, L, M, N, O, etc. O modelo atômico proposto por Bohr, em 1913, descrevia satisfatoriamente o átomo de hidrogênio, o qual possui apenas um próton no núcleo e um elétron girando ao seu redor. Porém, para átomos mais complexos, ou seja, com maior

número de elétrons, as linhas espectrais não eram explicadas pelo seu modelo atômico. Constatamos essas afirmações nas citações de Borissevitch et al.:

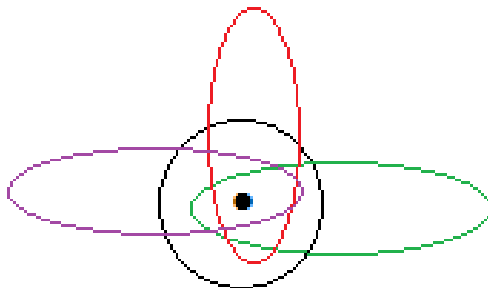
A teoria de Bohr explicou com grande exatidão o espectro do átomo de hidrogênio, mas não foi suficiente para elementos mais complexos. Além disso, ela também não fornecia informações sobre as probabilidades e as taxas de transições. Isso tudo só foi obtido com o desenvolvimento da teoria quântica moderna (BORISSEVITCH et al., 2016, p. 25)

Em 1915, o cientista Arnold Johannes Wilhelm Sommerfeld (1868–1961) estudando o espectro de emissão de átomos mais complexos que os de hidrogênio, com o auxílio de espectroscópios de melhor resolução, observou que cada linha espectral era subdividida em linhas mais estreitas e bem próximas umas das outras, as quais foram nomeadas de estrutura fina dos espectros de emissão. Conforme cita Martins:

Com o aperfeiçoamento dos espectroscópios, numa análise mais refinada dos espectros obtidos, os físicos passaram a verificar que, além do espectro fundamental, havia o aparecimento de sub-raias entre as raias que constituíam o espectro fundamental. Estas sub-raias passaram a ser denominadas de estrutura fina do espectro. Com a teoria de Bohr não havia possibilidade de explicar a estrutura fina (MARTINS, 2001, p. 58).

Assim, Sommerfeld concluiu que as camadas de níveis de energia, representadas por “n”, eram constituídas, também, por subníveis de energia, representada por “l”, e para cada nível de energia havia uma órbita circular e n-1 órbitas elípticas. Nas citações de Aragão (2008), encontramos que cada órbita distingue-se pelos números quânticos “n” e “l”, designados por números quânticos principal e secundários, respectivamente. Desta forma, para n=1, há uma órbita circular e nenhuma órbita elíptica. Para n=2, há uma órbita circular e uma elíptica. Assim, para o átomo de hidrogênio, temos apenas uma órbita circular, mas para o átomo de hélio, temos uma orbita circular e uma elíptica, e assim sucessivamente.

A figura abaixo representa o Modelo Atômico de Sommerfeld para o nível quatro.



**Figura 18.** Para o nível quatro de energia, o átomo possui uma órbita circular e três elípticas. Essas órbitas elípticas são hoje denominadas de subcamadas p, d, f etc. As cores das órbitas são apenas ilustrativas. Fonte: Autor

O Modelo Atômico de Sommerfeld se aproximou mais do Modelo Planetário proposto por Johannes Kepler (1571-1630). Nesse modelo, o núcleo atômico ocupa um dos focos das elipses, e os elétrons se movimentam em suas órbitas elípticas com velocidades não constantes. Conforme cita Martins (2001), devido à variação de velocidade dos elétrons em torno do núcleo em suas órbitas elípticas, há necessidade de fazer uma correção relativística de suas massas.

Pelo que foi exposto, as maiores contribuições de Sommerfeld para o Modelo Atômico de Bohr foram a inserção das órbitas elípticas dos elétrons e a consideração da relatividade restrita para fazer correções na massa dos elétrons. Essas correções seriam responsáveis pela variação de energia.

Como Sommerfeld aprimorou o modelo de Bohr sem alterações radicais, esse modelo ficou conhecido como modelo atômico de Bohr-Sommerfeld.

Cabe ressaltar que este modelo serviu de base para a Física Atômica conhecida hoje, porém o modelo atômico atual substituiu a Física determinística, ou seja, a Física que descreve as órbitas definidas dos elétrons pela Física probabilística. Assim, as camadas eletrônicas foram substituídas por uma “núvem” de elétrons em torno do núcleo atômico. Essa núvem representa uma região em torno do núcleo atômico em que há probabilidade de encontrar os elétrons e não o local exato onde ele está.

### **CAPÍTULO 3: O MODELO PADRÃO**

Logo no início desta dissertação, perguntamos de que a matéria é constituída. A resposta foi dada pelas palavras de Leucipo e Demócrito (século V a.C): toda matéria é constituída por partícula indivisível e vácuo. Quase um século depois, Epicuro nomeou as partículas indivisíveis de átomos (MARTINS, 2001). Assim, se o átomo é indivisível, então, ele é elementar. Com as experiências de J.J. Thomson, as quais levaram à descoberta dos elétrons em 1897, vimos que o átomo não era mais elementar, mas formado por partículas menores. Mesmo que nessa época a ideia de estrutura atômica fosse primitiva, foi com Thomson que surgiu o nascimento da Física de Partículas (CARUSO e SANTORO, 2012). Em 1911, Rutherford dá início à Física Nuclear, quando da publicação de seu artigo sobre a existência de um núcleo atômico carregado eletricamente positivo. Em 1919, ele demonstrou a existência dessas partículas carregadas, as quais ele chamou de prótons (BRENNAN, 2003). Em 1932, o cientista inglês James Chadwick (1891–1974) descobre o nêutron, o qual, junto com os elétrons e os prótons, formava todas partículas elementares, conforme podemos ver na citação abaixo:

A simplificação da estrutura fundamental da matéria atingiu o seu auge. O sonho grego fora alcançado, e os filósofos não poderiam querer algo melhor: todos os elementos eram constituídos de apenas três partículas básicas [elétrons, prótons e nêutrons] (PIRES e CARVALHO, 2014, p. 18-19).

Porém, o sonho grego durou pouco. Com a construção de grandes aceleradores de partículas, como o SLAC, o Tevatron e o LHC (os dois primeiros estão localizados nos Estados Unidos, e o terceiro na fronteira entre Suíça e França) inúmeras partículas foram descobertas. Assim, surgiu a necessidade de agrupá-las, bem como de estudar as interações entre elas. Para reunir essas partículas e fazer os estudos de suas interações, criou-se o Modelo Padrão. Ele não é propriamente um modelo, mas sim uma teoria que descreve as forças fundamentais forte, fraca e eletromagnética, bem como as partículas elementares, as quais se dividem em partículas de interação e partículas de constituição da matéria. Essa explicação é reforçada nas palavras de Gordon Kane (2003):

...o Modelo Padrão é, na história, a mais sofisticada teoria matemática sobre a natureza. Apesar da palavra "modelo" em seu nome, o Modelo Padrão é uma teoria compreensiva que identifica as partículas básicas e especifica como interagem. Tudo o que acontece em nosso mundo (exceto os efeitos da gravidade) resulta das partículas do Modelo Padrão interagindo de acordo com suas regras e equações (KANE, 2003, apud MOREIRA, 2009 p. 58).

Para cada partícula constituinte da matéria, há uma antipartícula. As antipartículas possuem as mesmas características de suas partículas, com exceção do sinal de sua carga elétrica: ou seja, as partículas e as antipartículas possuem sinais contrários de carga. O autor Martins cita que:

O modelo padrão estabelece também que para cada partícula existe uma antipartícula equivalente. A antipartícula apresenta a mesma massa e o mesmo spin da partícula equivalente, tendo, todavia, uma carga oposta (MARTINS, 2001, p. 283).

A representação da antipartícula é semelhante à da partícula, mas ela possui um “traço” sobreposto.

Com referência ao spin das partículas, encontramos em Abdalla, que:

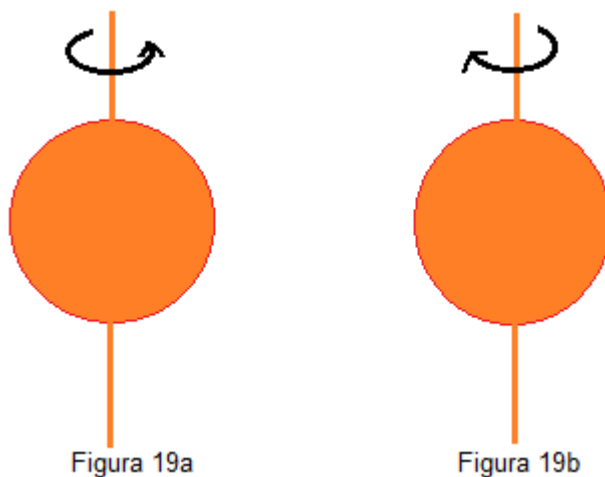
SPIN é um dos números quânticos característicos das partículas elementares. É a propriedade associada ao movimento de rotação devido à velocidade angular em torno do seu próprio eixo e que independe da sua velocidade linear. Assim como à velocidade linear ( $v$ ) associamos um momento linear ( $p=mv$ ), podemos também associar um momento angular à velocidade angular. O valor do momento angular associado ao spin do elétron é  $\pm 1/2 \cdot h/2\pi$ . Os sinais ( $\pm$ ) significam as duas direções possíveis do spin ( $+ = \uparrow$ ) e ( $- = \downarrow$ ), o valor  $1/2$  designa que o elétron é um férmion; o valor  $h/2\pi$  é a unidade do spin em termos da constante universal de Planck ( $h$ ). Do ponto de vista de simetrias, o spin é a resposta da partícula às transformações do espaço-tempo. O spin de uma partícula é revelado mediante a ação de um campo magnético externo ao qual a partícula é submetida (ABDALLA, 2006, p. 30).

Conforme vemos na citação da autora, os férmions são partículas de spin semi-inteiro. É importante fazer essa consideração porque nem todos os spins possuem valores semi-inteiros. A esta característica estão todas as partículas constituintes da matéria, como léptons, quarks e suas respectivas antipartículas. As partículas fundamentais de interação possuem spin inteiro, é o caso dos fótons (responsável pela interação eletromagnética), dos glúons (responsáveis pela



interação da força nuclear forte) e das partículas  $w^+$ ,  $w^-$  e  $z^0$  (responsáveis pela interação da força nuclear fraca).

As figuras 19a e 19b representam o movimento de dois elétrons e seus respectivos spins:



As figuras 19a e 19b representam, respectivamente, o movimento de rotação de dois elétrons. O primeiro, no sentido anti-horário, indica o spin  $\frac{1}{2}$ . O segundo, no sentido horário, indica o spin  $-\frac{1}{2}$ .  
Fonte: Autor

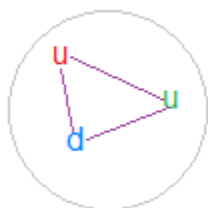
De acordo com as descrições acima, a partir de agora vamos trabalhar com as partículas que até o momento a ciência reconhece como elementares. Para efeito didático, vamos nomeá-las e classificá-las por cargas, massa e spin, como determina o Modelo Padrão. Conforme cita Abdalla (2006, p. 223), “segundo o Modelo Padrão, toda a matéria de que se tem notícia é composta por três tipos de partículas elementares: léptons, quarks e intermediadores.” Ainda, segundo a autora, “além da massa e do spin, as partículas têm outros números quânticos [cor, estranheza, carga] que as caracterizam perfeitamente”.

As partículas elementares constituintes da matéria são agrupadas em léptons ou quarks. Do primeiro grupo fazem parte os elétrons ( $e^-$ ), os neutrinos dos elétrons ( $\nu_{e^-}$ ), os muons ( $\mu$ ), os neutrinos dos muons ( $\nu_{\mu}$ ), os taus ( $\tau$ ) e os neutrinos dos taus ( $\nu_{\tau}$ ). Esses léptons são agrupados em famílias, assim como ocorre na Química. Os dois primeiros estão na primeira família, os outros dois na segunda, e os dois últimos na terceira família. A característica desse grupo está no fato de não sentirem

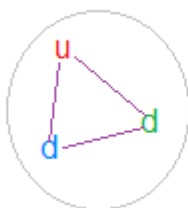
ação das forças nucleares, mas sim da força eletromagnética, a qual é intermediada pela partícula de interação denominada fóton.

O segundo grupo é formado pelos quarks. Os quarks são as partículas up (u), down (d), strange (s), charm (c), top (t) e bottom (b). Essas partículas combinam entre si ou com suas antipartículas para formarem partículas com estrutura. Os quarks podem se combinar em trios e formarem os bárions. Os mais conhecidos são os prótons (p), os nêutrons (n), os deltas mais mais ( $\Delta^{++}$ ) e os deltas zero ( $\Delta^0$ ). A combinação dual entre quarks e antiquarks forma os mésons. Como exemplo temos: pión ( $\pi$ ), kaon (K) e o Phion ( $\Phi$ ). A característica principal dos quarks e dos antiquarks está no fato de sentirem a ação da força nuclear forte, a qual é intermediada pela partícula de interação glúon (g).

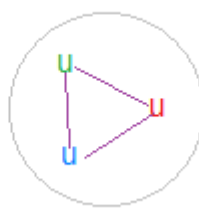
As figuras 20a, 20b, 20c, 20d, 20e, 20f e 20g representam respectivamente as partículas acima descritas.



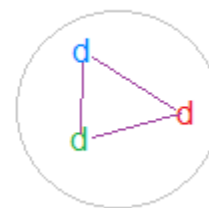
**Figura 20a.**



**Figura 20b.**



**Figura 20c.**



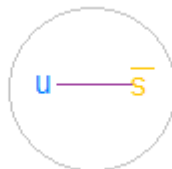
**Figura 20d.**

As figuras 20a, 20b, 20c e 20d representam, respectivamente, os modelos de próton, nêutron, delta mais mais e delta zero. A intermediação entre os quarks é feita pela partícula glúon (g).

Fonte: Autor



**Figura 20e.**



**Figura 20f.**



**Figura 20g**

As figuras 20e, 20f e 20g representam, respectivamente, os modelos de pión, kaon e phion. A intermediação entre os quarks e antiquarks é feita pela partícula glúon (g).

Fonte: Autor

Assim, para uma melhor visualização, os quadros abaixo representam de forma organizada cada uma dessas partículas que acabamos de descrever.

Partículas Elementares Constituintes da Matéria	
LÉPTONS	QUARKS
Elétron	Up
Muon	Down
Tau	Charm
Neutrino do elétron	Strange
Neutrino do muon	Top
Neutrino do tau	Bottom

**Quadro 01.**

O quadro fornece as partículas elementares constituintes da matéria, mas é importante citar que para cada uma das partículas, há uma antipartícula.

Partículas Compostas	
BÁRIONS	MÉSONS
Próton	Pion
Nêutron	Kaon
Delta <sup>++</sup>	Phion
Delta <sup>0</sup>	

**Quadro 02.**

Os bárions e os mésons não são partículas elementares. Os bárions são partículas formadas por três quarks, e os mésons são formados por um quark e um anti quark.

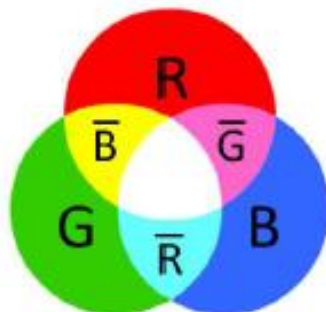
### 3.1 CROMODINÂMICA

Poderíamos começar este subcapítulo dizendo que o núcleo atômico é composto por partículas brancas e que as partículas elementares que compõem os núcleos são coloridas. Mas como os cientistas “enxergam” essas cores? É possível iluminar um átomo e enxergar a sua cor? A resposta é simples: não. O ramo da Física que estuda a “cor” dos bárions, mésons e dos quarks é a Cromodinâmica Quântica, que na sigla inglesa é representada pela sigla (QCD). As cores a que nos referimos não têm o mesmo significado da cor que nós conhecemos quando fazemos referência às cores dos objetos, ela está relacionada à mais uma grandeza quântica, assim como a carga elétrica e o spin. Cada uma dessas grandezas quânticas possui as suas características e conceitos, os quais foram criados para descrever modelos ou justificar observações. Como exemplo, temos que o spin poder ser um férmion ou um bóson. Os primeiros possuem spin

semi-inteiro e obedecem ao Princípio da Exclusão de Pauli. Os segundos possuem spin inteiro e não obedecem ao Princípio de Exclusão de Pauli. As cargas elétricas podem ser positivas ou negativas, sofrem interação eletromagnética e são intermediadas pelos fótons, os quais não possuem massa e não interagem entre si. Atualmente, essa interação é descrita pela Eletrodinâmica Quântica, que na sigla inglesa é representada pela sigla (QED). Encontramos em Pires e Carvalho que:

A força eletromagnética atua sobre partículas com cargas elétricas, mas a carga é um atributo de uma partícula: partículas não são cargas elétricas em si mesmas. Como sabemos, o elétron e o próton têm cargas elétricas do mesmo valor absoluto, mas com sinal contrário (PIRES E CARVALHO, 2014, p. 52).

Assim, as cores também possuem suas características. Elas são classificadas em azul (blue), vermelho (red) e verde (green). Da mesma forma que as partículas constituintes da matéria possuem as suas antipartículas, as cores possuem as suas anticolors: ciano, magenta e amarelo. A figura 21 representa a descrição das cores e anticolors dos quarks e antiquarks.



**Figura 21.** As cores vermelho, verde e azul representam as três grandezas quânticas que os quarks podem assumir. As cores ciano, magenta e amarelo representam as três grandezas quânticas que os antiquarks podem assumir.  
Fonte: IFT(UNESP)

Os quarks sofrem a ação da força forte que é intermediada pelos glúons (g) que também possuem cor, desta forma, eles também sofrem a ação da força forte entre eles. Os quarks se unem em grupos de três, cada um com uma cor diferente, para formar os bárions. A combinação dessas três cores (vermelho, verde e azul) resulta na cor branca: fazemos, assim, uma associação com a luz branca. No caso dos mésons, a combinação de um quark com um antiquark está associada a uma

cor e uma anticor, o que resulta na cor branca também. Essa descrição pode ser encontrada em Martins:

Utilizaremos geralmente as três cores básicas da luz: o vermelho, o verde e o azul. Um nêutron e um próton devem ter três quarks, um de cada cor. Como na nossa visão a mistura das três cores reproduz o branco, podemos dizer que o próton e o nêutron na Cromodinâmica quântica são brancos (MARTINS, 2001, p. 297).

O Físico Gell-Mann em sua obra *O quark e o jaguar*, cita que:

Os quarks têm a propriedade notável de estar permanentemente presos dentro das partículas “brancas” como o nêutron e o próton. Somente as partículas brancas são observadas diretamente no laboratório. As cores cancelam-se nas partículas observáveis e apenas dentro delas é que podem existir objetos coloridos... (GELL-MANN, 1993, p. 195).

Vale ressaltar, que os quarks possuem cargas elétricas, as quais são fracionárias da carga elétrica elementar  $1,6 \cdot 10^{-19}C$ . Assim, eles sofrem a ação da força eletromagnética, porém a força de cor é de atração e muito mais forte, vencendo dessa forma a repulsão eletrostática. Rosenfeld cita que:

...a força necessária para manter os quarks presos dentro do próton tem de ser muito maior que a força elétrica: a chamada força forte, que atua entre os quarks. Em 1972, Gell-Mann, colaborando com o físico alemão Harald Fritzsch, elaborou uma teoria que descreve a força forte como uma generalização da QED... A essa teoria de quarks com cores interagindo através da troca de glúons foi dado o nome de Cromodinâmica Quântica, conhecida pelas iniciais de seu nome em inglês, QCD (ROSENFELD, 2003, p. 93 e 94).

### 3.2 FORÇAS DE INTERAÇÃO

Na natureza há quatro forças de interação: gravitacional, eletromagnética, força forte e força fraca. Com exceção da primeira, todas as demais são descritas pelo Modelo Padrão. A ação dessas forças ocorre por mediação de partículas denominadas de gráviton (G), fóton ( $\gamma$ ), vetoriais intermediários ( $w^+$ ,  $w^-$  e  $z^0$ ) e glúons (g), respectivamente. Todas as partículas elementares com massa estão sujeitas à ação da força gravitacional. Estamos sujeitos a esta força desde que

nascemos (na verdade mesmo antes de nascermos já sentimos a sua influência) e depois lutamos a vida toda para vencê-la, mesmo sabendo que vamos perder.

Em nossos estudos no ensino médio é nos apresentada a famosa equação de Isaac Newton (1642-1727):

$$|F| = \frac{G \cdot m \cdot M}{r^2} \text{ } ^5$$

Aprendemos que as grandezas fundamentais desta equação são as massas dos corpos em estudo e que a intensidade dessa força aumenta ou diminuiu com o inverso do quadrado da distância entre os corpos. Porém, no estudo das partículas elementares constituintes da matéria, a força gravitacional é desprezível, pois as massas dessas partículas são muito pequenas. Devido à sua importância na natureza, faremos a citação de Baeyer para melhor elucidá-la:

A gravidade, assim como o espaço, é ubíqua e, assim como o tempo, não pode ser eliminada. A eletricidade, outra força familiar, pode ser blindada; o magnetismo pode ser blindado; até mesmo a poderosa força que mantém a unidade dos núcleos atômicos pode ser neutralizada pela antimatéria; mas a gravidade atravessa todos os materiais, afeta igualmente toda matéria e não encontra qualquer força opostora, qualquer blindagem, qualquer antigravidade. Só Deus pode criá-la e eliminá-la e tem orgulho dessa proeza (BAEYER, 1994, p. 15 e 16).

Não devemos levar essa citação como conclusão de todas as pesquisas, pois como sabemos, as ciências estão constantemente em evolução. Talvez, em um futuro não muito distante, o homem conseguirá criar uma força antigravitacional ou manipulá-la, assim como já o faz em relação às outras forças que abordaremos a seguir.

Para o estudo da força eletromagnética, faremos uma pequena recapitulação sobre a eletricidade e o magnetismo - não é o propósito deste projeto escrever sobre a História da Eletricidade e do Magnetismo, conforme já citado, faremos apenas uma pequena revisão. Mesmo antes de Cristo, os gregos já conheciam alguns fenômenos simples sobre a eletricidade, destacando aqui a capacidade do âmbar de atrair pequenos objetos quando atritados. Conheciam, também, os

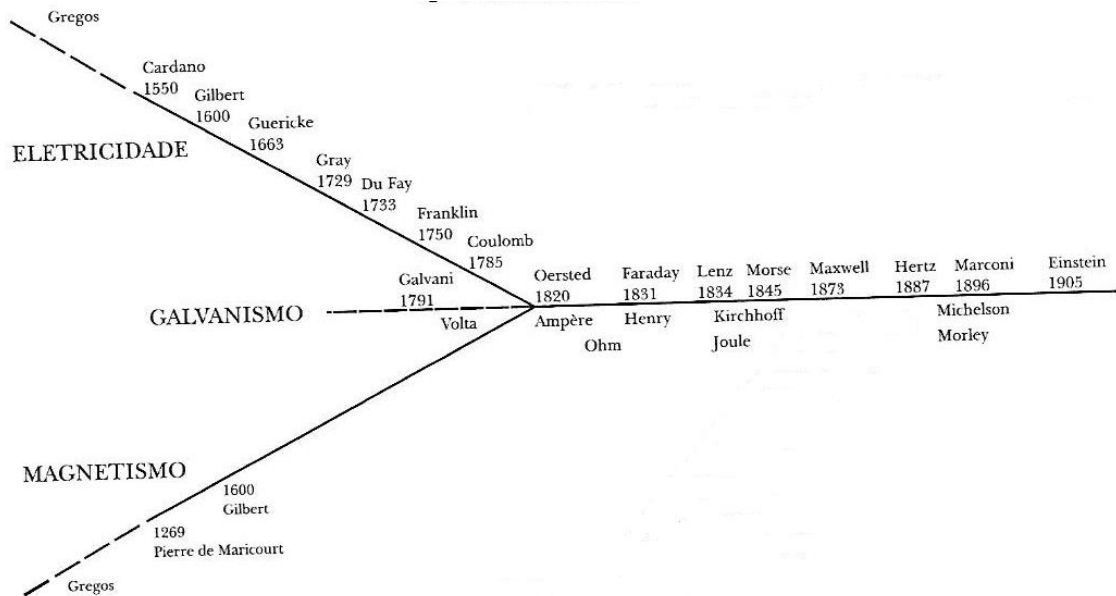
---

<sup>5</sup> |F| é a força de atração entre dois corpos devido a suas massas, G é a constante de gravitação universal ( $G=6,7 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$ ), m e M são as massas dos corpos e r é a distância entre as massas m e M.

magnetos naturais, materiais com a capacidade intrínseca de atrair pequenos metais. No século XVI, Willian Gilbert (1540-1603) publicou o seu livro *Do magneto, corpos magnéticos e do grande magneto Terra*, (PIRES, 2011), no qual faz refências às propriedades do magnetismo: o seu livro é uma das obras mais importantes para a sua época no que se refere ao magnetismo. Em seus estudos, concluiu que a Terra era um grande ímã e que magnetos, quando aquecidos, perdiam as suas propriedades. Com relação à eletricidade, Gilbert atritou outros materias, como o vidro, o enxofre e várias outras pedras preciosas, e constatou que eles tinham o mesmo comportamento do âmbar e da lã, quando atritados, conforme fizeram os gregos. Pires afirma que:

Chamou [Gilbert] de força elétrica a essa força que se manifestava nessas substâncias e fez várias distinções entre essa força e a força magnética. Supôs que os fenômenos elétricos ocorriam devido a alguma coisa de natureza material, que sob a influênica do atrito era liberada da substância esfregada. O atrito liberava um fluido, ou “humor”, que formava um “eflúvio”, ou atmosfera, em torno do corpo. Ele não acreditava em ação à distância e, assim, se um corpo atuava em outro sem tocá-lo, alguma coisa invisível deveria ter sido enviada de um corpo ao outro (PIRES, 2011, p. 112).

Por volta de 1820, Hans Christian Oersted percebeu que, ao aproximar uma agulha imantada de um fio no qual passava uma corrente elétrica, a agulha sofria um desvio. Historicamente, consideramos essa data e essa observação feita por Oersted como a descoberta entre a eletricidade e o magnetismo, o que hoje chamamos de eletromagnetismo. Porém, foi com James Cleark Maxell, sob influências de outros grandes cientistas, como Michael Faraday (1791-1867) e Wilhelm Weber (1804-1890) que o eletromagnetismo passou a ser melhor compreendido e também explicado matematicamente. A figura 22 ilustra com muita eficiência a evolução do magnetismo e da eletricidade até a unificação do eletromagnetismo.

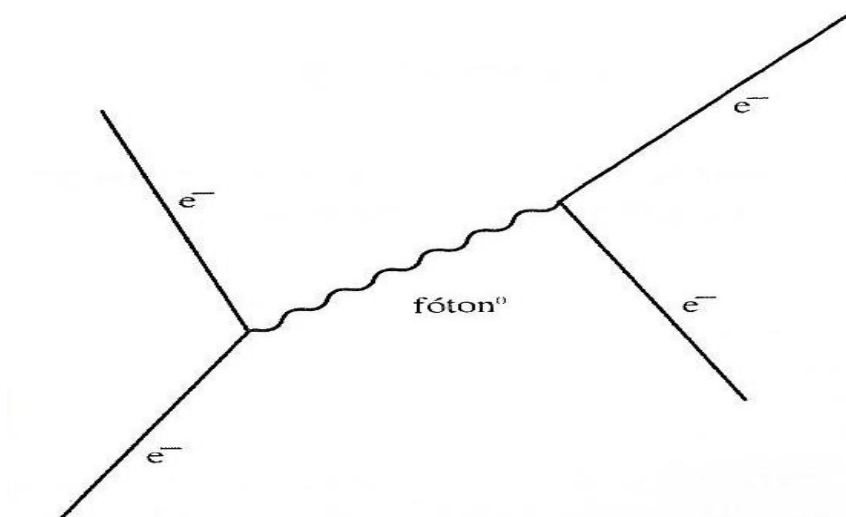


**Figura 22.** Ilustração da linha do tempo da eletricidade e do magnetismo desde a era dos gregos até a formulação da teoria eletromagnética descrita por Maxwell. Na figura observamos os nomes dos principais cientistas, bem como o ano de suas contribuições. Fonte: Livro *Origens e evolução das ideias da física* (ROCHA, PONCZEK, et al., 2011, p. 189) A figura foi adaptada pelo autor desta dissertação.

Nas equações de Maxwell, obtemos um formalismo para explicar que as interações entre as cargas elétricas são de natureza eletromagnética e, nesta interação, a partícula intermediadora é o fóton. Assim, fica descartada a ideia de interação à distância, ou seja, a interação entre as cargas elétricas ocorre pela troca de partículas. Encontramos em Martins (2001, p 296), sobre a teoria de interação entre partículas, que: “...uma teoria bem aceita pelos físicos diz que as forças eletromagnéticas que agem entre partículas carregadas, por exemplo, entre elétrons, é realizada através da troca de partículas denominadas fótons, que não possuem massa.” Conforme já citado, o estudo das cargas elétricas e dos fótons é feito na QED. Nessa teoria, as forças eletromagnéticas entre duas cargas elétricas surgem pela emissão de um fóton por parte de uma das cargas elétricas e pela absorção pela outra. No livro *O quark e o jaguar*, o autor descreve e ilustra essa situação utilizando um dos diagramas de Feynman:

Para qualquer teoria de campos podemos traçar pequenos desenhos engraçados, inventados por meu falecido colega Dick Feynman, que nos dão a ilusão de compreender o que está acontecendo. Em um deles [conforme figura 23], os elétrons estão trocando virtualmente um fóton para dar origem à força eletromagnética entre eles. Cada elétron é denominado por “e”, junto com um sinal de menos para indicar sua única unidade de carga elétrica negativa (GELL-MANN, 1993, p. 192)





**Figura 23.** Dois elétrons trocando um fóton virtualo, o que dá origem à força eletromagnética entre eles. Os “traços” e a “onda” são chamados de Diagrama de Feynman.  
 Fonte: Livro *O quark e o jaguar*, de Gell-Mann (1993, p. 192).

Assim, podemos resumir a força eletromagnética como algo que tem longo alcance, age em corpos que possuem cargas elétricas e cuja interação é feita por troca de partículas denominadas fótons. Nas palavras de Brennan (2003, p. 256), “a força eletromagnética incorpora átomos em moléculas e moléculas em matéria macroscópica”.

Aqui, abrimos um parêntesis para falarmos sobre a atração e a repulsão das cargas elétricas, dando destaque ao núcleo atômico. No estudo da eletrostática, vemos que cargas de sinais iguais se repelem e que cargas de sinais diferentes se atraem; assim, os elétrons (cargas negativas) são atraídos pelo núcleo do átomo, no qual concentram-se os prótons (cargas positivas) e estes, que estão no núcleo, são repelidos. Porém, o modelo atômico não nos mostra essa configuração: muito pelo contrário, os elétrons estão afastados das cargas positivas, posicionando-se na eletrosfera, e os prótons estão juntos no núcleo, fato este que se torna para nós um paradoxo. Como podem os prótons ficarem juntos no núcleo atômico sem que sejam repelidos? Esta aparente contradição é explicada no Modelo Padrão pela ação da força forte.

A força forte não é tão conhecida como a gravitacional e a eletromagnética, pois ela não faz parte do nosso cotidiano ou, pelo menos, não a percebemos ou sentimos os seus efeitos como no caso da força gravitacional, conforme já descrito. A força forte não atua entre cargas elétricas, como a eletromagnética, mas sim entre cargas de cor, as quais são classificadas em vermelho, azul e verde. É importante

frisar que essas cores não estão associadas às cores artísticas que conhecemos, elas são propriedades quânticas dos quarks. Conforme já citamos, os quarks são partículas elementares constituintes da matéria, bem como os antiquarks. Essas cores foram adotadas de tal forma que as suas combinações resultem em cor “nula”, ou seja, branca. Apenas para fazer um paralelo, assim como há cargas elétricas positivas e negativas, há cargas de cor e de anticor - estas são ciano, magenta e amarela, conforme ilustrado na figura 21. Ainda, utilizando-nos de comparações, assim como no eletromagnetismo há o fóton, partícula intermediadora dessa força, no caso da força forte, há os glúons (g) que fazem a intermediação da força forte. Essas propriedades de cor e anticor são encontradas nas citações de Abdalla:

Apesar de o número quântico cor ter sido proposto para resolver o problema do Princípio de Exclusão de Pauli, a razão mais profunda da necessidade desse número quântico extra consiste no fato de a força forte que inter-relaciona os quarks ser mediada pela cor. Em outras palavras, a força entre os quarks tem sua origem na cor. A cor é uma espécie de carga que origina a força forte, da mesma forma que a carga elétrica é fonte da interação eletromagnética... Os glúons [termo que vem da palavra glue, do inglês, e que significa cola] medeiam a força forte e carregam a cor e anticor. Na linguagem do físico, dizemos que, na função de onda do glúon, há um número quântico especificando a cor e outro indicando a anticor (ABDALLA, 2006, p. 123-124).

Como a força forte atua entre as partículas quarks e antiquarks, então, para melhor visualização de seu campo de ação, citamos que estas partículas compõem o grupo dos hádrons, sendo estes são divididos em bárions e mésons. Os primeiros são constituídos por três quarks, os mais comuns são prótons (uud) e nêutrons (udd). Os segundos são formados por um quark e um antiquark, e os mais conhecidos são pion( $u\bar{d}$ ), káon ( $u\bar{s}$ ) e o phióon ( $s\bar{s}$ ). Conforme podemos ver, cada quark formador dos bárions possui uma cor diferente, de tal forma que a combinação das três cores resulta em uma partícula de cor “nula”. Da mesma forma ocorre com os mésons, um quark de cor se mistura com um antiquark de anticor, resultando novamente em uma cor “nula”.

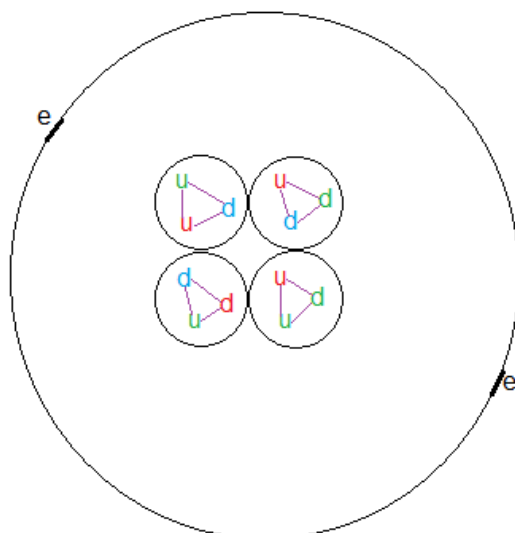
A diferença fundamental entre os glúons e os fótons, é que estes não interagem entre si, pois eles não possuem carga elétrica, conforme descrito pela QED, enquanto que aqueles interagem mutuamente, pois os glúons também possuem cor, da mesma forma que os quarks e antiquarks - esta descrição é feita

pela QCD. A interação entre glúons e quarks resulta numa força forte residual, a qual chamamos de força nuclear, que, por sua vez, age entre os prótons e os nêutrons, mantendo-os unidos no núcleo atômico. Esta força que age entre os núcleons é descrita por Pires e Carvalho como:

Em um núcleo atômico, os prótons deveriam se repelir devido à força eletromagnética, mas eles não o fazem. Para explicar a estabilidade dos núcleons, foi postulada a existência de uma força de curto alcance, chamada de força nuclear, que manteria os núcleons coesos no interior do núcleo. Mais tarde, foi descoberto que a força nuclear era o efeito secundário de uma força mais forte ainda, chamada de força forte, que atuava nos constituintes do núcleons, ou seja, nos quarks. Essa força tem característica diferente das outras, pois aumenta com a distância. Porém, como não existem quarks livres, a força forte aparece sempre ligando pares de quarks, e assim fica difícil observá-la. O que vemos é o seu efeito residual, a chamada força nuclear... No caso da força forte, o efeito residual é a força nuclear, que une núcleons, e é bem menor do que a força forte propriamente dita (PIRES E CARVALHO, 2014, p. 53).

A força residual é de curto alcance, na ordem de  $10^{-15}\text{m}$ , e quanto mais próximo os núcleons atômicos estiverem, mais forte ela é. Vale ressaltar que com relação à força forte, quanto maior a distância entre os quarks, maior será também esta força, de tal forma, que quando os quarks estiverem muito próximos uns dos outros, eles se comportarão como se estivessem livres e não confinados dentro dos hádrons, conforme já descrito. Pleitez (2004, p. 32) cita que “quanto mais próximos os quarks estão uns dos outros, mais fraca é a força entre eles. Quando estão extremamente próximos comportam-se como partículas livres”. A esta aparente contradição, ou seja, de quanto mais próximos mais livres, chamamos de liberdade assintótica.

A figura 24 ilustra um átomo de hélio, as partículas elementares que o constituem, bem como as partículas de interação, responsáveis pelas forças.



**Figura 24.** Representação do átomo de hélio (2 prótons, 2 nêutrons e 2 elétrons). Os quarks, em grupos de três, estão confinados formando os bárions. Os traços representam os glúons, partículas de interação da força forte entre os quarks e entre os próprios glúons. Desta interação entre quarks e glúons e glúons e glúons, surge a força residual (força nuclear) que une os prótons e nêutrons. As partículas com cargas elétricas sofrem a ação da força eletromagnética mediada pelo fóton. Os núcleons e a órbita dos elétrons estão fora de escala, e as cores são apenas ilustrativas.  
 Fonte: Autor

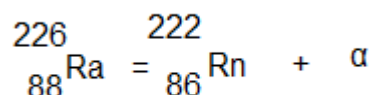
A força fraca, ao contrário das forças eletromagnética, forte e gravitacional, não tem a “função” de manter as partículas unidas e, também, não interage nas cargas de cor e de massa. Sua interação está associada às cargas elétricas, tanto carregadas quanto neutras, ou seja, age tanto em léptons quanto em quarks. O seu alcance de ação é muito pequeno, por volta de  $10^{-17}$  metros. Assim como as outras forças fundamentais da natureza têm as suas partículas de interação – fóton, para a força eletromagnética, gráviton, para a gravitacional e glúon, para a força forte – temos, para a força fraca, as partículas chamadas de vetores intermediadores, representados pelas partículas  $w^+$ ,  $w^-$  e  $z^0$ . Conforme afirma Abdalla (2006, p. 213), a força fraca é “transmitida pelos bósons pesados  $w^+$ ,  $w^-$  e  $z^0$ , é de curto alcance e só se manifesta a uma distância de 0,1% do diâmetro do próton.” A força fraca foi descoberta devido aos estudos de algumas manifestações estranhas que não eram explicadas pelas demais forças fundamentais da natureza. Essas manifestações foram observadas nas desintegrações nucleares denominadas de radioatividade. Conforme já vimos, a radioatividade foi estudada primeiramente por Henri Becquerel, em 1885, e, posteriormente, por Marie Curie, Ruthenford, entre outros. Nas

desintegrações nucleares, podem ocorrer manifestações de três formas: partículas alfa ou beta ou, ainda, radiação gama. Conforme cita Oliveira:

O decaimento gama é o mais simples de ser compreendido. Ele poder ser comparado ao caso das transições eletrônicas em um átomo. O núcleo faz uma transição de um nível de energia mais alto  $E_i$  para um de energia mais baixo  $E_f$ , emitindo um fóton com energia  $\Delta E = E_i - E_f$ , que pode variar de uns poucos KeV até a faixa de MeV... O decaimento gama ocorre, em geral, após um decaimento alfa ou beta, e como a massa de repouso e a carga do fóton são zero, o decaimento gama não altera a massa do núcleo, e nem o seu número atômico (OLIVEIRA, 2010, p. 251).

A figura 17 ilustra a descrição feita pelo autor. Nela, se um elétron decai do nível energético L para o nível energético M, ele emitirá uma radiação em forma de fóton.

Quanto às partículas alfa ( $\alpha$ ), conforme já citamos nesta dissertação, elas são um núcleo de hélio. Neste decaimento, o elemento químico é alterado, pois o seu núcleo perde dois prótons e dois nêutrons. Um exemplo desse desse decaimento é o elemento químico rádio. Neste caso, o elemento rádio decai no elemento radônio, emitindo uma partícula alfa. A representação abaixo ilustra o decaimento desse elemento:

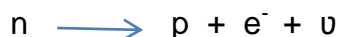


O decaimento beta ( $\beta$ ), talvez, seja o mais difícil de ser entendido. Aqui, como há transmutação de partículas, torna-se necessário descrever um pouco sobre a instabilidade do nêutron. O que define um elemento químico é o seu número atômico, ou seja, o número de prótons. Para os núcleos estáveis, o número de próton é igual ao número de nêutron ou quando a diferença entre os dois é muito pequena. Conforme aumenta a diferença entre o número de prótons e de nêutrons dentro do núcleo atômico, diz-se que o elemento químico é instável. Como exemplos desses elementos, podemos citar o urânio, o rádio, o polônio, entre outros. Assim como o núcleo atômico pode ser instável, o nêutron também o é. A estabilidade do nêutron só ocorre quando ele está nas proximidades dos prótons, desta forma, conforme aumenta o número de nêutron, alguns vão se distanciando

dos prótons, tornando assim instáveis. É justamente nessa condição que o nêutron é “lançado” do núcleo atômico: momento em que ele sofre a transmutação. Nessa transmutação, um nêutron gera um próton, um elétron e um neutrino. O próton permanece no núcleo atômico, conseqüentemente, modifica o elemento químico; o elétron e o neutrino são lançados para fora do núcleo. Encontramos nas citações de Gilmore essa descrição:

Isso ocorre no processo de decaimento beta nuclear, em que um núcleo radioativo emite um elétron rápido. Esse processo é conhecido há muitos anos, mas era estranho porque estava claro que não havia elétrons disponíveis dentro do núcleo para serem emitidos dessa forma. O elétron é criado durante o processo de decaimento e, por não estar ligado, sai do núcleo imediatamente (GILMORE, 1998, p. 168 e 169).

Abaixo, temos a representação da transmutação de um nêutron:



O autor Oliveira (2010), em sua obra *Física Moderna para iniciados, interessados e aficionados*, descreve outras transmutações, como o caso de o próton produzir um nêutron e um pósitron (antimatéria do elétron) ou, ainda, pode acontecer de um próton capturar um elétron e formar um nêutron. Neste caso, o autor chama o processo de captura eletrônica.

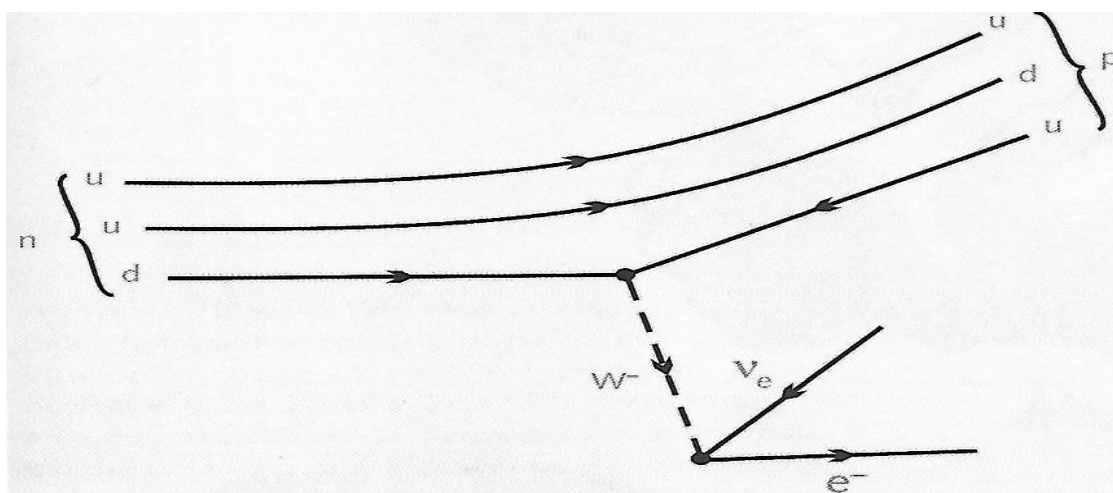
A diferença fundamental entre as duas primeiras manifestações - alfa e gama - e esta última é que as primeiras são emitidas com valores de energia bem definidos, enquanto que, na segunda, os espectros de emissão variam continuamente, registrando valores mínimos e máximos. Esse comportamento anômalo da partícula beta é descrito por Oliveira como:

a natureza parece que resolveu mesmo complicar no decaimento beta. Ao contrário das partículas  $\alpha$  e  $\gamma$  que são sempre emitidas com valores de energia bem definidos, o espectro de emissão  $\beta$  varia continuamente de um valor inicial a um valor máximo. Esse fato levou Pauli a postular, em 1931, que no decaimento  $\beta$  havia uma outra partícula emitida com o elétron. Para explicar o processo, foi necessário adotar a ideia que tal partícula seria eletricamente neutra (ou seja, sem carga elétrica, como o nêutron), e com a massa de repouso virtualmente igual a zero (como o fóton). A estranha partícula foi batizada com o nome de neutrino, representada pela letra grega  $\nu$  (lê-se ‘ni’) (OLIVEIRA, 2010, p. 252).

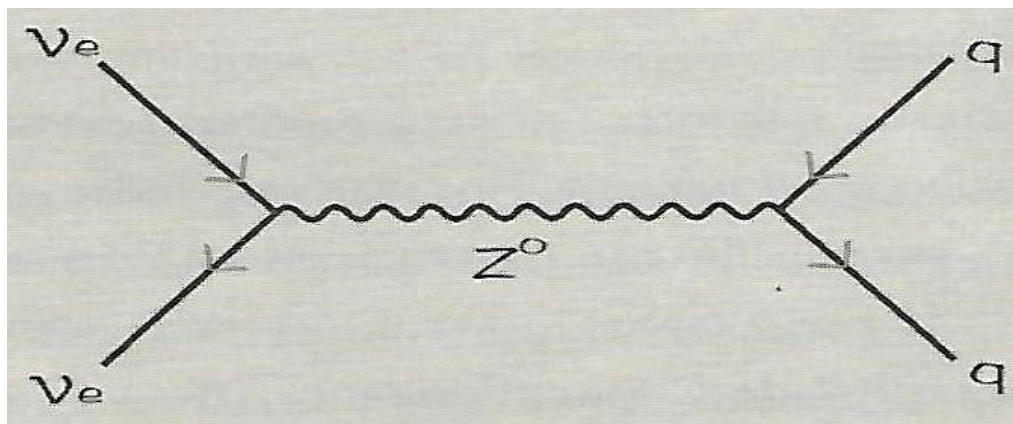
O autor ressalta, ainda, que, no caso do decaimento alfa, considera-se que a partícula emitida existia previamente dentro do núcleo, mas, no caso do decaimento beta, o elétron – ou o pósitron – emitido com o neutrino não “estava lá” antes do decaimento. Essas partículas são produzidas no momento da emissão.

Toda essa descrição foi necessária para mostrar que a força de interação que ocorre nessas transmutações é chamada de força fraca, a qual é intermediada pelos vetores intermediadores  $w^-$ ,  $w^+$  e  $z^0$ . Conforme define ABDALLA, “a força fraca é a que explica os processos nucleares de decaimento radioativo, como o decaimento  $\beta$ , o decaimento do pión carregado, o do múon e o de várias outras partículas estranhas.” (ABDALLA, 2006, p. 213).

As figuras 25a e 25b representam duas transmutações, utilizando-se dos diagramas de Feynman, para as partículas mediadoras  $w^-$  e  $z^0$ .



**Figura 25a.** Representação de um nêutron produzindo um próton, um elétron e um neutrino. A partícula  $w^-$  age na transmutação de uma partícula down em uma partícula up.  
Fonte: Livro *O discreto charme das partículas elementares*.



**Figura 25b.** Representação da interação entre um neutrino do elétron e uma carga  $q$  mediada pela partícula  $z^0$ . Após a mediação, dá-se a produção de um par constituído por um neutrino e uma carga  $q$ .

Fonte: Livro: *Luz, quarks e ação*. Feynman & Gell-Mann.

Conforme já vimos, a interação fraca afeta os léptons e os quarks. Na figura 25a, vemos a transmutação de uma quark down em um quark up, e, depois, a interação em um elétron. Na figura 25b, vemos a interação de neutrinos que pertencem à família dos léptons. O autor Gilmore descreve a interação fraca de uma maneira peculiar. Ele cita que:

Ela [a interação fraca] pode fazer com que um quark down ou um quark estranho se transforme em um quark up. Nesse processo, a carga elétrica do quark é alterada, e a carga extra é levada embora pelo “bóson  $w$ ”, o tipo de partícula trocada na interação fraca. Essa carga pode então ser transportada para léptons recém-criados, um elétron e um lépton sem massa eletricamente neutro, conhecido como antineutrino (GILMORE, 1998, p. 168).

Desta forma, completamos as descrições das forças fundamentais da natureza, bem como das partículas de interação. Assim, podemos resumi-las nas palavras de Abdalla (2006), como:



A força fraca é a que explica os processos nucleares de decaimento radioativo, como o decaimento  $\beta$ , o decaimento do pión carregado, o do múon e o de várias outras partículas estranhas...Transmitidas pelos bósons pesados  $w^+$ ,  $w^-$  e  $z^0$ , é de curto alcance e só se manifesta a uma distância de 0,1% do diâmetro do próton...Uma interação fraca só ocorre quando a distância entre as partículas participantes é menor que  $10^{-17}$ m... A força, responsável pela coesão nuclear, é aquela que mantém os núcleons juntos, uma vez que os prótons são todos eletricamente positivos e teriam, pela força eletromagnética, a tendência de se repelir. A força forte é, então, responsável pelos fenômenos de curta distância no interior do núcleo atômico. A estabilidade nuclear está associada à força forte. Hoje sabemos que os núcleos só permanecem coesos porque há uma força que mantém os três quarks que os formam...Para a força eletromagnética, vamos considerar um conjunto bem especial de partículas elementares: o elétron ( $e^-$ ), o próton ( $p$ ) e o fóton ( $\gamma$ ). Esses são os personagens principais da força eletromagnética, interação observada no século XVIII, exatamente um século depois da gravitação de Newton. Mas, é preciso que se registre, de uma forma ou de outra, essa força afeta diretamente todas as partículas conhecidas, com exceção apenas do neutrino e do gráviton (ABDALLA, 2006, p. 207-214).

### 3.3 A ORIGEM DA MASSA

Nas páginas que acabamos de escrever, abordamos as forças fundamentais da natureza, as partículas de interação e as partículas constituintes da matéria, tudo isso dentro de uma teoria chamada de Modelo Padrão. Porém, se o Modelo Padrão fosse um quebra-cabeça, faltaria, ainda, a peça-chave para montá-lo: essa seria a responsável pela massa das partículas. Mas afinal, o que é massa? Quando colocamos um corpo sobre uma balança, medimos a sua massa ou o seu peso? Há diferença entre essas duas grandezas? A resposta é sim. Quando estudamos mecânica, mais precisamente, as leis de Newton, aprendemos que a Força Peso é a força que a Terra exerce sobre os corpos. Essa força possui algumas características: I) é de atração; II) depende do valor da aceleração da gravidade; III) é considerada constante quando o objeto não está muito distante da superfície da Terra; IV) é uma força de campo, ou seja, age a distância e V) depende da massa do corpo que está sendo estudado. Dessas características, vamos destacar as duas últimas para entendermos o conceito de massa.

Podemos definir campo como toda região do espaço que sofre uma perturbação quando na presença de outros corpos. Em outras palavras, o campo é o “responsável pela comunicação” entre os corpos. Quanto à massa, podemos dizer que ela mede a dificuldade de movimentar um corpo, ou seja, é o momento de

inércia do corpo, e, para chegar a um valor, somamos as massas das moléculas que o constituem. Mas as moléculas são formadas por átomos, que por sua vez são formados por elétrons, nêutrons e prótons. Estes dois últimos são formados por partículas elementares: quarks. Novamente, chegamos na matéria elementar, que é parte fundamental deste projeto. Assim, para sabermos sobre a massa de um corpo, é necessário entendermos o que dá massa às partículas elementares que o constituem. Existe um mecanismo que explica a formação das massas das partículas elementares, ele é chamado de Higgs.. Pires (2011) afirma que em 1964, Peter Higgs propôs um mecanismo capaz de explicar a origem da massa para as partículas, postulando a existência de um campo que enche completamente todo o espaço. Acredita-se que o campo de Higgs gera massa pelo seu acoplamento com as diversas partículas. Historicamente, a introdução do campo de Higgs foi proposta para dar consistência matemática ao Modelo Padrão, nada tendo a ver com a geração de massa. Ainda em Pires (2011, p. 441), “vemos que esse efeito (geração de massa) surgiu depois, quando teorias foram construídas explicitamente para modelar a Natureza tão precisamente quanto possível.”

O autor Rosenfeld, em seu livro *Feynman e Gell-Mann – luz, quarks e ação*, apresenta uma analogia, de forma bem simplificada, para explicar a origem da massa das partículas, conforme podemos ver abaixo:

Imagine que sejamos seres aquáticos confinados em um mundo totalmente submerso em água. Certamente teríamos maior dificuldade em mover objetos devido à presença da água. Portanto, a “massa” de corpos que medimos seriam maiores do que suas massas de fato caso não houvesse água. Caso nosso mundo fosse totalmente submerso em mel, a “massa” medida seria ainda maior, pois o mel é muito mais viscoso do que a água. Nossa teoria pressupõe que estejamos imersos em um meio absolutamente homogêneo, denominado vácuo do campo de Higgs... As partículas elementares sofreriam uma espécie de atrito ao se mover nesse meio. Suas massas seriam provenientes desse atrito. Segundo essa teoria, partículas possuem massas diferentes porque sofrem atritos diferentes com o campo de Higgs (ROSENFELD, 2003, p. 103).

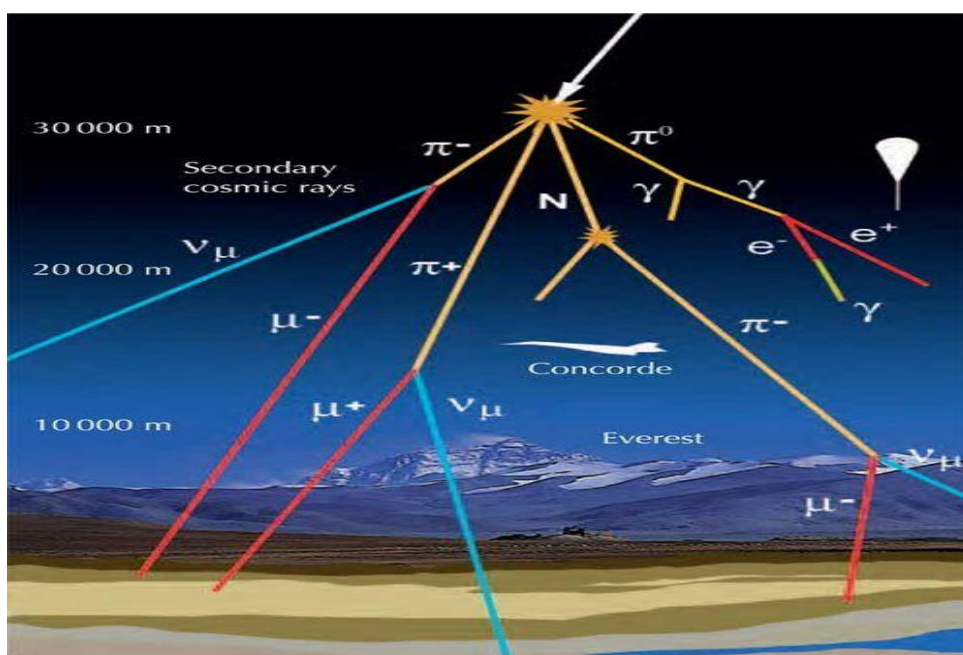
Neste mecanismo entra outra partícula, chamada Bóson de Higgs. Ela é a partícula mediadora do campo de Higgs e, pela teoria, ela é a que dá massa às demais, suas interações com as outras partículas podem ser diretas ou indiretas. A existência dessa partícula foi detectada somente em julho de 2012, no CMS e no ATLAS, dois grandes colisores de hádrons do Large Hadron Collider (LHC), os

quais, entre outros, serão estudados no próximo capítulo. Após detectada, a sua confirmação foi feita somente quase um ano depois: março de 2013.

Assim, conforme descrito, vemos que a massa de uma partícula depende de sua interação com o Campo de Higgs. Em outras palavras, mesmo que partículas elementares diferentes estejam em um mesmo espaço, ou melhor, em um mesmo campo, a sua massa dependerá de sua interação. Apenas para ilustração, citaremos dois léptons: o tau e o neutrino. A primeira partícula é muito massiva, o que nos leva à conclusão de que a sua interação com o Campo de Higgs é grande. A segunda é praticamente invisível ao Campo de Higgs, pois a sua massa é igual a zero ou praticamente zero.

### 3.4 ACELERADORES DE PARTÍCULAS

O maior acelerador de partículas conhecido pelo homem é o Universo. Nas reações nucleares ocorridas nas estrelas, são produzidas partículas de altas energias, e muitas outras surgem nas interações entre si, e esse número aumenta consideravelmente quando parte dessas partículas entram em contato com a atmosfera terrestre. A figura 26 mostra o surgimento de algumas partículas quando em contato com a atmosfera.



**Figura 26.** Os raios cósmicos ao entrarem na atmosfera terrestre produzem diversas partículas como pión, múon, elétron, pósitron entre outras.  
Fonte: wiki.stoa.usp.br

Então, se o maior acelerador de partícula já existe naturalmente e tem custo zero, por que o homem construiu e continua construindo aceleradores de partículas a custos altíssimos? A resposta para essa pergunta não é única. Esperamos que, no decorrer deste subcapítulo, consigamos esclarecer essa pergunta.

Os aceleradores de partículas são dispositivos físicos que permitem aos cientistas acelerarem partículas subatômicas já conhecidas a altíssimas energias cinéticas. Conforme aprendemos no ensino médio, essa energia está associada ao movimento dos corpos, e as variáveis fundamentais são massa e velocidade. Matematicamente, temos:

$$E = \frac{mv^2}{2} \quad 6$$

Daqui deriva o ramo da Física chamado Física de Altas Energias, as quais estão na ordem de KeV, MeV, GeV e TeV - a pronúncia dessas unidades de medidas é “quevi”, “mevi”, “guevi” e “tevi”, respectivamente. Assim, para uma energia de 2Kev, temos dois quilos-elétron-volts. Como a unidade de energia mais conhecida é o joule, o quadro abaixo fornece algumas conversões de elétron-Volt em joule.

Energia em elétron-volt (eV)	Fator de Conversão	Energia em joule (J)
1K	$10^3 \times 1,6.10^{-19}$	$1,6.10^{-16}$
1M	$10^6 \times 1,6.10^{-19}$	$1,6.10^{-13}$
1G	$10^9 \times 1,6.10^{-19}$	$1,6.10^{-10}$
1T	$10^{12} \times 1,6.10^{-19}$	$1,6.10^{-7}$

**Quadro 3.**

Representação da energia em elétron-Volt e em Joule. Um elétron-Volt corresponde a  $1,6.10^{-19}$ J. Os prefixos K, M, G e T correspondem a  $10^3$ ,  $10^6$ ,  $10^9$  e  $10^{12}$ , respectivamente.

Observando esses resultados do quadro 3, na unidade em joule vemos que a energia não é alta, então por que chamamos esta área de estudo de Física de Altas Energias? Simplesmente porque essas energias estão concentradas em regiões

---

<sup>6</sup> E é a energia cinética, m e v são, respectivamente, a massa e a velocidade do corpo em estudo.

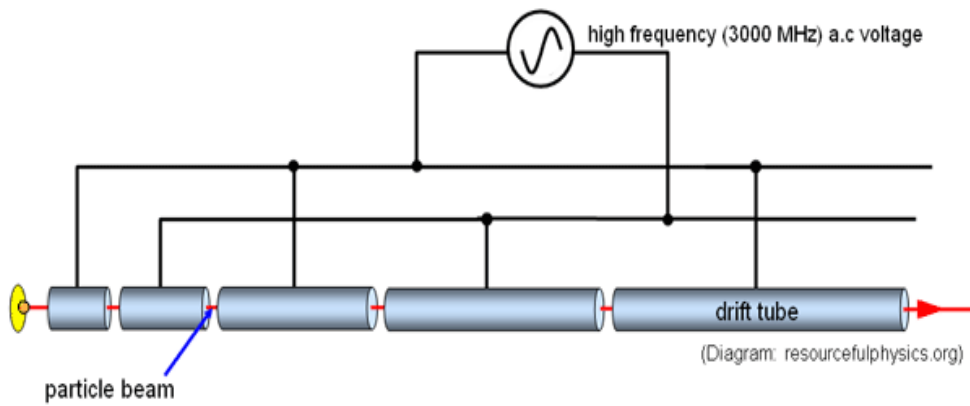
muito pequenas, ou seja, em partículas subatômicas, conforme já citamos. Assim, a energia relativa às partículas é que é alta.

É importante ressaltar aqui que às vezes a massa das partículas é medida em elétron-volt e não em quilograma (kg), conforme estamos habituados. Encontramos a justificativa para essa transformação de unidade de medida em Oliveira, quando afirma que:

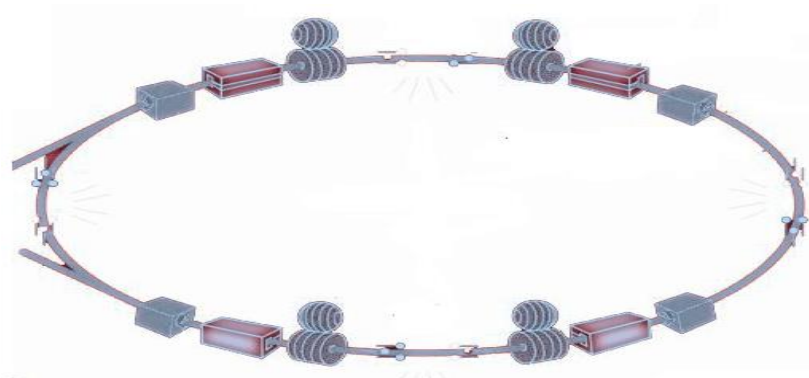
Em física de partículas é costume expressar as massas das partículas não em unidade de massa (kg), mas em unidade de energia (eV). Para isso basta multiplicar a massa da partícula por  $c^2$ , o quadrado da velocidade da luz... A vantagem de se expressar a massa de uma partícula em unidades de energia reside no fato de que o valor obtido nos dá diretamente uma ideia da energia necessária para produzi-la em laboratório (OLIVEIRA, 2010, p. 308).

Existem basicamente dois tipos de aceleradores de partículas: os lineares e os cíclicos. Estes podem ser classificados como CICLOTRON, o qual possui raio variável, ou como SINCROTRON, o qual possui raio constante. Os aceleradores de partículas, independente de seus formatos, possuem em comum campo magnético, campo elétrico, detectores e altíssimo vácuo em seu interior. O campo magnético tem por objetivo direcionar a trajetória das partículas, enquanto que o campo elétrico, criado devido a uma diferença de potencial, é o responsável por acelerar as partículas em suas trajetórias. O vácuo dentro dos aceleradores é necessário para que as partículas que são aceleradas não se choquem com as partículas que estiverem no ar, o que dificultaria os choques das partículas-alvo, bem como o estudo das partículas produzidas. Os detectores são dispositivos físicos instalados em pontos estratégicos dos aceleradores que têm a função de detectar as partículas formadas nas colisões dos feixes que são acelerados.

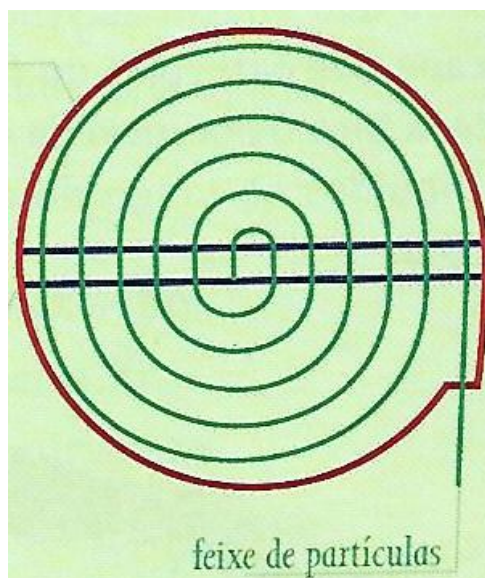
As figuras 27a, 27b e 27c representam cada um desses aceleradores:



**Figura 27a.** O acelerador linear acelera as partículas em linha reta.  
Fonte: lhc-closer.es



**Figura 27b.** Síncrotron - acelerador circular de raio fixo. Neste acelerador, as partículas circulam várias vezes até atingirem velocidades próximas à da luz.  
Fonte: lhc-closer.es



**Figura 27c.** Ciclotron - acelerador de partícula com raio variável. As partículas encontram-se inicialmente no centro do acelerador. Para cada volta completa que as partículas desenvolverem em cada ciclo, elas são aceleradas, aumentando assim, as suas velocidades.  
Fonte: Livro – *O discreto charme das partículas elementares*.

Com os aceleradores de partículas, os físicos têm o propósito de estudar o comportamento de partículas já conhecidas, bem como produzir partículas por meio de choques mecânicos entre as partículas que são lançadas dentro dos aceleradores ou de choques mecânicos dessas partículas com alvos fixos. Como já vimos, muitas dessas partículas já são produzidas de forma natural, conforme ilustra a figura 26, mas os problemas maiores para o estudo dessas partículas estão em seus tamanhos: elas são muito pequenas e têm um tempo de vida muito curto, dificultando assim os seus estudos. Para contornar essa situação, os físicos vêm construindo aceleradores de partículas que permitem a eles desenvolverem experiências de forma controlada, tanto em relação a quantidade, quanto em relação ao tempo necessário para realizá-las. Em pontos estratégicos desses aceleradores, são instalados grandes e sofisticados detectores de partículas, os quais registram as passagens das partículas que são criadas, deixando informações de suas características, tais como massa e carga elétrica. Conforme citam os autores Begalli, Caruso e Pedrazzi (2012, p. 62), “O fato é que estas partículas são criadas em interações entre partículas aceleradas por aceleradores gigantesco em funcionamento hoje... Quanto maior a energia alcançada nestes aceleradores, menores são as dimensões exploradas...”.

Há diversos aceleradores de partículas construídos em vários países, uns possuem a finalidade de estudar partículas e assim tentar entender a origem do Universo, e outros tem a finalidade de analisar materiais, desenvolver medicamentos, proporcionar melhores tratamentos, entre outros fins. No Brasil, podemos citar o Pelletron, construído no Instituto de Física da Universidade de São Paulo (IFUSP) em 1972, o UVX, localizado no Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS), na cidade de Campinas, o qual entrou em funcionamento em 1997. Abaixo, encontramos uma descrição resumida da funcionalidade do UVX:

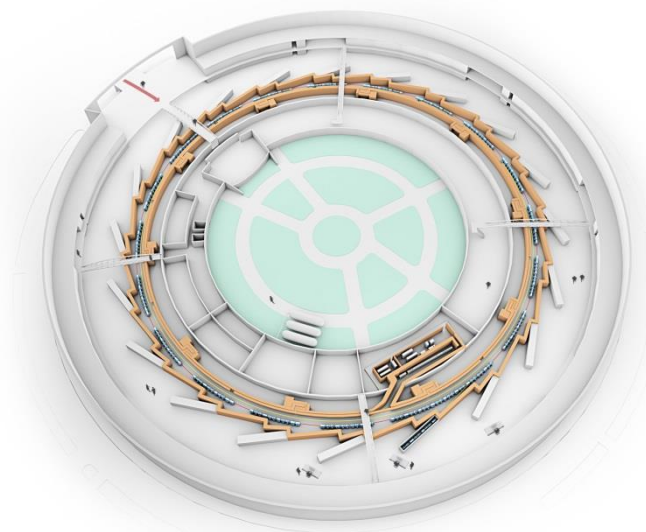
O Brasil também possui um acelerador síncrotron, que é utilizado na pesquisa em Matéria Condensada, e não em Física de Partículas. O acelerador é um anel armazenador de elétrons. Quando acelerados em órbitas circulares, elétrons emitem um tipo de radiação chamada de luz síncrotron. Esta radiação é utilizada para a investigação das propriedades físicas de diferentes tipos de materiais, a nível atômico e molecular. Exemplos de aplicações são estudos de processos de corrosão e fadiga em estruturas metálicas, estudo de propriedades magnéticas de novos materiais, estudo de catalisadores para a indústria petroquímica, estudo das propriedades de polímeros, semicondutores, etc. (OLIVEIRA, 2010, p. 313).

Atualmente, encontra-se em construção um novo acelerador de partículas que substituirá o UVX: O SÍRIUS. De acordo com informações publicadas no Portal Brasil<sup>7</sup>, em fevereiro de 2014, o novo acelerador de partículas será cinco vezes maior que o atual. Ele terá perímetro de 518 metros e diâmetro médio de 153 metros. O SÍRIUS operará com energia de 3,0GeV e está orçado em R\$ 650.000.000,00. O seu funcionamento está previsto para 2018. Uma simulação em 3D da construção desse acelerador pode ser vista em <https://www.youtube.com/watch?v=hj77szqY-tE>. A figura 28 mostra a vista aérea esboçada do projeto SÍRIUS.

---

<sup>7</sup> <http://www.brasil.gov.br/ciencia-e-tecnologia/2014/02/novo-acelerador-de-particulas-sera-cinco-vezes-maior-que-o-atual>





**Figura 28.** Previsto para ser inaugurado em 2018, o SÍRIUS será cinco vezes mais potente do que a fonte atual de luz síncrotron. O novo acelerador será um dos melhores na sua categoria.

Fonte: <http://cnpem.br/projeto-sirius-o-novo-acelerador-de-particulas/>

Conforme acabamos de citar, o SÍRIUS será um dos melhores em sua categoria, ou seja, o estudo da Matéria Condensada, mas não será o maior dos aceleradores de partículas. Os três maiores aceleradores são: o SLAC, o Tevatron e o LHC. É importante frisar que existem diversos outros aceleradores de partículas, os citados aqui serviram apenas como exemplos.

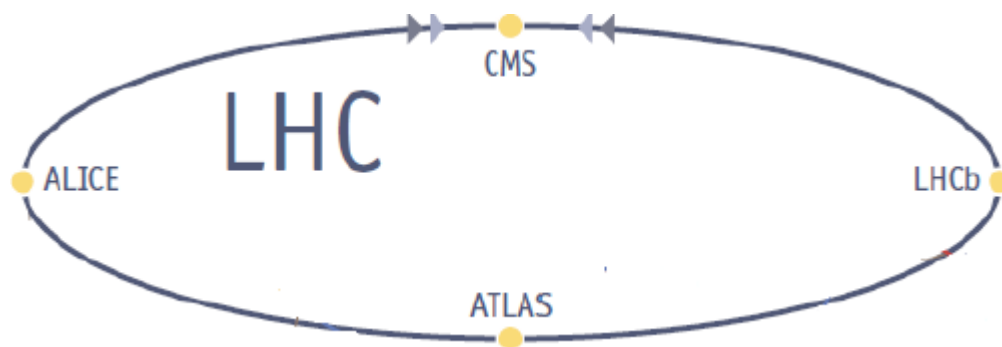
O primeiro acelerador, o SLAC, está localizado na Universidade de Stanford – Califórnia, Estados Unidos. Conforme cita Martins (2001), o SLAC possui, aproximadamente, 3,2km de extensão e acelera partículas, em linha reta (linear), na ordem de 50Gev até se chocarem com um alvo fixo. Foi nesse laboratório que surgiu a ideia de acelerar partículas não em linha reta e contra alvo fixo, mas sim em trajetórias circulares. Desta forma, as partículas poderiam ser aceleradas até alcançarem velocidades próximas à da luz. Para que os choques entre as partículas fossem ainda maiores, os feixes de partículas seriam lançados em sentidos opostos, em trajetórias diferentes, mas paralelas. Ao alcançarem as velocidades limites, as trajetórias em que se descolassem os feixes de partículas seriam direcionadas de tal forma que eles se chocassem em um ponto pré determinado, ou seja, nos detectores. A figura 27b ilustra a descrição de um acelerador circular. Foi no SLAC que se deu a descoberta de duas outras partículas elementares do Modelo Padrão: o quark charm, em 1974, e o lépton tau, em 1995. No SLAC também surgiram as

primeiras evidências experimentais sobre o confinamento de quarks em prótons e nêutrons, conforme cita Peruzzo (2014).

O segundo acelerador, o Tevatron, está localizado no centro de pesquisa FERMILAB (Laboratório e Acelerador Nacional Fermi) – Illinois, Estados Unidos. Esse centro passou a se chamar FERMILAB em 1974, substituindo o antigo National Accelerator Laboratory (NAL), inaugurado em 1967. O laboratório é subterrâneo, possui um diâmetro de aproximadamente 2km, o que corresponde a um perímetro de 6,3km, e opera com energia de 1Tev - daqui surgiu o nome de acelerador Tevatron. Conforme cita Martins (2001), as pesquisas realizadas no FERMILAB ocorrem fazendo-se chocarem feixes de partículas de altas energias em alvos fixos ou produzindo colisões entre prótons e antiprótons. Foi nesse centro de pesquisa que, em 1995, fez-se a descoberta do quark top, outra partícula que compõe o Modelo Padrão, mas somente em 2007 que se obteve a medida precisa da massa desse quark. Encontramos nas citações de Peruzzo (2014, p. 296) que “Em meados de 2011 o Tevatron foi desativado. Um dos motivos é que ele se tornou ultrapassado perto do LHC. Os cientistas norte-americanos vão se concentrar em outras áreas, bem como trabalhar em conjunto com o LHC no CERN”.

O Large Hadron Collider (LHC) é o terceiro e o último dos aceleradores de partículas que vamos abordar. Ele é o maior acelerador de partículas em funcionamento da atualidade. Pertence à Organização Europeia para Pesquisas Nucleares (CERN), centro de pesquisa localizado na fronteira da Suíça com a França. O CERN é um complexo de máquinas aceleradoras de partículas interligadas entre si, estando o LHC ocupando o último estágio desse complexo. Nele, estão instalados quatro grandes detectores de partículas, dos quais falaremos mais adiante: ATLAS, ALICE, CMS e LHCb. O tamanho do LHC e a sua finalidade especificam o seu nome: Grande Colisor de Hádron. A sua estrutura possui uma configuração circular, com perímetro de 27km, e está subterrânea, a profundidade de aproximadamente 100m. Feixes de hádrons (prótons ou íons de chumbo) são lançados em sentidos opostos nos dois tubos metálicos que constituem a estrutura do LHC, e esses feixes são acelerados por campo elétrico e descrevem trajetórias circulares controladas por campo magnético, até atingirem velocidades próximas à da luz, cerca de 300.000 km/s. Neste estágio, com o objetivo de fazer com que os feixes de hádrons se choquem, as trajetórias são alteradas para pontos específicos

do LHC, onde se encontram os detectores. Esta máquina está projetada para acelerar dois feixes de prótons a uma energia total de 16TeV, o que corresponde a uma energia de 8TeV por feixe. A figura 29 representa, de forma simplificada, o LHC com os seus quatro principais detectores de partículas.



**Figura 29.** Representação do LHC e dos seus principais detectores de partículas: ALICE, CMS, LHCb e ATLAS. As setas próximas ao detector CMS indicam o sentido em que os feixes de partículas circulam dentro dos tubos do LHC.

Fonte: Grupo de Comunicação CERN/2009 (tradutor: Miguel Neto)

Os detectores de partículas são dispositivos construídos por físicos, engenheiros e técnicos e têm a função de “ver” os rastros das partículas secundárias que são formadas após o choque dos feixes de partículas que passam pelos aceleradores. Como são neles que ocorrem as experiências, eles são conhecidos, também, como experimentos. Assim, por meio desses detectores, os cientistas conseguem saber algumas particularidades dessas partículas, como carga, massa e energia. Nas construções dos detectores, são aplicadas tecnologias de última geração, as quais muitas vezes são desenvolvidas nos próprios centros de pesquisas dos aceleradores de partículas. Cada um dos quatro detectores acima possui uma função específica, com estrutura peculiar, conforme citam Balthazar e Oliveira (2008):

O experimento ALICE é um detector para estudo das colisões de íons de chumbo, nesse experimento serão estudados quarks e glúons em estados não confinados (quarks e glúons só existem na natureza em estados confinados, presos dentro de hádrons. Estudá-los em estados não confinados significa simular condições que só existiram na natureza num intervalo de tempo muito pequeno, após o Big Bang). Os experimentos ATLAS e CMS são de caráter mais geral, onde físicos vão analisar um grande número de partículas surgidas na colisão. Nesses experimentos, físicos esperam que apareçam o bóson de Higgs, as dimensões extras e partículas que poderiam torna-se matéria escura. No experimento LHCb será estudado o motivo pelo qual nosso universo tem mais matéria que antimatéria. Segundo o atual modelo essa assimetria entre matéria e antimatéria acontece devido a uma quebra de simetria, explicado por um mecanismo matemático que se originou do mecanismo de Higgs (BALHAZAR E OLIVEIRA, 2008, p. 12).

Assim, esperamos ter respondido à pergunta feita logo no início deste subcapítulo: por que são feitos altíssimos investimentos na construção de aceleradores, uma vez que eles já existem naturalmente? De forma simples, podemos dizer que os aceleradores de partículas são construídos para que os cientistas possam estudar, de forma controlada, a constituição da matéria, procurando entender a origem do Universo. Outros, como o UVX, são construídos com o propósito de estudar a estrutura dos materiais, desenvolvimento de medicamentos, conservação de alimentos, entre outras funções. Na construção desses aceleradores, muitas tecnologias de ponta são desenvolvidas e, de forma direta ou indireta, são aplicadas em nosso cotidiano. O nosso próximo tópico, tecnologias, tratará de forma mais precisa esse assunto.

### 3.5 TECNOLOGIAS

São diversos os dispositivos eletrônicos e digitais de nosso cotidiano que fazem uso de tecnologias associadas à FMC nas mais diversificadas áreas do conhecimento, tais como biologia, medicina, química e diversos ramos da engenharia. Alguns exemplos podem nos deixar mais familiarizados com esses assuntos: a televisão de LCD, os telefones celulares, o GPS, aparelhos de Raios X, aparelhos de Ressonâncias Magnéticas, computadores, engenharia alimentícia - produção e conservação de alimentos - entre outros. Com esse projeto, não temos o objetivo de detalhar todos os leques tecnológicos relacionados à FMC, e sim dar uma ideia aos alunos da importância dessa ciência e enfatizar que as tecnologias e

aplicações abordadas a seguir estarão intrinsecamente ligadas aos aceleradores de partículas, mas que a FMC não está associada somente a eles.

Alguns aceleradores de partículas, como o LHC, o SLAC e o Tevatron, têm como objetivo estudar partículas que ajudarão os cientistas a entenderem a origem do Universo, conforme já citamos. Porém, com a necessidade de criar dispositivos físicos sofisticados com o intuito de registrar “os rastros” e os comportamentos dessas partículas, algumas dessas tecnologias são adaptadas e aplicadas à comunidade não científica. A exemplo disso, temos a criação da “world wide web” (www) - que em português significa Rede de Alcance Mundial -, o desenvolvimento da protonterapia e a irradiação com o isótopo de cobalto para a conservação de alimentos.

A primeira foi desenvolvida no CERN, por volta de 1989, pelo cientista Tim Berners-Lee, com o propósito de facilitar a comunicação entre todos os pesquisadores que desenvolviam trabalhos nesse centro de pesquisa. Mais tarde, essa ideia foi estendida às universidades e a outros centros para que trabalhos acadêmicos fossem utilizados por cientistas e estudantes de outras partes do mundo. Essa extensão revolucionou a Internet, a qual tinha os seus alcances limitados até então. É importante destacar que a internet, desenvolvida por volta de 1969, não foi desenvolvida com tecnologias construídas para aceleradores de partículas, e a sua finalidade era bem diferente do que a conhecemos atualmente. Hoje praticamente todas as pessoas, sendo elas pertencentes aos meios acadêmicos ou não, estão conectadas com o mundo, tendo acesso aos mais diversificados meios de informações.

A segunda aplicação, ou seja, a protonterapia, é uma terapia adotada para o tratamento de câncer, utilizando-se de feixes de prótons - daqui deriva o seu nome: protonterapia. A área médica tem destaque quando o assunto é aceleradores de partículas, muitas pessoas são beneficiadas com tratamentos radioterápicos desenvolvidos nos laboratórios de aceleradores de partículas. Conforme cita Santoro:

Nos Estados Unidos, duas Instituições, a Loma Linda University e o Fermilab desenvolveram um projeto em colaboração e juntos construíram o primeiro hospital dedicado ao tratamento do Câncer baseado inteiramente em um complexo de aceleradores para este fim. A produção de isótopos de vida extremamente curta dá-se dentro dos próprios hospitais por pequenos aceleradores, com finalidade médica, proporcionando tratamentos e visualização de doenças no organismo humano (CARUSO e SANTORO, 2012, p. 138).

A relação entre o desenvolvimento dessa tecnologia para o tratamento de câncer e os aceleradores de partículas utilizados para fazer estudo sobre a origem do Universo é que em ambos são utilizados feixes de prótons altamente energéticos, variando de elétronVolts (eV) até TeraelétronVolts (TeV).

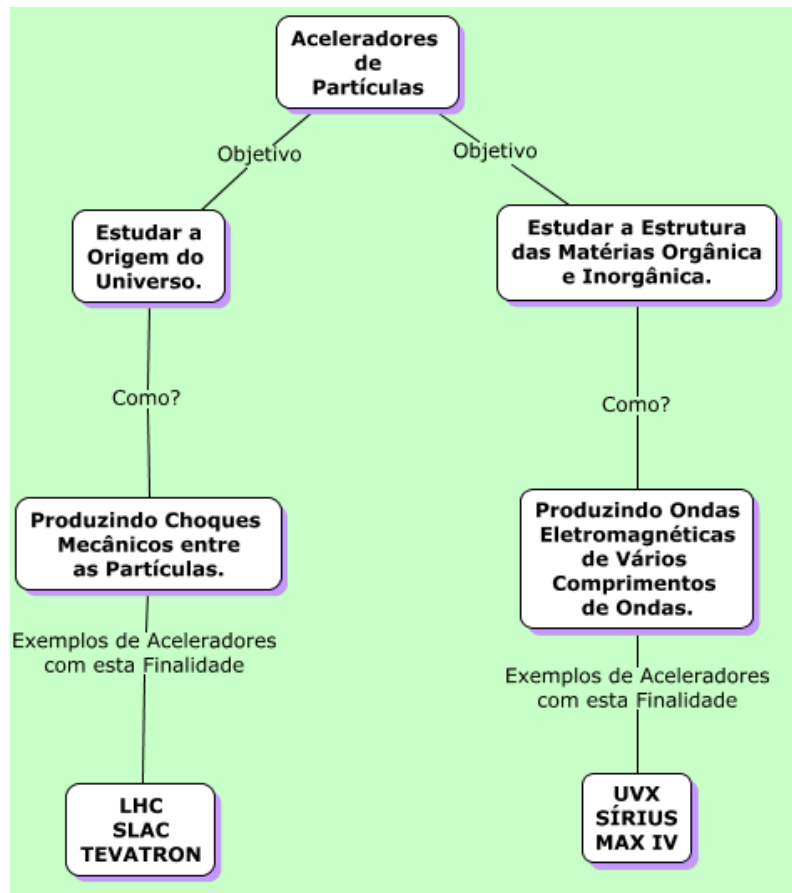
Nesta abordagem tecnológica, não poderíamos deixar de citar a tecnologia que está revolucionando o mercado tecnológico: a nanotecnologia. Com ela é possível manipular átomo por átomo, o que dá aos cientistas possibilidades de construir materiais que não existem na natureza ou, ainda, melhorar os já existentes, abrindo portas para os mais variados tipos de materiais e aplicações: supercomputadores, semicondutores, nanotubos de carbono, nanochip, entre outros. Aqui no Brasil essa tecnologia só foi possível graças ao Laboratório Nacional de Luz Síncroton (LNLS), um dos quatro laboratórios que fazem parte do Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM). No que se refere ao LNLS, Toma cita que:

A fonte de Luz Síncroton instalada em Campinas, única em todo o Hemisfério Sul, torna possível desvendar a estrutura dos materiais. O equipamento, desenvolvido inteiramente por cientistas brasileiros e concluído em 1997, gera uma energia potente, que abrange quatro faixas do espectro eletromagnético: a visível e outras três que o olho humano não percebe: o raio-X, o ultravioleta e o infravermelho. Com esses raios, os cientistas podem “ver” muitas características dos materiais. E enxergar o mundo nanométrico é enxergar o próprio futuro da ciência (TOMA, 2009, p. 87).

A Luz Síncroton descrita pelo autor é produzida pelo acelerador UVX. Conforme já citamos, atualmente está em construção um novo acelerador de partículas: o SÍRIUS. O autor cita, ainda, que “a nanotecnologia é vista, pela maioria dos países, como a alavanca que poderá conduzir a patamares mais elevados no *ranking* da economia global.” De acordo com informações do diretor responsável pelo projeto SÍRIUS, Antônio José Roque, o novo acelerador produzirá radiação que será capaz de analisar a composição detalhada dos mais diversos materiais,

beneficiando diversos setores do país, como a agricultura, a medicina, a biologia e até mesmo a arqueologia (CNPEM - CENTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ENERGIA E MATERIAIS, 2015).

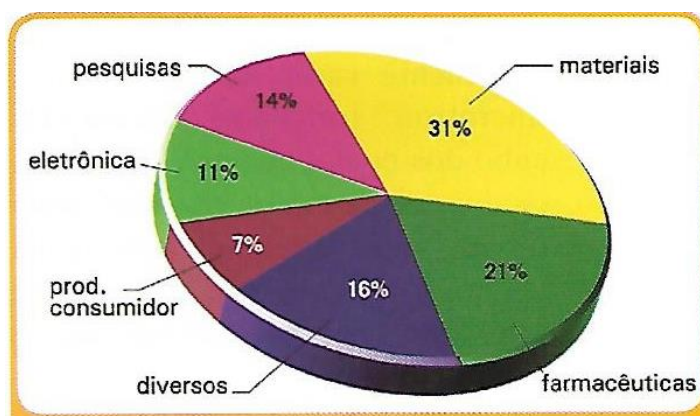
A figura abaixo nos dá uma visão resumida de alguns aceleradores de partículas, bem como a finalidade de cada um deles:



**Figura 30.** O mapa conceitual descreve as duas principais funções dos aceleradores de partículas. Na coluna da esquerda, os aceleradores focam o estudo da origem do Universo, enquanto que os da direita focam o estudo das estruturas dos materiais, sejam eles orgânicos ou inorgânicos. É importante destacar aqui que estes não são os únicos aceleradores de partículas.

### 3.6 SETOR ECONÔMICO

No setor econômico, principalmente com as tecnologias desenvolvidas nos aceleradores de Luz Síncrotron, os países mais desenvolvidos investem milhões de dolares no setor, pois acreditam que o retorno provocará um aumento considerável no PIB do país. Para que esse retorno ocorra a curto ou médio prazo, as autoridades públicas de alguns países vêm trabalhando para que haja um estreitamento da relação entre centros de pesquisas e indústrias, principalmente as privadas. O gráfico e a tabela abaixo, respectivamente, nos dão uma idéia geral dos investimentos associados à nanotecnologia - seja ela aplicada à geração de produto ou como tecnologia de capacitação - feitos por setores industriais e do crescimento econômico dos Estados Unidos desde 2002 com previsão até 2020:



**Gráfico 01.** Investimento em Nanotecnologia.  
Fonte: Chemical and Engineering News, 2003.

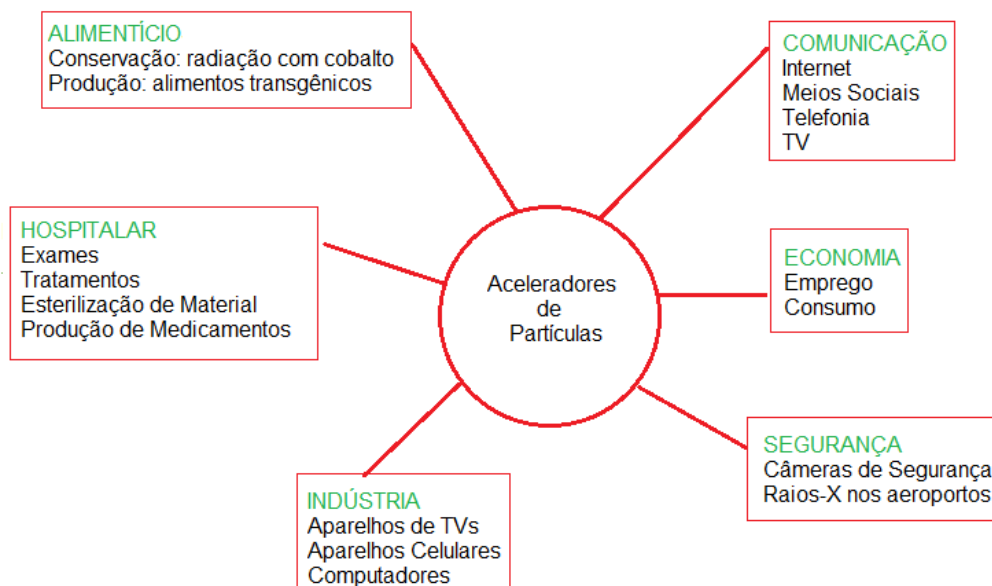
Área/Ano	2002	2007	2012	2020	
Crescimento Anual					%
Minerais	140	675	2100	11500	28
Metais	45	150	500	3000	26
Polímeros/Química	5	175	1400	15500	56
Novos Materiais	10	100	500	5000	41
Total	200	1100	4500	35000	33

**Tabela 01.** Expectativa de crescimento do mercado nos EUA em nanomateriais (U\$ milhões)  
Fonte: Chemical and Engineering News, 2003



Sobre o aquecimento da economia dos Estados Unidos, vemos na tabela que para 2020 a previsão para o mercado está na ordem de trinta e cinco bilhões de dolares, o que corresponde a um aumento no crescimento em trinta e três por cento. Conforme já citamos, não só a nanotecnologia contribui para este crescimento, mas praticamente todos os ramos da FMC, e isso não ocorre somente nos Estados Unidos. Fontes confiáveis informam que em alguns países a FMC tem contribuído positivamente no PIB, conforme podemos ver em Sociedade Brasileira de Física (SBF), 2005, p. 129: “até 2015, os bens e serviços de base nano tecnológica deverão ultrapassar US\$ 1 trilhão anuais.” Em Ruzzi (2008, p. 21), encontramos que “em torno de 30% do PIB mundial está ligado à Física Moderna.” Toma (2009, p.87) afirma que “nos EUA, as projeções na área de nanomateriais apontam para um crescimento de 33% ao ano, que ampliarão o mercado de US\$ 35 milhões, de 2002, para algo em torno de US\$ 35 bilhões em 2020.”

Assim como algumas indústrias possuem ramificações para outros setores que dão suporte à fabricação de seus produtos, no caso dos aceleradores de partículas são eles que dão suporte para outros ramos, tanto na indústria como na prestação de serviços. A figura abaixo resume essa descrição.



**Figura 31.** Ilustração das contribuições que os aceleradores de partículas têm contribuído com tecnologias e aplicações para o desenvolvimento de outros setores. Fonte: Autor

Com esses argumentos, esperamos que os alunos compreendam que as verbas aplicadas na construção e manutenção de aceleradores de partículas, sejam eles desenvolvidos para a compreensão da criação do Universo ou para os estudos da matéria – orgânica e inorgânica – não sejam vistos como gastos, mas sim como investimento.

## **CAPÍTULO 4: METODOLOGIA E APLICAÇÃO**

Neste capítulo, tratamos da aplicação da sequência didática<sup>8</sup> do Produto Pedagógico Educacional (PPE) desta dissertação. O PPE foi aplicado no primeiro trimestre letivo de 2016: fevereiro, março e abril. A unidade escolar foi da rede pública municipal de ensino, localizada na cidade de Barueri, estado de São Paulo. Os alunos são do terceiro ano do ensino médio de cursos técnicos: três turmas de hospedagem (HOSP) e uma de serviços públicos (SVP), com trinta alunos, em média, em cada sala, o que corresponde a aproximadamente a cento e vinte alunos. O número de aulas para a aplicação do PPE foi de vinte aulas, com duas aulas semanais e duração de cinquenta minutos cada, distribuídas conforme o plano de aula (apêndice I).

Conforme já citado na parte introdutória desta dissertação, as aulas de FMC foram trabalhadas sem que fossem excluídos os conteúdos da FC, os quais foram trabalhados no segundo e terceiro trimestres.

A aplicação do PPE foi dividida em dois blocos. No primeiro, tratamos desde os primeiros pensamentos atomísticos sobre a Estrutura da Matéria até o modelo de Sommerfeld. No segundo, tratamos sobre tecnologias, desenvolvimento econômico e o Modelo Padrão, sendo este o de nosso maior interesse. Cada bloco está estruturado pelos números de aulas, em que descrevemos o que foi trabalhado com os alunos. Houve, ainda, a indicação de recursos para complementar a aula do professor e exercícios de aprofundamento. Vale ressaltar que as atividades aqui propostas não devem engessar as aulas - aliás, com este PPE buscamos exatamente o contrário, ou seja, queremos diversificar as atividades e as metodologias. Os conteúdos especificados no plano de aula não precisam ser abordados sistematicamente. Eles são apenas um norteador para os assuntos que serão estudados.

As aulas foram ministradas utilizando-se das seguintes metodologias: lousa, vídeos e simulações. Caberá ao professor envolvido na aplicação deste PPE optar pela melhor metodologia a ser desenvolvida, bem como utilizar uma ou mais delas. No entanto, a fim de vencer o desafio do tempo limitado das aulas de Física,

---

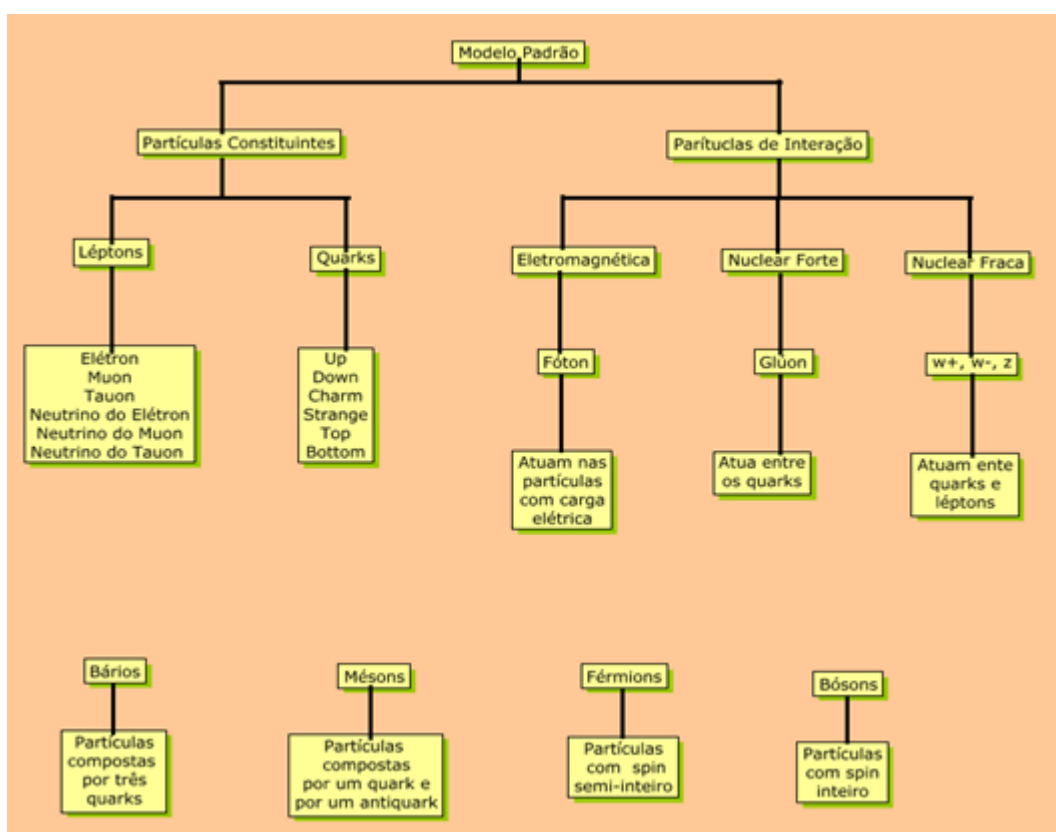
<sup>8</sup> Conjunto de atividades e avaliações organizadas em etapas, as quais são planejadas com o objetivo de ensinar um conteúdo.

entendemos que o uso de vídeos e/ou simuladores possam apresentar resultados muito mais significativos.

Após as aulas expositivas, outros recursos, tais como jogos, discussão em grupo, resolução de exercícios, construção de mapas conceituais, pesquisas, entre outros, foram adotados a fim de desenvolver a aprendizagem dos alunos utilizando os principais canais sensoriais: auditiva, visual e cinestésica, conforme seguem:

- 1) O desenvolvimento de atividades práticas na construção de modelos utilizando-se materiais concretos dá suporte para melhor fixação do conteúdo estudado. Conforme citam Greis et al. (2011, p. 52), “um problema frequentemente encontrado no ensino de física diz respeito ao de que os conceitos científicos são normalmente abordados sem que sejam propostos problemas concretos para serem resolvidos. ”, e se a atividade for desenvolvida em grupo, o aluno terá condição de questionar as suas dúvidas entre os membros do grupo, melhorando assim o seu aprendizado;
- 2) Os vídeos são ferramentas importantes para a compreensão dos assuntos abordados em sala de aula, pois, na prática pedagógica e na construção do conhecimento, esta é uma das formas de aprendizagem que se destaca. Os vídeos ou jogos eletrônicos, além de estarem disponíveis gratuitamente, dispensam a compra de diversos materiais. Assim, o emprego de simulações computacionais pode ajudar o aluno a reproduzir certos fenômenos, testar hipóteses e fazer observações diversas vezes do mesmo fenômeno.
- 3) Os mapas conceituais, quando construídos pelos próprios alunos, mostram que os seus conhecimentos estão se solidificando, pois o estudante está sendo capaz de relacionar, ou seja, fazer ligações com os assuntos abordados. Essa metodologia procura explicar os mecanismos internos da mente humana, com relação ao aprendizado e à estruturação do conhecimento. Mapas conceituais são diagramas de significados, de relações significativas de hierarquias conceituais. Novamente, podemos citar que essas relações e significados vêm ao encontro da fundamentação teórica que vamos utilizar durante a aplicação do produto educacional desta dissertação, pois, segundo David Ausubel, as

informações são organizadas na estrutura cognitiva em extratos hierárquicos. Isso também os diferencia das redes semânticas que não necessariamente se organizam por níveis hierárquicos e não obrigatoriamente incluem apenas conceitos (Moreira, 2010). De acordo com Araújo *et al.* (2007, p. 41), “o mapa conceitual é uma técnica pedagógica de representação gráfica das relações entre conceitos ligados por palavras de modo a formar proposições.” Esses conceitos ou ideias-chave normalmente são apresentados de forma hierárquica, sendo os mais abrangentes localizados no topo do mapa e os mais específicos na parte inferior, porém isso não se constitui uma regra. A figura 32 representa um mapa conceitual sobre o modelo padrão.



**Figura 32.** Mapa conceitual do Modelo Padrão relacionando as partículas e as suas interações.  
Fonte: Autor

Na primeira aula do bloco I, além da formação dos grupos com três ou quatro componentes cada – os grupos formados nessa aula foram mantidos nas aulas sequenciais para o desenvolvimento de atividade em grupo, quando necessário -, fizemos um levantamento dos conhecimentos prévios dos alunos sobre a estrutura da matéria. Para fazer esse levantamento, aplicamos as questões da atividade um (A1). As respostas dadas pelos alunos nesta atividade nortearam as aulas seguintes, uma vez que o conhecimento prévio do aluno, o qual pode servir como subsunção para o aprendizado de novas informações, é o fator principal, conforme a fundamentação teórica desta dissertação. Nas duas aulas seguintes, trabalhamos com aulas expositivas sobre os modelos atômicos, bem como com a leitura de texto e discussão em grupo. Nessas aulas, adotamos textos sobre a Estrutura da Matéria pesquisados pelos grupos de alunos, para que eles tivessem suporte para responder às questões da atividade dois (A2). Com esta atividade, objetivamos fazer uma revisão sobre os modelos atômicos referentes à constituição da matéria. Nesta etapa da aplicação do produto, é importante que os alunos saibam com muita clareza qual o significado de átomo, bem como conheça as partículas que o constitui. Nas duas últimas aulas do Bloco I, introduzimos os conceitos sobre notação científica: teoria, representação, multiplicação, divisão e prefixos (múltiplos e submúltiplos). Além dos exemplos, foram resolvidos exercícios que constam na atividade três (A3), além de assistimos ao vídeo *Quem você pensa que é?* O vídeo ilustra, precisamente, as ordens de grandeza em potência de dez e faz referência aos prefixos, bem como aos múltiplos e submúltiplos da potência de dez. Com essas atividades, esperamos que os alunos interiorizem a noção de ordem de grandeza, o que será necessário para o desenvolvimento das atividades do Bloco II. Para o encerramento deste bloco, cada aluno construiu um mapa conceitual sobre os assuntos até agora estudados, e, em seguida, fizemos uma análise reflexiva sobre os conteúdos abordados, destacando principalmente a importância desses conteúdos para a compreensão dos próximos tópicos.

## ATIVIDADES DO BLOCO I

### Atividade 1

Objetivo: fazer o levantamento prévio do conhecimento dos alunos.

01) Explique, com as suas palavras, a diferença de cada um dos termos abaixo e dê um exemplo.

Hipótese:

Teoria:

02) Descreva o que você entende por modelo.

03) Você conhece algum modelo que não seja o modelo atômico? Se conhecer, explique o que ele representa.

04) Cite os nomes dos modelos atômicos que você conhece e descreva as diferenças entre dois deles.

05) Como podemos concluir que um átomo é neutro se ele é constituído por cargas elétricas carregadas?

## Atividade 2

Objetivo: aprimorar o conhecimento sobre teoria, hipótese e modelo e fazer uma revisão sobre os diferentes modelos atômicos.

01) Relacione cada um dos termos a, b e c, com as suas respectivas definições:

- (a) Modelo;
- (b) Hipótese científica;
- (c) Teoria científica.

( ) designa qualquer suposição de algo ser verdadeiro ou não, mas que seja possível de ser verificado, a partir da qual se extrai uma conclusão;

( ) Um sistema organizado de conhecimento aceito que se aplica a uma variedade de circunstâncias para explicar um conjunto específico de fenômenos e prever as características de fenômenos ainda não observados, porém, sempre sujeita a modificação de acordo com novas descobertas.

( ) Representação para explicar um fato ou uma observação, com o propósito de analisar, descrever, simular o fato ou a observação.

02) Qual item abaixo não representa uma teoria científica?

- a-) relatividade;
- b-) evolução das espécies;
- c-) gravitação;
- d-) conspiração;
- e-) cinética dos gases.

03) Dos itens abaixo, um não está relacionado com o modelo científico.

Indique-o.

- a-) modelo atômico;
- b-) modelo do sistema planetário;
- c-) modelo propaganda;
- d-) modelo da estrutura da Terra;
- e-) modelo da cadeia do código genético.



04)Relacione o nome de cada cientista da primeira coluna com o respectivo modelo atômico descrito nas frases que estão após os parênteses:

- a-) Dalton;
- b-) Thomson;
- c-) Rutherford;
- d-) Bohr;
- e-) Sommerfeld.

( ) As cargas elétricas negativas descrevem órbitas circulares em torno de um pequeno núcleo. Modelo conhecido como Planetário;

( ) Os elétrons descrevem órbitas circulares bem definidas e eles não colapsam no núcleo atômico porque ocupam posições estáveis;

( ) As cargas elétricas negativas estão fixas em uma casca esférica de carga positiva. Modelo conhecido como pudim de ameixas;

( ) Esfera rígida e que não há presença de cargas elétricas. Modelo conhecido como bola de bilhar;

( ) As cargas elétricas descrevem órbitas circulares ou elípticas, dependendo da camada eletrônica onde se encontram.

05)Vimos em nossas aulas que, com o desenvolvimento das pesquisas e com o surgimento de novas tecnologias, os modelos atômicos foram aos poucos sendo substituídos. Dos itens abaixo, qual melhor representa o motivo pelo qual um modelo científico pode ser substituído:

- a-) quando o material que constitui o modelo já está antigo;
- b-) quando o cientista que formulou o modelo não estiver mais trabalhando no desenvolvimento das ciências;
- c-) quando o modelo for de encontro aos interesses das classes privilegiadas;
- d-) quando o modelo não for patenteado;
- e-) quando um modelo não conseguir explicar fenômenos que são observados ou notados em experiências.

### Atividade 3

Objetivo: familiarizar o aluno com os conceitos de notação científica, prefixos, múltiplos e submúltiplos e operações em notação científica.

01) Represente os números abaixo em notação científica:

a-) 12500

e-) 0,00045

b-) 5400000

f-) 0,0000245

c-) 65

g-) 0,000658

d-) 10000

h-) 0,1

02) Em cada item abaixo, substitua a potência de dez pelo prefixo

correspondente:

a-)  $2 \cdot 10^6$

e-)  $9,9 \cdot 10^{-6}$

b-)  $5,4 \cdot 10^{-9}$

f-)  $3,6 \cdot 10^{-12}$

c-)  $6,7 \cdot 10^{12}$

g-)  $5,5 \cdot 10^9$

d-)  $1,6 \cdot 10^3$

h-)  $1,6 \cdot 10^{-9}$

03) Em cada item abaixo, substitua o prefixo pela notação científica:

a-) 2,4 $\mu$

e-) 6,4p

b-) 4,6n

f-) 7,8T

c-) 8,7G

g-) 9,3 $\mu$

d-) 5,6k

h-) 3,4m

04) Efetue as operações matemática abaixo e represente os resultados em notação científica. Se possível, utilize os prefixos.

a-)  $4,2 \cdot 10^6 \times 2,0 \cdot 10^3$

b-)  $3,0 \cdot 10^{-3} \times 3,0 \cdot 10^{12}$

c-)  $4,0 \cdot 10^9 : 2,0 \cdot 10^6$

Como os conhecimentos prévios dos alunos norteiam o andamento das aulas, na primeira aula do Bloco II abordamos assuntos gerais sobre a FMC. Para isso, fizemos uso das questões de apoio da atividade quatro (A4) que se refere a questões relacionadas ao estudo de altas energias, partículas subatômicas e aceleradores de partículas. Nas sete aulas seguintes, além das aulas expositivas sobre a Física das Partículas e as suas Interações - partículas constituintes da matéria (léptons e quarks) e partículas de interação (fóton, glúons,  $w^+$ ,  $w^-$  e  $z^0$ ) -, indicamos aos alunos o vídeo *O Discreto Charme das Partículas Elementares*, o qual dá uma visão geral sobre quais são as principais partículas do Modelo Padrão, bem como as forças de interação. Depois, os grupos fizeram um relatório sobre o vídeo, o qual foi avaliado como atividade cinco (A5). No relatório, os alunos seguiram as orientações comuns, conforme constam na atividade; no último item, os grupos tiveram espaço para descrever outras informações.

Para que as aulas fossem diversificadas e que pudessem abordar outras formas de aprendizagem, desenvolvemos atividades lúdicas com jogo de cartas e jogo virtual, conforme se encontram especificados no plano de aula. Os objetivos desses jogos são contribuir com o aprendizado de alguns conceitos sobre as partículas e ajudar os alunos a memorizar alguns nomes das partículas, sendo elas elementares ou não. O jogo de Cartas Bárions e Léptons foi praticado em sala de aula. Durante o jogo de cartas, os alunos, em grupo, responderam à atividade seis (A6), podendo fazer consultas ao caderno, caso fosse necessário. O jogo virtual SPRACE foi indicado para os alunos praticarem em casa. Depois, os alunos, em grupo, discutiram o que entenderam do jogo e fizeram um relatório por grupo, seguindo as orientações que constam na atividade. Este relatório foi avaliado como atividade sete (A7).

Entendidos os principais conceitos sobre as partículas constituintes da matéria e de interação, desenvolvemos a atividade oito (A8). Essa atividade é prática e recebe o nome de “Mão na Massa”. Nela, com materiais e informações fornecidos pelo professor, os alunos construíram modelos de bárions e mésons, conforme orientações que constam na atividade. Assim, é importante que nesse estágio da aplicação do PPE, os alunos já estejam dominando os conceitos de léptons, quarks e glúons. Após a construção dos modelos, juntamos todos os prótons e nêutrons construídos pelos alunos para montarmos um único núcleo

atômico. Em seguida, fizemos referência a esse núcleo com conteúdos já estudados em Química: massa atômica, número atômico, número de nêutron e localização na tabela periódica. É importante frisar que, em nosso modelo, os elétrons não estavam representados, ou seja, estávamos estudando apenas o núcleo atômico. Para o encerramento desse conjunto de aulas, cada aluno construiu um mapa conceitual sobre os conteúdos abordados no bloco dois. Nas duas aulas seguintes, os alunos conheceram virtualmente um acelerador de partículas. Eles assistiram ao vídeo *CERN em 10 minutos*, o qual dá uma visão geral sobre o maior centro de pesquisa de altas energias.

Se o professor achar necessário, ele poderá indicar o vídeo *É Preciso Um LHC*. Nesse último vídeo, o LHC é apresentado por meio de uma paródia, em que são mostrados os detectores de partículas localizados no perímetro de 27 quilômetros do LHC.

Além dessa visita virtual, fizemos uma visita física ao Instituto de Física da Universidade de São Paulo (IFUSP) para os alunos conhecerem o Pélletron: acelerador de partículas. Aqui, é importante o professor informar aos alunos que o Pelletron não tem o mesmo objetivo de pesquisa que o CERN, e que, aliás, nem todos os aceleradores de partículas têm as mesmas finalidades. Mais informações foram fornecidas pelo monitor, abordando assuntos como velocidades atingidas pelas partículas, radiação, a principal função do Pélletron, entre outras. Nesta visita, conhecemos também, o laboratório de demonstração de Física Moderna e Contemporânea da USP (LDFMC\_USP), ocasião em que os monitores fizeram demonstrações de alguns assuntos relacionados à FMC: espectroscopia, energia nuclear, efeito fotoelétrico e produção de raios-x.

Essas visitas proporcionaram aos alunos não só conhecimento sobre os centros de pesquisas, mas também, uma noção de como os cientistas desenvolvem as pesquisas, o que contribuiu no desenvolvimento das duas atividades seguintes: Investigação “Científica”. Utilizamos duas aulas para tratarmos desse assunto, e, nelas, desenvolvemos a atividade de apoio número nove (A9): “pegadas”. Neste momento, os alunos, em grupo, construíram uma história que melhor se ajustou à figura que lhes foi apresentada, construindo hipóteses que justificassem as suas histórias. Depois, cada grupo leu a sua história para os demais e, na sequência, os

outros alunos utilizaram argumentos para refutar ou confirmar as hipóteses levantadas.

Na atividade dez (A10), a qual segue a mesma linha de desenvolvimento da atividade anterior, os alunos assistiram ao vídeo *Espaço Sideral*. A pequena diferença apresentada aqui é que o vídeo foi mostrado pausadamente: foram feitas três ou quatro pausas, com intervalo de 15 segundos cada, aproximadamente. A cada pausa, os alunos fizeram novas observações, podendo mudar, assim, as ideias iniciais sobre as suas investigações. Após o término do vídeo, os alunos fizeram hipóteses para sustentarem as suas investigações, as quais foram discutidas em grupo, podendo elas ser confirmadas ou refutadas. Na aula seguinte, os alunos realizaram a primeira prova obrigatória da unidade escolar – prova mensal. Esta prova foi formulada com as mesmas questões da atividade um (A1), porém, desta vez, ela não foi avaliada como conhecimento prévio, pois os alunos já haviam estudado o assunto. Em nossa análise de resultados, a qual se encontra no capítulo 5, esta avaliação está nomeada como atividade 11 (A11).

Nas próximas aulas, abordamos um pouco sobre as tecnologias que estão envolvidas direta ou indiretamente com a FMC. Para mostrar essas tecnologias, assistimos a três vídeos: *Visões do Futuro*, *How does PrótonTherapy Work* e *Para que Serve um Acelerador de Partículas?* O primeiro trata de assuntos como manipulação de átomos, construção de robôs capazes de transitarem dentro do corpo humano (tendo bactérias como motores propulsores), cura de doenças, entre outros. No segundo, fizemos uma abordagem sobre o tratamento de câncer por meio de um método denominado de protonterapia. Neste vídeo, os alunos tiveram informação de como os prótons são obtidos, quais as vantagens e desvantagens desse tratamento em comparação aos outros métodos de radioterapia. O terceiro vídeo tem por objetivo mostrar que os aceleradores não são construídos apenas com o objetivo de estudar a origem do Universo, mas que há muitas outras aplicações dos aceleradores. Após cada vídeo, a aula foi aberta para que os alunos pudessem discutir os benefícios que as tecnologias trazem para o homem, bem como discutir os argumentos contrários. O foco da questão foi ciência, tecnologias, aplicações, riquezas e desenvolvimento.

Encerrados esses assuntos, os alunos realizaram a segunda prova obrigatória da unidade escolar – prova trimestral. Esta prova foi formulada com as mesmas

questões da atividade quatro (A4), porém, mais uma vez, a avaliação não foi vista como conhecimento prévio, assim como na primeira prova, pois os alunos já haviam estudado o conteúdo. Em nossa análise de resultados, esta avaliação está nomeada como atividade doze (A12). Na última aula de um total de vinte, incluindo o Bloco I - que trata de assuntos da FC - fizemos uma análise reflexiva sobre os conteúdos abordados neste último bloco.

Para o encerramento da aplicação deste PPE, os alunos responderam ao questionário avaliativo. Para este questionário não foi atribuída nota aos alunos, esta atividade teve por finalidade avaliar os métodos e as metodologias aplicadas no desenvolvimento deste PPE. Nele, os alunos atribuíram notas aos vídeos, aulas expositivas, jogos lúdicos, atividades escritas, às visitas, entre outros, contribuindo, assim, para a melhoria da aplicação deste produto nos próximos anos.

## ATIVIDADES DO BLOCO II

### Atividade 4

Objetivo: fazer o levantamento prévio do conhecimento dos alunos.

01) Explique, com as suas palavras, a diferença entre Física Clássica e Física Moderna.

02) Cite abaixo tópicos relacionados à:

Física Clássica:

Física Moderna:

03) O que são partículas elementares? Dê exemplos.

04) O que são partículas subatômicas? Dê exemplos.

05) Descreva o significado de cada item abaixo:

Física de altas energias:

Acelerador de partículas:

## Atividade 5

Objetivo: Entender os conceitos sobre o Modelo Padrão estudando as partículas de constituição da matéria e as partículas de interação. A “vídeo aula” apresenta de forma dinâmica as partículas elementares e as famílias que cada uma delas faz parte.

Acessar o site [https://www.youtube.com/watch?v=FAISMNkR\\_WM](https://www.youtube.com/watch?v=FAISMNkR_WM), assistir ao vídeo *O discreto charme das partículas elementares I, II, III, IV e V*. Os cinco vídeos totalizam, aproximadamente, 50 minutos. Na sequência, cada grupo deve fazer um relatório abordando os seguintes itens:

- I-) O assunto principal do vídeo;
- II-) Os assuntos secundários;
- III-) O cenário;
- IV-) Outras considerações que acharem necessárias.



## Atividade 6

Jogo de Cartas: bárions e léptons.

Partida	Jogadores					
	1		2		3	
1	Bárion		Bárion		Bárion	
	Quarks		Quarks		Quarks	
	Energia		Energia		Energia	
2	Bárion		Bárion		Bárion	
	Quarks		Quarks		Quarks	
	Energia		Energia		Energia	
3	Bárion		Bárion		Bárion	
	Quarks		Quarks		Quarks	
	Energia		Energia		Energia	
	Total		Total		Total	

Tabela representando o número de jogadores e o número de partidas por jogo. Em cada partida, os jogadores devem preencher a tabela com o nome de cada bárion formado, com o nome das partículas que o constitui e a sua energia.

Questões para serem respondidas após o jogo:

01) O que são bárions? Dê um exemplo;

02) O que são mésons? Dê um exemplo;

03) O que são léptons? Dê um exemplo;

04) O que é uma antimatéria? Como os físicos representam a antimatéria, ou seja, a simbologia?

05) O que são fótons? Como eles são produzidos?

## Atividade 7

Objetivo: Reforçar o aprendizado sobre partículas elementares estudadas no Modelo Padrão de forma lúdica e dinâmica.

Acessar o site <https://www.sprace.org.br/sprace-game/sprace-game-v2-pt>, fazer leitura do texto e participar de algumas partidas do jogo virtual. Na sequência, os alunos devem fazer um relatório abordando os seguintes itens:

- I-) Quem criou o jogo;
- II-) Quando o jogo foi criado;
- III-) O objetivo do jogo;
- IV-) As missões do jogo;
- V-) O cenário;
- VI-) As principais dificuldades;
- VII-) Outras considerações que acharem necessárias.

## Atividade 8

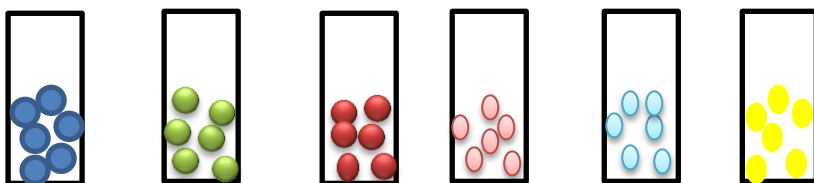
Objetivo: desenvolver atividade prática com construção de modelos de bárions e mésons

### MATERIAL

- 1-) Esferas de plástico (miçangas), com diâmetro de aproximadamente 1cm. São necessárias esferas com seis cores diferentes, conforme seguem: azul, verde, vermelho, ciano, magenta e amarelo. As três primeiras representam os quarks e as demais representam os antiquarks. Todas as esferas possuem furos que as atravessam diametralmente. São necessárias cinco miçangas para cada aluno;
- 2-) Seis recipientes de, aproximadamente, meio litro cada;
- 3-) Espiral de plástico (semelhantes aos de caderno) de comprimento igual a 15cm, com diâmetro inferior ao diâmetro dos furos das miçangas;
- 4-) Cola de secagem rápida;
- 5-) Caneta hidrográfica permanente de ponta fina;
- 6-) Bola acrílica bipartida transparente com diâmetro de 5cm ou 6cm;

### “MÃO NA MASSA”

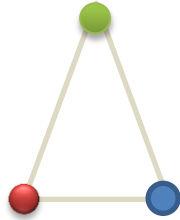
- a-) Colocar as partículas (miçangas) de cada cor nos recipientes de meio litro. Deixar as miçangas separadas por cor, conforme figura abaixo:



azul verde vermelho magenta ciano amarelo

- b-) Os alunos devem retirar dos recipientes esferas para formarem um bárion e um méson;
- c-) Cada aluno deve ficar com um espiral de 15cm;

d-)Os espirais serão introduzidos nos furos das três esferas, no caso do bárion, conforme figura 01, ou deve-se introduzi-los nos furos de duas esferas, no caso de méson, conforme figura 02.



**Figura 01**



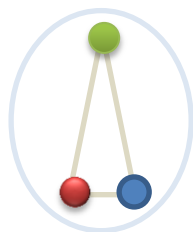
**Figura 02**

e-)Com a cola de secagem rápida, fixar as esferas aos espirais;

f-)Com a caneta hidrográfica permanente, de ponta fina, anotar em cada trio das esferas que representam os quarks, a primeira letra de cada partícula;

g-)Com a caneta hidrográfica permanente de ponta fina, anotar em cada par das esferas que representam os quarks e antiquarks, a primeira letra de cada partícula;

h-)Colocar a estrutura formada, conforme figura 01, dentro da esfera acrílica bipartida, conforme figura 03;



**Figura 03**

Pronto, os modelos de bárions e mésons estão construídos;

## Atividade 9

### INVESTIGAÇÃO “CIENTÍFICA”: As Pegadas

Objetivo: Proporcionar aos alunos uma ideia de como os cientistas desenvolvem suas pesquisas: investigação e criação de hipóteses.

Observe a figura a seguir. Ela representa pegadas que foram deixadas em um local.



Fonte: material de apoio ao currículo do estado de São Paulo. Caderno do aluno. Física – Ensino Médio – 3ª série – volume 2 – página 66. Com adaptação do autor deste produto educacional.

01-) Invente e relate uma história que forneça uma explicação para a imagem observada;

02-) O que se pode concluir com base nas várias histórias ou explicações dadas para a figura?

03-) Se o cenário em que ocorrem as pegadas fosse especificado, por exemplo, o pátio da escola, quais ou quantas histórias contadas pelos alunos seriam “refutadas”?

## Atividade 10

### INVESTIGAÇÃO “CIENTÍFICA”: Espaço Sideral

Objetivo: Proporcionar aos alunos uma ideia de como os cientistas desenvolvem suas pesquisas: investigação e criação de hipóteses.

O vídeo<sup>9</sup> mostrará uma situação que deverá ser investigada por cada grupo. O vídeo tem duração de 5 minutos, mas ele terá três pausas: após 10, 15 e 26 segundos.

Primeira Pausa (t=10 segundos): Descreva o que a primeira imagem representa para o seu grupo;

Segunda Pausa (t=15 segundos): O grupo ainda continua com a descrição anterior? Se houver novas informações, descreva-as no espaço abaixo:

Terceira Pausa (t=26 segundos): As afirmações/ideias levantadas anteriormente permanecem? Se não, descreva as novas informações.

Agora, formule hipóteses que possam convencer aos demais grupos que o seu grupo está seguindo a linha correta de investigação.

Discussão aberta à turma: Confirmação ou refutação das hipóteses

Que (ais) argumento (s) o seu grupo tem para confirmar ou refutar a (s) hipótese (s) dos outros grupos?

Para finalizar atividade, assista ao vídeo até o fim.

---

<sup>9</sup> o vídeo pode ser visto, também, acessando: <https://youtu.be/UNkfz0IAftc>

## Questionário Avaliativo

Durante o 1º trimestre de 2016, os assuntos estudados em Física Moderna e Contemporânea foram abordados com métodos e/ou metodologias diversificados para que atingíssemos melhor compreensão dos conteúdos. Para cada item abaixo, levando em consideração o que mais contribuiu para a sua aprendizagem, atribua uma nota de 0 a 10. Caso não tenha participado, assinale Não Participei (NP).

MÉTODO/METODOLOGIA	NOTA											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	NP
Aulas expositivas.												
Leitura de texto (discussão em grupo).												
Construção de Mapa Conceitual.												
Visitas Técnicas	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	NP
Física (IFUSP).												
Virtual (CERN).												
Vídeos	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	NP
O Discreto Charme das P. Elementares.												
Quem você pensa que é?												
Visões do Futuro – a nanotecnologia.												
How does próton therapy work?												
Para que serve um acelerador de partículas (LNLS: UVX e o SÍRIUS).												
Jogos/Atividade Prática	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	NP
SPRACE (jogo virtual).												
Cartas – bárions e léptons.												
“Mão na Massa”												
Investigação	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	NP
Investigação Científica: Pegadas.												
Investigação Científica: Espaço Sideral.												

## CAPÍTULO 5: ANÁLISE DOS RESULTADOS E COMENTÁRIOS

Neste capítulo apresentamos os resultados quantitativos das atividades desenvolvidas na aplicação deste PPE. Apesar de o nosso foco ser uma análise quantitativa, conforme já citado, a partir dos resultados apresentados nos quadros de números 19 e 20, os quais correspondem aos resultados da prova mensal obrigatória da unidade escolar, e nos quadros de números 21 e 22, os quais correspondem aos resultados da prova trimestral obrigatória da unidade escolar, faremos uma abordagem qualitativa, uma vez que é possível perceber com muita clareza uma evolução nas respostas atribuídas pelos alunos.

### BLOCO I

01	Explique, com as suas palavras, o significado de cada um dos termos abaixo e dê um exemplo:	NV
	Hipótese (1H)	
a	É algo que as pessoas acreditam, mas que pode ser mudado;	05
b	É algo que pode acontecer;	04
c	É o que pode ser ou não daquela forma.	02
	Teoria (1T)	
d	É algo que já foi comprovado. Exemplo: “big bem”;	02
e	É uma especulação que pode ser verdade ou não;	02
f	É uma história criada em cima de algo que é observado;	03
g	Teoria da gravidade.	02
02	Descreva o que você entende por modelo.	
a	Modelo é uma imagem que representa alguma coisa;	04
b	É uma coisa boa que serve de inspiração;	02
c	Uma forma daquilo que se quer apresentar;	02
d	A tabela periódica é um modelo;	01
e	Algo que você identifica quando vê. Exemplo a garrafa Dolly;	01
f	Algo que deve ser usado como exemplo: “Gisele Betchen”.	01
03	Você conhece algum modelo científico que não seja o modelo atômico? Se conhecer, explique o que ele representa.	
a	Cadeia de DNA;	04
b	O Coração. Todo mundo mostra assim (fez um desenho), mas ele não é assim;	01
c	Célula (fez o desenho);	03
d	O símbolo delta ( $\Delta$ ) da matemática.	01
04	Cite os nomes dos modelos atômicos que você conhece e descreva as diferenças entre dois deles.	
a	Alguma coisa que tinha a ver com massa de passas;	01
b	Cátion e ânion;	03
c	Próton e elétrons;	05
d	O modelo de uva;	01
e	Prótons, elétrons e nêutrons.	03
05	Como podemos concluir que um átomo é neutro se ele é constituído por cargas elétricas?	
a	Porque a carga positiva elimina a negativa;	04
b	Eu sei, mas não me lembro.	01



**Quadro 4.**

Atividade 1: Questões aplicadas aos alunos para levantamento prévio do conhecimento e algumas respostas fornecidas pelos alunos.

Legenda: NV=Número de Vezes que respostas iguais ou semelhantes apareceram.

Turma		3A Hosp.		3B Hosp.		3C Hosp.		3A SVP		Total Absoluto		Total Relativo (%)	
Nº de Alunos		24		16		22		25		87		100	
		R	NR	R	NR	R	NR	R	NR	R	NR	R	NR
QUESTÃO	1H	22	2	16	0	22	0	24	1	84	3	96,6	3,4
	1T	23	1	15	1	22	0	24	1	84	3	96,6	3,4
	2	20	4	16	0	21	1	24	1	81	6	93,1	6,9
	3	8	16	9	7	5	17	4	21	26	61	29,9	70,1
	4	7	17	1	15	2	20	10	15	20	67	23,0	77,0
	5	12	12	9	7	10	12	24	1	55	32	63,2	36,8

**Quadro 5.**

Tabulação das questões respondidas na atividade 1

Legenda: R=Número de alunos que Responderam à questão; NR=Número de alunos que Não Responderam à questão; 1H=Hipótese; 1T=Teoria; Hosp=Hospedagem; SVP=Serviços Públicos.

O quadro 5 nos mostra o número de alunos do terceiro ano do ensino médio que participaram da atividade 1, o que corresponde a 87 alunos no total. Com essa atividade, foi feito o levantamento prévio sobre teoria, hipótese, modelo e carga elétrica. Para facilitar a compreensão desta análise, vamos nos referir sempre aos resultados relativos, ou seja, em percentual. A questão 01 foi a que teve o maior número de respostas, o que não difere muito da questão 02. Porém, as respostas estão fora do contexto científico, o que podemos constatar por algumas das respostas apresentadas no quadro 1. Dos 87 alunos, apenas dois fizeram referência a teorias científicas: “big bem” e gravidade. Os resultados mais preocupantes estão nas duas questões seguintes. Na questão 03, apenas 30%, aproximadamente, souberam identificar o que é um modelo científico. O que torna a situação ainda pior, pelo menos para os físicos, é que entre os 87 alunos nenhum fez referência a modelos relacionados à Física. As poucas relações feitas a modelos científicos estão associadas à Biologia: DNA e célula. Na questão 04, mesmo induzindo os alunos a perceberem que os modelos atômicos são científicos, eles não souberam descrever nenhum deles, apenas dois alunos citaram as palavras “massa de passas” e “uvas”, o que nos leva a acreditar que estavam fazendo referências ao

modelo atômico de J.J. Thomson. Quanto à questão 05, muitos alunos a responderam, mas pouquíssimas respostas, por volta de cinco, estavam associadas às cargas elétricas.

01	Relacionar cada um dos termos modelo, hipótese e teoria científica com as suas respectivas definições.
02	Descreva o que você entende por modelo.
03	De cinco itens fornecidos, indicar qual não representa uma teoria científica.
04	Relacionar o nome dos modelos atômicos com as descrições fornecidas de seis modelos.
05	De cinco alternativas, o aluno deveria escolher uma que melhor representasse o motivo pelo qual um modelo atômico pode ser substituído.

**Quadro 6.**

Atividade 2: Questões referentes à hipótese, à teoria e aos modelos científicos. As questões na íntegra desta atividade encontram-se na dissertação.

Turma	3A Hosp.		3B Hosp.		3C Hosp.		3A SVP		Total Absoluto		Total Relat. (%)		
	Nº de Alunos	22	17	23	24	86	100						
	C	E	C	E	C	E	C	E	C	E	C	E	
<b>QUESTÃO</b>	1	17	5	13	4	18	5	12	12	60	26	69,8	30,2
	2	11	11	8	9	14	9	13	11	46	40	53,5	46,5
	3	17	5	9	8	13	10	12	12	51	35	59,3	40,7
	4	8	14	7	10	7	16	15	9	37	49	43,0	57,0
	5	21	1	15	2	22	1	13	11	71	15	82,6	17,4

**Quadro 7.**

Atividade 2: tabulação das questões respondidas na atividade 2.

Legenda: C=Número de questões certas; E=Número de questões erradas.

Hosp=Hospedagem e SVP=Serviços Públicos.

A Atividade 2 não se trata de levantamento prévio. Para responder a estas questões, os alunos já haviam estudado o conteúdo em sala de aula e com abordagens diferentes, tais como: aula expositiva, vídeo e discussão em grupo. Acreditamos que os resultados deveriam ser um pouco melhores, pois assuntos semelhantes aos tratados aqui já tinham sido abordados no segundo ano nas aulas de Filosofia, principalmente os assuntos referentes à teoria e hipótese. Na questão 5, vemos que não houve muita dificuldade de os alunos entenderem o que leva à substituição de um modelo, seja ele científico ou não, pois quase 83% dos alunos souberam responder a esta questão. Um destaque aqui cabe à questão de número

4, a qual teve o menor percentual de acerto. Esta questão, nas Atividades 1 e 2, é referente aos mesmos assuntos, ou seja, modelos atômicos. Porém, em ambas, foram as que tiveram o menor percentual de acerto, o que nos leva a concluir que os alunos não têm muita familiaridade, ainda, com esse assunto.

01	Fazer representação de números inteiros e decimais em Notação Científica (NC).
02	Substituir a potência de dez da NC pelo prefixo correspondente: T, G, M, K, m, $\mu$ , n, p.
03	Substituir os prefixos T, G, M, K, m, $\mu$ , n ou p, pela potência de dez correspondente.
04	Efetuar operações de multiplicação e divisão em NC.

**Quadro 8.**

Atividade 3: familiarizar o aluno com os conceitos de Notação Científica (NC), operação matemática com NC e utilização dos prefixos gregos. As questões na íntegra desta atividade encontram-se na dissertação.

**Quadro 9.**

Turma		3A Hosp.			3B Hosp.			3C Hosp.			3A SVP			Total Absoluto		Total Rel. (%)	
Nº de Alunos		25			16			23			22			86		100	
		IR	C	E	IR	C	E	IR	C	E	IR	C	E	C	E	C	E
QUESTÃO	1	200	116	84	128	76	52	184	76	108	176	113	63	381	307	55,4	44,6
	2	200	163	37	128	33	95	184	28	156	176	117	59	341	347	49,6	50,4
	3	200	131	69	128	34	94	184	24	160	176	126	50	315	373	45,8	54,2
	4	75	36	39	48	31	17	69	25	44	66	46	20	138	120	53,5	46,5
<b>Result. Turma (%)</b>			66	34		40	60		25	75		68	32				

Tabulação dos resultados da Atividade 3

Legenda: IR=Itens Respondidos; Hosp=Hospedagem; SVP=Serviços Públicos.

Observando o resultado relativo apresentado, vemos que ele está em torno de 50% para qualquer que seja a questão: 1, 2, 3 ou 4. Porém o resultado está bem abaixo do necessário para que os alunos possam desenvolver com eficiência algumas atividades relativas ao estudo da Física Moderna e Contemporânea, principalmente nas atividades relacionadas aos estudos dos aceleradores de partículas e ao jogo de cartas, em que as massas das partículas serão representadas em KeV, MeV, GeV ou TeV. O resultado apresentado se torna ainda mais preocupante quando analisamos apenas a turma 3C Hosp, em que a média de acerto chegou apenas a 25%. Neste caso, houve necessidade de desenvolver atividades extras (vários exercícios em sala de aula) para minimizar a deficiência apresentada.

## BLOCO II

01	Explique, com as suas palavras, a diferença entre Física Clássica e Física Moderna e Contemporânea.	NV
	Física Clássica	
a	É o que estuda assuntos antigos;	25
b	Estuda a estrutura da Terra;	01
	Física Moderna e Contemporânea	
c	Estuda as coisas atuais;	05
d	Está relacionada com tecnologia;	04
e	Teoria da Relatividade;	02
02	Cite abaixo tópicos/assuntos relacionados à:	
	(2FC) Física Clássica	
a	Cinemática e Lei da Inércia;	08
b	Notação Científica;	05
c	Velocidade, temperatura e força;	10
d	Teoria do Big Bang;	01
	(FMC) Física Moderna e Contemporânea	
e	Assuntos relacionados à ONU;	01
f	Radioatividade e Física Quântica;	02
g	Átomos e partículas;	04
h	O que é estudado a partir do Heliocentrismo;	01
i	Tem a ver com átomo;	03
j	Zica Vírus;	01
k	São as ondas gravitacionais;	01
03	O que são partículas elementares? Dê exemplos.	
a	Não possui estrutura;	07
b	São os prótons;	04
c	São os nêutrons;	02
d	Partículas de extrema importância;	02
e	Tem algo a ver com quarks;	01
04	O que são partículas subatômicas? Dê exemplos.	
a	São partículas menores que o átomo;	02
b	Extremidades do átomo;	01
c	Partículas que ficam abaixo do átomo;	03
d	Menor parte da partícula, onde o tempo e o espaço não fazem efeito;	01
e	Não sei muito bem, mas dá para fazer bomba;	01
05	Descreva o significado de cada item abaixo:	
	(5FAE) Física de Altas Energias	
a	Que tem muita energia;	03
b	São os geradores de energia;	02
	(5AP) Acelerador de Partículas	
c	Faz aumentar a velocidade das partículas;	05
d	São os catalisadores;	12
e	Agitam as partículas;	02

### Quadro 10.

Atividade 4: Questões aplicadas aos alunos para levantamento prévio do conhecimento e algumas respostas dadas pelos alunos.

Legenda: NV= Número de Vezes com que respostas iguais ou parecidas ocorreram.

Turma		3A Hosp.		3B Hosp.		3C Hosp.		3A SVP		Total Absoluto		Total Relat. (%)	
Nº de Alunos		19		17		24		24		84		100	
		R	NR	R	NR	R	NR	R	NR	R	NR	R	NR
QUESTÃO	1	9	10	11	6	14	10	20	4	54	30	64,3	35,7
	2FC	13	6	10	7	14	10	20	4	57	27	67,9	32,1
	2FMC	11	8	8	9	10	14	7	17	36	48	42,9	57,1
	3	2	17	10	7	5	19	4	20	21	63	25,0	75,0
	4	4	15	12	5	7	17	5	19	28	56	33,3	66,7
	5FAE	1	18	6	11	9	15		24	16	68	19,0	81,0
	5AP	3	16	10	7	8	16	4	20	25	59	29,8	70,2

**Quadro 11.**

Tabulação das questões respondidas na atividade 4.

Legenda: R=Número de alunos que Responderam à questão; NR=Número de alunos que Não Responderam à questão; Hosp=Hospedagem; SVP=Serviços Públicos.

A Atividade 4 refere-se a um levantamento prévio do conhecimento dos alunos aos assuntos relacionados ao estudo da FMC. Até aqui, os alunos já haviam estudado os assuntos da Física Clássica (FC) que dariam suporte para a introdução da FMC. O quadro 11 nos dá informação do número de alunos (resultados absolutos e relativos) que responderam às questões e não se o aluno acertou ou não a questão. Na questão 01, que aborda as diferenças entre a FC e a FMC, 64,3% dos alunos a responderam, e muitos alunos associaram a FC aos assuntos antigos e a FMC aos assuntos que envolvem tecnologias. Na questão 02, que solicita exemplos, o número de respostas foi alto, e geralmente as respostas estavam associadas ao estudo da mecânica, apenas um aluno citou a Teoria do *Big Bang*. Nos assuntos relacionados à FMC, mais de 70% dos alunos não souberam exemplificar, e muitos dos exemplos dados estavam fora da FMC. A resposta mais surpreendente foi a de Ondas Gravitacionais, assunto que tomou conta dos telejornais nos últimos tempos. Este fato vem ao encontro do que citamos na introdução desta dissertação: o ensino de Física Moderna e Contemporânea no ensino médio, entre outros fatores, proporcionará aos alunos condições para a compreenderem informações fornecidas pelos meios de comunicação. Na questão 03, apenas 25% dos alunos a responderam e apenas 15 deram respostas “corretas” ao significado de partícula elementar. Na questão 04, vemos que o átomo é predominante quando o assunto é partícula, e não os seus constituintes: próton, elétron e nêutron. O número de alunos que não responderam à questão 05 já era esperado, chegando a ultrapassar a 70%, pois esses assuntos quase não fazem parte do cotidiano deles. Porém vale destacar

as respostas dadas ao significado de aceleradores de partículas: neste caso, quase 50% dos alunos responderam CATALISADOR. Essa resposta foi dada pela maioria dos alunos porque eles estão estudando esse assunto em Química. Assim, eles associaram velocidade de reação com acelerador de partículas.

Partida	Jogadores					
	1		2		3	
	Bárion		Bárion		Bárion	
1	Quarks		Quarks		Quarks	
	Energia		Energia		Energia	
	Bárion		Bárion		Bárion	
2	Quarks		Quarks		Quarks	
	Energia		Energia		Energia	
	Bárion		Bárion		Bárion	
3	Quarks		Quarks		Quarks	
	Energia		Energia		Energia	
	Total		Total		Total	

**Quadro 12.**

Quadro para ser preenchido durante o jogo de cartas: Bárions e Léptons. As regras do jogo estão no apêndice II.

Nº	Questão
01	O que são bárions? Dê um exemplo.
RE	Bárions são partículas formadas pela combinação de três quarks. Exemplos: $uud$ , $udd$ , ...
02	O que são mésons? De um exemplo.
RE	Mésons são partículas formadas pela combinação de um quark e um antiquark. Exemplos: $u\bar{u}$ , $u\bar{d}$ , ...
03	O que são léptons? De um exemplo.
RE	Léptons são partículas indivisíveis que não sofrem influência da força forte. Exemplos: $e^-$ , $\mu$ , $\tau$ ...
04	O que é antimatéria? Como os Físicos representam a antimatéria, ou seja, qual a simbologia?
RE	A antimatéria também é matéria, mas é formada por antipartículas. Ela é representada com o símbolo da matéria, mas com um traço em cima. Exemplo: $\bar{u}$ , $\bar{s}$ , $\bar{d}$ ...
05	O que são fótons? Como eles são produzidos?
RE	Fóton é a partícula mediadora da força eletromagnética. Ele é formado quando uma partícula de matéria entra em contato com sua antipartícula de matéria. Exemplo: $u\bar{u}$ , $e^-e^+$

**Quadro 13.**

Questões para serem respondidas após o término do jogo de cartas: Bárions e Léptons.  
 Legenda: RE= Resposta Esperada

Questão	3A Hosp	3B Hosp	3C Hosp	3A SVP
1	1,5	1,8	1,7	1,8
2	1,6	1,8	1,4	1,6
3	1,8	2,0	1,7	1,6
4	1,5	1,6	1,3	1,4
5	1,5	1,4	1,4	1,4
<b>Média</b>	<b>7,9</b>	<b>8,6</b>	<b>7,5</b>	<b>7,8</b>

**Quadro 14.**

Tabulação das médias das notas obtidas por turma em cada questão. Legenda: Hosp.=Hospedagem e SVP-Serviços Públicos.

A atividade 6 foi desenvolvida pelos alunos em dupla ou em trio. Os alunos, com as cartas do jogo Bárions e Léptons, deveriam formar a combinação de bárions e ter em mãos um lépton estável. Após três partidas, venceria o jogo o aluno que obtivesse a energia mais alta na soma das três partidas (as regras do jogo estão no apêndice II). Após o término das três partidas, os alunos, em grupo, deveriam responder às questões que estão no quadro 13, cada questão valia 2 pontos. O jogo, por si só, já daria condições para responder às questões, mas os alunos poderiam consultar o seu material com as anotações feitas em sala de aula, caso surgissem dúvidas. O quadro 14 nos mostra que os alunos, qualquer que seja a

turma, se saíram bem nas respostas atribuídas às perguntas, o que nos leva a concluir que o jogo ajudou a entender alguns conceitos estudados no Modelo Padrão. Porém, algumas respostas atribuídas pelos alunos estão bem fora das respostas previstas, o que nos mostra claramente que outros materiais foram consultados, como, por exemplo, o livro didático. Abaixo seguem algumas respostas que estão bem fora do esperado e que não estavam no caderno:

- 1ª) O fóton é produzido quando ocorre a transição de um elétron em dois níveis de energia diferentes;
- 2ª) Fótons são feixes de luz;
- 3ª) É a extensão da matéria;
- 4ª) O fóton surge quando o elétron salta de um nível mais energético para um nível menos energético;
- 5ª) Fóton é a menor porção de radiação eletromagnética;
- 6ª) O fóton é um bóson, então, ele tem spin inteiro.

O jogo não fornece condições para aos alunos darem esse tipo de resposta, e as anotações feitas no quadro-negro não tratam o assunto com essa abordagem técnica.



01	Quem desenvolveu o jogo?
	Professor do Instituto de Física Teórica (IFT) da Unesp, Sérgio Ferraz Novaes e sua Equipe. O significado da sigla SPRACE é "São Paulo Research and Analysis Center"
02	Quando o jogo foi criado?
	A primeira versão foi criada em 2003.
	A segunda versão foi criada em 2010.
03	Qual o objetivo do jogo?
	Estudar e compreender a Física de Partículas. Entender o que são partículas elementares.
04	Quais são as missões?
	O jogo tem quatro missões
	1ª Missão de nível tutorial
	2ª Capitular léptons
	3ª Capitular prótons e nêutrons
	4ª Montar núcleos atômicos
05	Quais as suas principais dificuldades durante o jogo?
	Transportar algumas partículas, porque algumas eram muito pesadas;
	Não entendi muito bem as missões;
	Levar as partículas até à base. Não tinha muita habilidade;
	A maior dificuldade era a mira, ou seja, acertar o alvo;
	Localizar as partículas, às vezes encontrávamos partículas diferentes das que eram pedidas;
	A maior dificuldade foi formar mésons;
	A maior dificuldade foi com o mouse.
06	Outras considerações
	Não consegui baixar o jogo.

**Quadro 15.**

Atividade 7: Acessar o site <https://www.sprace.org.br/sprace-games/spreace-game-v2-pt>, fazer leitura do texto e participar de algumas partidas do jogo virtual. Na sequência, fazer um relatório respondendo às perguntas acima.

Turma	3A Hosp.		3B Hosp.		3C Hosp.		3A SVP		Total Absoluto		Ttotal Relat. (%)		
Nº AF	25		20		25		26		96		100		
Nº ARA	24		7		14		22		67		100		
Nº ARA (%)	96,0		35,0		56,0		85,0		69,7		.....		
	R	NR	R	NR	R	NR	R	NR	R	NR	R	NR	
QUESTÃO	1	24	0	7	0	14	0	22	0	67	0	100,0	0,0
	2	24	0	7	0	14	0	22	0	67	0	100,0	0,0
	3	24	0	7	0	14	0	22	0	67	0	100,0	0,0
	4	18	6	4	3	8	6	20	2	50	17	74,6	25,4
	5	22	2	6	1	12	2	20	2	60	7	89,6	10,4
	6	1	23	0	7	0	14	1	21	2	65	3,0	97,0

**Quadro 16.**

Tabulação do número de alunos que realizaram a atividade 7.

Legenda: Nº AF=Número de Alunos Frequentes; Nº ARA=Número de Alunos que Realizaram a Atividade; Nº ARA(%)=Número de Alunos que Realizaram a Atividade em Percentual; Hops=Hospedagem e SVP=Serviços Públicos.

O quadro 16 nos mostra que os alunos não tiveram dificuldades em responder às questões que lhes foram apresentadas. Porém, a questão 6 merece um destaque, pois ela foi apresentada como um espaço aberto, ou seja, foi a oportunidade que os alunos tiveram para apresentar as suas ideias e/ou comentários - no entanto, 97% dos alunos não aproveitaram esse espaço, o que nos leva a concluir que os alunos ainda necessitam de questões que possam norteá-los na realização das atividades. Dois outros resultados importantes que devem ser comentados nesse quadro são relativos às turmas de Hospedagem 3B e 3C. Nessas duas turmas, apenas 35% e 56%, respectivamente, fizeram a atividade, o que demonstrou um descompromisso com o trabalho realizado fora da unidade escolar.

No quadro 15 a questão que merece destaque é a de número 5, a qual pede para os alunos descreverem as maiores dificuldades apresentadas durante as partidas. As respostas apresentadas não correspondem à totalidade das respostas dos alunos, mas sim às mais comuns. Entre as suas respostas, estavam relacionadas às habilidades que eles não tinham com o *mouse*/teclado para desenvolver as funções da espaçonave. Isso veio de encontro ao esperado, pois os alunos desta geração têm muita familiaridade com os jogos digitais, os quais exigem manuseios de teclados ou *mouses* com muita frequência.

Quanto ao desenvolvimento do relatório, é importante citar que dos 67 alunos que o fizeram, apenas 4 citaram as fontes de onde obtiveram as informações. Destes, nenhum citou a data de quando acessaram os sites. Os relatórios não tinham sumários e dificilmente estavam paginados. Estes resultados e comentários nos levam a concluir que esse tipo de atividade deve ser trabalhado mais com os alunos.

Turmas: Hosp (3A, 3B e 3C) e SVP (3A)					
Número de Alunos (86)					
Bárion			Méson		
Nome	Partículas	NV	Nome	Partícula/ AntiPart.	NV
Próton	uud	49	Píon	$u\bar{d}$	38
Nêutron	udd	20	Káon	$u\bar{s}$	22
Lambda <sup>0</sup>	uds	6	Phi	$s\bar{s}$	10
Delta <sup>-</sup>	ddd	4	Upsilon	$b\bar{b}$	2
Sigma <sup>+</sup>	uus	1			
Outras Considerações			Outras Considerações		
Erros		NV	Erros		NV
Próton	udc	1	Delta	$u\bar{s}$	7
			Delta	$r\bar{r}$	2
			Píon	$u\bar{b}$	1
Em Branco		NV	Em Branco		NV
		5			4

**Quadro 17.**

Tabulação dos nomes das partículas formadas pelos alunos na atividade 8: “Mão na Massa”. As regras para o desenvolvimento desta atividade encontram-se na dissertação.

Legenda: **NV**=Número de **V**ezes que apareceu o nome dos modelos dos núcleos atômicos construídos pelos alunos.

O quadro 17 nos mostra que a atividade 8 foi extremamente produtiva. Os alunos desenvolveram-na conforme as orientações, ficando livres para construir os modelos das partículas que mais lhes interessassem. O número de modelos de bárions construídos errados ficou próximo de 1%, e de mésons próximo de 11,5%. Vale ressaltar, ainda, que dos 10 mésons errados, 7 estavam construídos corretamente, o que os alunos erraram foi o nome da partícula, ou seja, construíram mésons, porém, com o nome de um dos bárions já conhecidos (deveriam ter chamado a partícula  $u\bar{s}$  de Káon e não de Delta). Uma observação importante a fazer aqui é com relação ao “Em Branco”, o qual chegou a 10%: alguns alunos construíram os modelos, mas perceberam que haviam cometido erros na construção; assim, tentaram refazer a atividade, mas o tempo restante não foi o suficiente, pois só tinham 50 minutos para receber as orientações, separar o

material, construir os modelos e limpar a sala de aula. O quadro nos mostra que a maioria das partículas construídas foi prótons, nêutrons e pión, o que já era esperado, pois as duas primeiras são as mais conhecidas deles, portanto sentiram confiança em construí-las, e a terceira surgiu, talvez, devido ao número de vezes que foi comentado em sala de aula que, para a descoberta da partícula pión, houve a participação de um físico brasileiro: Cesar Lattes (1924-2005).

ORÇAMENTO			
Quant.	Descrição	Valor Unit. (R\$)	Valor Total (R\$)
5	Caneta permanente	4,50	22,50
1	Fita dupla face	2,20	2,20
20	Cola instantânea	1,40	27,20
6	Frascos (pote) de plásticos	3,99	23,94
144	Esferas acrílicas (6cm diâmetro)	0,54	77,78
6	Poás. Cada unidade contém 500 peças.	25,00	150,00
50	Espiral (1,5cm de diâmetro)	0,10	5,00
<b>Total</b>			<b>308,62</b>

**Quadro 18.**

Informação dos materiais utilizados, das quantidades e dos valores. As canetas permanentes e as poás (pedrarias) são suficientes para trabalhar 5 anos ou mais. Os potes são permanentes.

Conforme citado, nesta atividade os alunos construiriam, também, um “núcleo atômico” com os modelos dos prótons e nêutrons construídos em sala de aula. Como foram muitos prótons e nêutrons construídos, selecionamos alguns para a construção proposta. As figuras 32a e 32b mostram, em ângulos diferentes, um dos modelos construídos pelos alunos:



**Figura 32a**



**Figura 32b**

Figuras 32a e 32b: Representação, em ângulos diferentes, de um modelo de um núcleo atômico com sete prótons e seis nêutrons.

Com essa estrutura do núcleo atômico, foi possível trabalhar os conceitos de número de massa ( $A$ ), número de nêutron ( $N$ ) e de número de prótons ( $Z$ ), conforme visto em Química:  $A = Z + N$ . Na sequência, os alunos associaram o modelo ao elemento químico nitrogênio  ${}^{13}_{7}N$ . Porém, foi necessário observar que o modelo não era o de um átomo neutro, pois estavam faltando os elétrons nas camadas eletrônicas. Assim, associamos o modelo construído a um íon, ou seja, um átomo com o número de elétrons alterado.

## BLOCO I

01	Explique, com as suas palavras, o significado de cada um dos termos abaixo e dê um exemplo:	NV
	Hipótese (1H)	
a	É um conjunto de afirmações que podem ser verdadeiras ou falsas;	06
b	É um conjunto de argumentos, mas que não foram comprovados;	03
c	Uma ideia não verdadeira sobre um determinado assunto	04
	Teoria (1T)	
d	São afirmações comprovadas cientificamente;	10
e	Algo comprovado, mas que pode ser refutado;	03
f	Uma demonstração real e comprovada;	01
g	É um conjunto mais amplo de conhecimento	01
02	Descreva o que você entende por modelo.	
a	Modelo é uma representação física ou matemática;	02
b	É algo igual ou próximo do que se quer representar;	05
c	É algo abstrato representado de forma concreta;	02
d	Modelo serve para representar melhor uma teoria (modelo atômico);	01
e	Representação de uma ideia;	03
f	São exemplos que devem ser seguidos	02
03	Você conhece algum modelo científico que não seja o modelo atômico? Se conhecer, explique o que ele representa.	
a	Cadeia de DNA;	07
b	Sistema Solar;	05
c	Modelos de quarks;	06
d	O Modelo Padrão.	03
04	Cite os nomes dos modelos atômicos que você conhece e descreva as diferenças entre dois deles.	
a	Modelo de Dalton;	15
b	Thomson;	08
c	Modelo da esfera rígida;	07
d	Rutherford;	06
e	Bohr.	11
05	Como podemos concluir que um átomo é neutro se ele é constituído por cargas elétricas?	
a	Porque as cargas de sinais opostos estão na mesma quantidade;	20
b	Não sei ou porque se repelem.	05

### Quadro 19.

Atividade onze (A11) - Avaliação mensal: Aplicação novamente da atividade 1 após o desenvolvimento do bloco I do produto educacional e algumas respostas atribuídas pelos alunos.

Legenda: **NV**=Número de Vezes que respostas iguais ou semelhantes apareceram.

No quadro 19 estão as mesmas questões do quadro 4 da atividade 1. Porém, agora as respostas não estão sendo avaliadas como conhecimento prévio, mas, sim, como conhecimento adquirido após a aplicação das atividades do bloco I do produto. É possível observar com certa facilidade que as respostas dos alunos estão mais coerentes, utilizando-se algumas vezes de palavras relacionadas nos meios científicos, tais como: conjuntos, refutadas, comprovações científicas, representações físicas e matemáticas, entre outras. Duas outras questões

importantes para serem destacadas são as de números três e quatro. No primeiro caso, os alunos fizeram referências a modelos relacionados à área da Física, situação bem diferente do ocorrido no questionário de levantamento prévio, pois nele as citações foram feitas com abordagens mais relacionadas à biologia. No que se refere à questão 4, os alunos entenderam bem a diferença entre átomos e partículas subatômicas. Neste novo questionário, os alunos citaram os nomes dos modelos atômicos e, em alguns casos, citaram as diferenças entre eles, enquanto que, no questionário de levantamento prévio, os alunos citaram prótons, elétrons, cátions e ânions como modelos atômicos.

Turma	3A Hosp		3B Hosp		3C Hosp		3A SVP		Total Absoluto		Total Relativo (%)		
	Nº de Alunos	25	16	17	24	82	100						
		R	NR	R	NR	R	NR	R	NR	R	NR	R	NR
QUESTÃO	1H	25	0	16	0	17	0	24	0	82	0	100,0	0,0
	1T	25	0	15	1	16	1	24	0	80	2	97,6	2,4
	2	23	2	14	2	16	1	24	0	77	5	93,9	6,1
	3	12	13	12	4	6	11	6	18	36	46	43,9	56,1
	4	13	12	11	5	12	5	15	9	51	31	62,2	37,8
	5	20	5	13	3	13	4	20	4	66	16	80,5	19,5

**Quadro 20.**

Tabulação das questões respondidas na atividade 11: avaliação mensal.

Legenda: R=Número de alunos que Responderam à questão; NR=Número de alunos que Não Responderam à questão; 1H=Hipótese; 1T=Teoria; Hosp=Hospedagem; SVP=Serviços Públicos.

O quadro 20 representa a tabulação da avaliação mensal que contém as mesmas questões da atividade 1, porém respondidas após a aplicação do produto, enquanto que o quadro 5 representa a tabulação da atividade 1, mas utilizada como levantamento prévio. Para fazermos as comparações entre as duas situações e facilitar o entendimento dos resultados, analisaremos apenas os resultados relativos. Em todas as questões, de 1 a 5, vemos um crescimento no número de questões respondidas, podendo destacar, principalmente, as questões de números 3, 4 e 5, dentre as quais houve um crescimento, respectivamente de 46%, 170% e 27%. Porém, mais importante do que o aumento no número de questões respondidas foram a qualidade das respostas dos alunos: conforme já citado, as respostas fornecidas após a aplicação do produto foram mais coerentes, mais significativas e

foram respondidas com o uso de palavras científicas por parte dos estudantes, o que é esperado de alunos de terceiros anos do ensino médio. Com esses resultados, vemos que o produto contribuiu para a compreensão dos tópicos abordados. Assim, constatamos que as respostas dos alunos tiveram uma evolução, pois, além de as respostas estarem focadas em assuntos relacionados à Física, elas estão, também, corretas, o que difere muito do levantamento prévio.



## BLOCO II

01	Explique, com as suas palavras, a diferença entre Física Clássica e Física Moderna e Contemporânea.	NV
	Física Clássica	
a	Estuda o átomo;	05
b	Estuda coisas descobertas antes do século XIX, mais ou menos;	12
c	Estuda coisas antigas, porém, não menos importantes.	04
	Física Moderna e Contemporânea	
c	Aborda os assuntos do nosso dia-a-dia;	08
d	Tem a ver com altas energias e grandes velocidades;	06
e	Estuda coisas muito pequenas, ou seja, elementares;	04
02	Cite abaixo tópicos/assuntos relacionados à:	
	Física Clássica (FC)	
a	Mecânica;	12
b	Óptica;	05
c	Termologia;	09
	Física Moderna e Contemporânea (FMC)	
e	Relatividade;	06
f	Modelo Padrão;	15
g	Subpartículas e partículas;	09
h	Física Quântica;	04
i	Nanotecnologia;	09
03	O que são partículas elementares? Dê exemplos.	
a	Partículas sem estrutura;	05
b	São Quarks;	19
c	São os léptons;	06
d	São partículas indivisíveis;	09
04	O que são partículas subatômicas? Dê exemplos.	
a	São partículas menores que a estrutura atômica;	10
b	São as menores partículas existentes;	03
c	Partículas menos importante do que os átomos;	02
e	São partículas que não têm cargas elétricas;	01
05	Descreva o significado de cada item abaixo:	
	Física de Altas Energias (FAE)	
a	Estuda as interações entre as partículas;	12
b	Estuda partículas que liberam altas energias, como nas bombas;	03
	Trabalham com partículas que liberam energia	07
	Acelerador de Partículas (AP)	
c	Dispositivo físico que aumenta a velocidade das partículas;	17
d	Aparelho que faz as partículas emitirem radiação;	06
e	Aparelho onde as partículas subatômicas se chocam;	06

### Quadro 21.

Atividade dez (A12) - Avaliação trimestral: Aplicação novamente da atividade 4 após o desenvolvimento do produto educacional e algumas respostas dadas pelos alunos.

Legenda: NV= Número de Vezes com que respostas iguais ou parecidas ocorreram.

No quadro 21 estão as mesmas questões do quadro 10 da atividade 4. Porém, agora as respostas não estão sendo avaliadas como conhecimento prévio, mas, sim, como conhecimento adquirido após a aplicação do produto. As respostas dos alunos, quando comparadas com as respostas do questionário do conhecimento

prévio, tiveram uma evolução significativa, pois agora, além de responderem com palavras adotadas nos meios acadêmicos e/ou científicos, as suas respostas foram mais convergentes, ou seja, estavam sempre relacionadas aos assuntos abordados em sala de aula.

A seguir, apresentamos a tabulação e análise das questões da avaliação mensal e comparação com a atividade quatro, sendo esta adotada como levantamento prévio sobre a Física Moderna e Contemporânea (FMC).

Turma		3A Hosp		3B Hosp		3C Hosp		3A SVP		Total Abs.		Total Relativ. (%)	
Nº de Alunos		25		16		17		24		82		100	
		R	NR	R	NR	R	NR	R	NR	R	NR	R	NR
QUESTÃO	1	15	10	10	6	13	4	17	7	55	27	65,5	34,5
	2FC	19	6	16	0	13	4	21	3	71	11	84,5	15,5
	2FMC	19	6	11	5	12	5	20	4	62	20	73,8	26,2
	3	14	11	5	11	9	8	18	6	46	36	54,8	45,2
	4	10	15	5	11	3	14	17	7	35	47	41,7	58,3
	5FAE	7	18	3	13	3	14	10	14	23	59	27,4	72,6
	5AP	13	12	11	5	11	6	17	7	52	30	61,9	38,1

**Quadro 22.**

Tabulação das questões respondidas na atividade 12: avaliação trimestral.

Legenda: R=Número de alunos que Responderam à questão; NR=Número de alunos que Não Responderam à questão; 2FC=questão dois de Física Clássica; 2FMC=questão dois Física Moderna e Contemporânea.

O quadro 22 representa a tabulação da avaliação trimestral que contém as mesmas questões da atividade 4, porém, respondidas após a aplicação do produto, enquanto que o quadro 11 representa a tabulação da atividade 4, mas utilizada como levantamento prévio, ou seja, antes da aplicação do produto. Para fazermos as comparações entre as duas situações, antes e após a aplicação do produto, e facilitar o entendimento dos resultados, analisaremos apenas os resultados relativos. De forma geral, podemos ver que em todas as questões, de 1 a 5, vemos um crescimento no número de questões respondidas, o que os leva a concluir que as aulas contribuíram para o aprendizado dos alunos. Com relação à questão 1, podemos destacar que os alunos compreenderam que a Física Moderna surgiu por volta dos séculos XIX/XX ou que pelo menos há diferença entre as Físicas Clássica e Moderna, o que não foi possível constatar no questionário de levantamento prévio.

Essa análise é confirmada na questão 2, pois, nela, os alunos conseguiram diferenciar, com algumas restrições, os conteúdos abordados pela Física Clássica e pela Física Moderna. Na questão 3, houve um aumento de quase 125% no número de questões respondidas, e, mais importante do que o aumento no número de questões respondidas, é o fato de as questões estarem respondidas corretamente ou bem próximo das respostas esperadas, geralmente fazendo relação ao estudo do Modelo Padrão. Na questão de número 4, houve um crescimento significativo, porém, menos expressivo quando comparado com a questão anterior, mas na maioria dos casos os alunos diferenciaram bem o significado de partículas elementares de partículas subatômicas. A questão de número 5, a qual é dividida em duas partes, faz referência à Física de Altas Energias (FAE) e Aceleradores de Partículas (AP). Os alunos responderam a esta questão com maior clareza quando comparado com o levantamento prévio, o que já era esperado. Vale ressaltar aqui que na segunda parte da questão – Aceleradores de Partículas - houve um crescimento de quase 113% no número de respostas e sempre dentro do contexto estudado, o que nos dá resultados satisfatórios.

TURMAS: Hospedagem (3 <sup>os</sup> anos A, B e C) e Serviços Públicos (3 <sup>o</sup> A)												
NÚMERO DE ALUNOS: 81												
MÉTODO/METODOLOGIA	NOTA											
	RESULTADOS ABSOLUTOS											
<b>SALA DE AULA</b>	<b>0</b>	<b>01</b>	<b>02</b>	<b>03</b>	<b>04</b>	<b>05</b>	<b>06</b>	<b>07</b>	<b>08</b>	<b>09</b>	<b>10</b>	<b>NP</b>
Aulas Expositivas	0	1	1	0	0	0	4	8	17	17	33	0
Leitura de Textos	0	1	0	0	2	3	5	12	14	20	16	8
Mapa Conceitual	3	2	0	0	1	3	13	5	12	4	10	28
<b>VISITAS TÉCNICAS</b>	<b>0</b>	<b>01</b>	<b>02</b>	<b>03</b>	<b>04</b>	<b>05</b>	<b>06</b>	<b>07</b>	<b>08</b>	<b>09</b>	<b>10</b>	<b>NP</b>
USP (Visita Física)	0	0	0	0	3	0	0	2	2	8	12	54
CERN (Visita Virtual)	0	0	0	0	0	0	3	9	12	17	24	16
<b>VÍDEOS</b>	<b>0</b>	<b>01</b>	<b>02</b>	<b>03</b>	<b>04</b>	<b>05</b>	<b>06</b>	<b>07</b>	<b>08</b>	<b>09</b>	<b>10</b>	<b>NP</b>
O Disc. C. das Part. Elementares.	0	0	0	1	3	2	7	11	20	8	8	21
Quem Você Pensa que é?	0	1	0	0	4	3	4	9	22	13	21	4
Visões do Futuro: nanotecnologia	0	0	0	0	0	1	7	6	21	19	22	5
How does protontherapy work?	0	0	0	0	1	2	4	7	11	23	29	4
Para que Serv. Ac. Partículas? (LNLS: UVX e o SÍRIUS).	0	0	0	1	1	1	3	8	14	20	30	3
<b>JOGOS/ATIVIDADE PRÁTICA</b>	<b>0</b>	<b>01</b>	<b>02</b>	<b>03</b>	<b>04</b>	<b>05</b>	<b>06</b>	<b>07</b>	<b>08</b>	<b>09</b>	<b>10</b>	<b>NP</b>
SPRACE (jogo virtual)	1	0	0	0	2	3	8	9	9	12	11	26
Cartas – Bárions e Léptons	0	0	0	0	1	0	3	6	8	11	52	0
“Mão na Massa”	0	0	0	0	0	0	0	0	6	15	60	0
<b>INVESTIGAÇÃO</b>	<b>0</b>	<b>01</b>	<b>02</b>	<b>03</b>	<b>04</b>	<b>05</b>	<b>06</b>	<b>07</b>	<b>08</b>	<b>09</b>	<b>10</b>	<b>NP</b>
As Pegadas	1	0	0	1	1	2	7	6	8	11	16	28
Espaço Sideral	1	0	1	0	0	1	5	5	11	17	16	24

**Quadro 23.**

Tabulação das respostas dos alunos referente ao questionário avaliativo. O quadro representa a nota atribuída pelo aluno ao método/metodologia que mais contribuiu para a sua aprendizagem. Os resultados estão representados em valores absolutos.

TURMAS: Hospedagem (3ºs anos A, B e C) e Serviços Públicos (3º A)												
NÚMERO DE ALUNOS: 81												
MÉTODO/METODOLOGIA	NOTA											
	RESULTADOS RELATIVOS (%)											
SALA DE AULA	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	NP
Aulas Expositivas	0	1	1	0	0	0	5	10	21	21	41	0
Leitura de Textos	0	1	0	0	2	4	6	15	17	25	20	9,9
Mapa Conceitual	4	2	0	0	1	4	16	6	15	5	12	35
VISITAS TÉCNICAS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	NP
USP (Visita Física)	0	0	0	0	4	0	0	2	2,5	10	15	67
CERN (Visita Virtual)	0	0	0	0	0	0	4	11	15	21	30	20
VÍDEOS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	NP
O Disc C. das Part. Elementares.	0	0	0	1	4	2	9	14	25	10	9,9	26
Quem Você Pensa que é?	0	1	0	0	5	4	5	11	27	16	26	4,9
Visões do Futuro: nanotecnologia.	0	0	0	0	0	1	9	7	26	23	27	6,2
How does protontherapy work?	0	0	0	0	1	2	5	9	14	28	36	4,9
Para que Serv. Ac. Partículas? (LNLS: UVX e o SÍRIUS).	0	0	0	1	1	1	4	10	17	25	37	3,7
JOGOS/ATIVIDADE PRÁTICA	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	NP
SPRACE (jogo virtual)	1	0	0	0	2	4	10	11	11	15	14	32
Cartas – Bárions e Léptons	0	0	0	0	1	0	4	7	9,9	14	64	0
“Mão na Massa”	0	0	0	0	0	0	0	0	8	18	74	0
INVESTIGAÇÃO CIENTÍFICA	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	NP
As Pegadas	1	0	0	1	1	2	9	7	9,9	14	20	35
Espaço Sideral	1	0	1	0	0	1	6	6	14	21	20	30

**Quadro 24.**

Tabulação das respostas dos alunos referente ao questionário avaliativo. O quadro representa a nota atribuída pelo aluno ao método/metodologia que mais contribuiu para a sua aprendizagem. Os resultados estão representados em valores relativos.

O questionário avaliativo foi aplicado no último dia de aula da aplicação do produto educacional. Ele tem por objetivo fazer um levantamento dos métodos e/ou metodologias que mais contribuíram para o aprendizado dos alunos. Desta forma, será possível fazer as adequações necessárias para que esse produto possa ser melhor desenvolvido nos próximos anos. Para melhor compreensão das análises dos resultados, abordaremos sempre os resultados do quadro 24, ou seja, os resultados relativos.

As aulas expositivas apresentam um percentual alto na contribuição da aprendizagem, o que é satisfatório, pois é comum que mais da metade das aulas

dos professores sejam por meio de aulas expositivas, assim, os alunos acabam se adaptando a esta forma de aprendizagem. Os resultados obtidos na aprendizagem por meio da leitura de texto estão concentrados na faixa de 15% a 25%, o que já era esperado, pois esta forma de aprendizagem é bem desenvolvida nas aulas de língua portuguesa e literatura. Na construção de mapa conceitual, houve um percentual relativamente alto no número de alunos que responderam Não Participei (NP). Esse resultado reflete o fato de o aluno não ter a obrigatoriedade de entregar essa atividade, ela foi proposta apenas para que eles pudessem fazer o fechamento dos blocos I e II. Analisando os mapas conceituais criados pelos alunos, conforme anexos II e III, é possível constatar que eles compreenderam a construção dos mapas conceituais, bem como os assuntos de Física estudados em sala de aula.

Na visita técnica feita ao Instituto de Física da USP (IFUSP), 67% dos alunos Não Participaram (NP). Essa justificativa se dá pelo fato de o próprio instituto ter espaço apenas para trinta alunos, ou seja, não foi possível levar todos que estavam com interesse em participar da visitação, mas apenas os trinta primeiros que efetuaram o pagamento para o custeio do ônibus. Na visita virtual, em que o vídeo abordou a parte interna do CERN – estrutura, construção, funcionamento – quase 80% dos alunos atribuíram nota entre sete e dez, o que nos leva mais uma vez à confirmação de que, entre as formas de aprendizagem, a visual é a que mais chama a atenção dos alunos. No vídeo *O Discreto Charme das Partículas Elementares* houve um percentual alto do número de alunos que Não Participaram. Esse resultado se justifica pelo mesmo motivo que citamos na construção dos Mapas Conceituais, ou seja, não havia a obrigatoriedade de os alunos desenvolverem e entregarem atividades ou relatórios. O vídeo foi apenas uma indicação para os alunos, assim não foi atribuída nota à esta atividade. O vídeo *Quem Você Pensa que É?* tem duração de apenas dez minutos e foi desenvolvido em sala de aula. Pelas notas atribuídas pelos alunos, o vídeo contribuiu fortemente para a aprendizagem, pois 80% dos alunos atribuíram nota de sete a dez. O vídeo faz uma abordagem sobre ordem de grandeza levando em consideração a notação científica, os prefixos, bem como os múltiplos e submúltiplos. Os outros três vídeos – *Visões do Futuro: a nanotecnologia*, *Como Funciona a Próton Terapia* e *Para que Serve um Acelerador de Partículas* – foram avaliados, considerando a nota de sete a dez, praticamente, como a mesma contribuição que o primeiro vídeo, conforme já citado,

ou seja, com uma eficiência em torno de 80%. Isso nos leva mais uma vez à confirmação de que a forma de aprendizagem visual é a que mais contribui para a aprendizagem do aluno.

Quanto aos jogos, 64% dos alunos atribuíram nota dez ao jogo de cartas como a forma que mais contribuiu para a sua aprendizagem. Esta atividade foi desenvolvida em grupo de três alunos, melhor se saiu o aluno que memorizou com mais facilidade os nomes das partículas elementares, a formação dos bósons e as partículas estáveis. Quanto ao SPRACE, muitos alunos não participaram desse jogo. Esse jogo não foi praticado pelos alunos em sala de aula, mas sim em suas residências. Em grupo, os alunos deveriam fazer um relatório sobre o jogo, mas não havia obrigatoriedade de entregá-lo, assim não foi atribuída nota a esta atividade, ou seja, foi adotado o mesmo procedimento da atividade cinco. A atividade prática – “Mão na Massa” – foi a que mais despertou interesse entre os alunos, em todos os sentidos: formação de grupos, montagem dos modelos, estudo e compreensão do núcleo atômico, associação do núcleo atômico ao átomo formado, etc. A escolha dessa atividade como a que mais contribuiu para o aprendizado do aluno não poderia ser diferente, quase 75% dos alunos escolheram essa atividade como fundamental para o estudo e a compreensão do Modelo Padrão. Tão importante quanto aprender os nomes das partículas subatômicas, das partículas elementares – interação e constituição da matéria - foi ver os alunos associando o modelo construído aos modelos atômicos estudados em Química. Quanto às investigações científicas, infelizmente não será possível mensurar, pois, conforme podemos ver no quadro 24, muitos alunos não participaram dessa atividade. A justificativa dá-se pelo fato de que, na ocasião do desenvolvimento dessa atividade, os alunos haviam acabado de fazer as suas provas trimestrais (avaliações obrigatórias realizadas no Instituto Técnico de Barueri) e, geralmente, após essas avaliações obrigatórias, os alunos não frequentam as aulas com regularidade até o fechamento do trimestre.

## **CAPÍTULO 6: CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÃO**

Após a análise dos resultados obtidos nas atividades desenvolvidas na aplicação deste PPE e das respostas fornecidas pelos alunos no questionário avaliativo, diversas questões puderam ser levantadas, entre elas, citamos: a importância do conhecimento prévio do aluno para a introdução de um novo conteúdo, a necessidade de trabalhar conjuntamente com professores de outras disciplinas, o trimestre adequado para a introdução do estudo do Modelo Padrão, as metodologias pertinentes adotadas no ensino médio e algumas dificuldades apresentadas durante o trimestre em que o produto foi aplicado. Essas questões nos ajudarão a escrever as considerações finais desta dissertação.

Na fundamentação teórica desta dissertação, adotamos a teoria defendida por David Ausubel – Aprendizagem Significativa –, em que ele considera o conhecimento prévio do aluno como a parte essencial para a aprendizagem de um novo conteúdo. Assim, para que pudéssemos estudar o Modelo Padrão, era necessário que os alunos conhecessem a estrutura atômica e soubessem diferenciar uma partícula subatômica de uma partícula elementar. Com o levantamento prévio que fizemos, constatamos que os conhecimentos dos alunos estavam muito aquém do esperado de um aluno do terceiro ano do ensino médio para a introdução ao estudo do Modelo Padrão. Outra dificuldade encontrada nos alunos estava relacionada à matemática, mais especificamente relacionada à notação científica: representação, multiplicação, divisão e conhecimento dos prefixos, bem como de seus múltiplos e submúltiplos. O conhecimento desse assunto é muito importante, pois em algumas atividades, várias referências são feitas em KeV, MeV, GeV e TeV, entre outros. Ainda no que se refere às dificuldades, agora relacionadas à Física, vimos que os alunos pouco conheciam sobre atração e repulsão de cargas elétricas. Assim, para eles é indiferente os prótons estarem unidos ou não no núcleo atômico. Para eles, qualquer que fosse a configuração, tudo foi construído do jeito que os cientistas quiseram, e não há de forma alguma uma explicação científica para tal modelo. Desta forma, para contornar essas dificuldades apresentadas, seria melhor que o estudo do Modelo Padrão fosse realizado no terceiro trimestre do ano letivo e não no primeiro, conforme foi desenvolvido. Assim, nos primeiros trimestres, os professores de



Química e Matemática poderiam trabalhar, respectivamente, um pouco os modelos atômicos e as operações com notação científica.

Outro ponto importante descrito na dissertação está relacionado às duas vertentes sobre como ensinar FMC no ensino médio. A aplicação do PPE nos mostrou que a vertente defendida por Gil e Solbes (1993 apud Ostermann, 1999), é predominante. Nessa vertente, os autores citam que a FMC deve ser ensinada estudando os limites da FC, até mesmo para que os alunos possam perceber que a FMC surgiu da necessidade de explicar fenômenos que a FC não conseguia explicar. Em algumas situações, foi impossível falar sobre o SPIN sem fazer associação ao movimento de rotação do elétron, atribuindo valor  $+1/2$  ou  $-1/2$  dependendo do sentido de rotação do elétron. Até mesmo para nós esse conceito é difícil, o que se torna ainda pior quando falamos de SPIN inteiro, o que já não é mais possível associar ao movimento de rotação dos elétrons. Outra dificuldade encontrada foi quando fizemos referências às cargas de cor. Praticamente, todos os alunos associavam essas cores às cores artísticas e não a números quânticos, conforme deveria ser. Assim, em alguns casos, as referências feitas à FC tornaram-se um processo natural. Na abordagem feita sobre o Modelo Atômico de Bohr, os alunos não aceitaram com naturalidade o fato de os elétrons não ocuparem qualquer posição na eletrosfera, mas sim posições pré-determinadas. Neste caso, para melhor compreensão, foi necessário fazer uma associação entre posições contínuas e conjunto dos números reais e posição discreta com o conjunto dos números naturais. Essa associação ajudou em muito a compreensão da quantização, ou pelo menos ajudou na aceitação da quantização. Foi necessário frisar para os alunos que a interpretação de processos quânticos não surgiu ao acaso, mas sim da necessidade de explicar fenômenos que até então não eram explicados pela FC, conforme já citamos, e que esse processo não ocorre de forma natural.

No desenvolvimento das atividades, as contribuições que elas trouxeram foram diversificadas, e algumas merecem destaque: a-) O Jogo de Cartas ajudou os alunos a conhecer os nomes de alguns léptons, hádrons, partículas estáveis, antipartículas e diversas partículas elementares. É fato que memorizar nomes não é o nosso objetivo, mas muitas vezes a memorização pode servir de subsunçor para o processo de uma aprendizagem significativa, conforme defende David Ausubel; b-) a atividade “Mão na Massa” trouxe uma contribuição importantíssima, pois os

alunos conseguiram compreender a estrutura atômica com as principais partículas subatômicas e conhecer as principais partículas elementares que constituem os prótons e os nêutrons. Outra contribuição fundamental dessa atividade foi a compreensão de que a estabilidade do núcleo atômico está intrinsecamente relacionada com a proporção entre os números de prótons e os números de nêutrons. Por meio do modelo construído, foi possível mostrar que se o número de nêutrons for muito maior com relação ao número de prótons, o núcleo se tornará instável.

Com as atividades sobre investigação científica, sem muitas dificuldades os alunos conseguiram perceber a necessidade de formular hipóteses e testá-las. As suas respostas apresentadas nas atividades certificam que houve compreensão que, em relação ao conjunto de hipóteses confirmadas, são construídas as teorias que dão suporte às construções de modelos.

Os vídeos foram fundamentais para que os alunos associassem a FMC às tecnologias existentes. Passaram, também, a compreender que os aceleradores de partículas não estão associados somente ao estudo das partículas ou ao estudo da origem do Universo, mas também às tecnologias de ponta, as quais contribuem para diversos setores da sociedade, tais como emprego, economia, saúde, educação, segurança, comunicação, entre outros.

No contexto geral, as respostas dos alunos nos transmitiram que eles compreenderam a importância de estudar a FMC e as suas tecnologias. Em sala de aula agora é comum ouvi-los falar em quarks, bósons de Higgs e aceleradores de partículas, palavras que até pouco tempo atrás estavam bem distantes para eles. Acreditamos que com esse projeto alcançamos os nossos principais objetivos: familiarizar os alunos com tecnologias modernas e contemporâneas, compreender os processos científicos – formulando hipóteses, testando-as e, na prática, contextualizando o conteúdo ao construir modelo - e fazê-los acreditar que as verbas aplicadas em ciências e tecnologias, em especial nos aceleradores de partículas, não são gastos, mas sim investimento.

## APÊNDICE I

### Sequência Didática

#### BLOCO I

AULA	DESCRIÇÃO	ATIVIDADE
1	Levantamento dos conhecimentos prévios sobre a estrutura da matéria e formação dos grupos.	●Atividade 1: Questões para auxiliar no levantamento prévio.
2	Aula expositiva sobre os modelos atômicos. Leitura de texto, em grupo, sobre os modelos atômicos.	●Texto de Apoio: textos obtidos em pesquisas realizadas pelos alunos;
3		●Atividade 2: Exercícios sobre hipótese, teoria e modelos atômicos.  ●Construção de Mapa Conceitual.
4	Aula expositiva sobre notação científica: conceitos, representação, multiplicação, divisão e estudo dos prefixos. Exemplos e exercícios em sala de aula.	●Atividade 3: Exercícios sobre representação de números em NC, multiplicação, divisão e uso dos prefixos gregos.
5		●Vídeo: quem você pensa que é?

## BLOCO II

AULA	DESCRIÇÃO	ATIVIDADE
6	Abordagem e levantamento dos conhecimentos prévios sobre a Física Moderna e Contemporânea.	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Atividade 4: Questões para auxiliar no levantamento prévio.</li> </ul>
7	Aula expositiva sobre a Física das Partículas e suas Interações: partículas elementares, antipartículas, léptons, hádrons, bárions, mésons, bósons, férmions, partículas de interação, etc	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Vídeo: o discreto charme das partículas elementares.</li> </ul>
8		<ul style="list-style-type: none"> <li>●Atividade 5: Relatório sobre o vídeo</li> </ul>
9		<ul style="list-style-type: none"> <li>●Jogo de Cartas Bárions e Léptons;</li> </ul>
10		<ul style="list-style-type: none"> <li>●Atividade 6: Responder às questões que estão no quadro do jogo de cartas.</li> </ul>
11		<ul style="list-style-type: none"> <li>● Jogo Virtual SPRACE.</li> </ul>
12		<ul style="list-style-type: none"> <li>●Atividade 7: Relatório sobre o jogo;</li> </ul>
13		<ul style="list-style-type: none"> <li>●Atividade 8: “Mão na Massa”.</li> <li>●Construção de Mapa Conceitual.</li> </ul>
14	Conhecendo um acelerador de partícula. Um vídeo sobre o CERN, outro sobre uma paródia do LHC e uma visita técnica ao Instituto de Física da USP para conhecer o Pélletron e visitar o laboratório de Física Moderna.	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Vídeos: CERN em 10” É preciso um LHC</li> </ul>
15		<ul style="list-style-type: none"> <li>●Visita ao IFUSP</li> </ul>
16	Investigação “científica”. Conhecer um pouco sobre os métodos científicos, ou seja, caminhos adotados pelos cientistas para desenvolverem pesquisas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Atividade 9: “As pegadas”;</li> </ul>
17		<ul style="list-style-type: none"> <li>●Atividade 10: Vídeo Espaço Sideral.</li> </ul>
18	Tecnologias que envolvem Física Moderna e Contemporânea.	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Vídeos                             <ul style="list-style-type: none"> <li>a-) Visões do Futuro – a nanotecnologia;</li> <li>b-) How does protontherapy work?</li> <li>c-) Para que Serve um Acelerador de Partículas?</li> </ul> </li> </ul>
19		<ul style="list-style-type: none"> <li>● Discussão em sala de aula sobre os vídeos</li> </ul>
20	Encerramento: Análise reflexiva sobre os conteúdos abordados. Os alunos fornecerão notas de 1 a 10 em todas as atividades desenvolvidas no trimestre.	Questionário avaliativo.

## APÊNDICE II

### JOGO DE CARTAS: Bárions e Léptons

O baralho é formado por cinquenta e quatro cartas distribuídas da seguinte forma:

Quant.	Carta		Quant.	Carta
01	Tabela de Bárions e Mesons	//	03	Anti Top ( $\bar{t}$ )
01	Tabela de quarks e léptons	//	03	Anti Bottom ( $\bar{b}$ )
01	Tabela de cor e anticor	//	01	Elétron ( $e^-$ )
03	Wild Quark (coringa)	//	01	Anti Elétron ( $e^+$ )
03	Up (u)	//	01	Neutrino do Elétron ( $\nu_e$ )
03	Down (d)	//	01	Anti Neutrino do Elétron ( $\bar{\nu}_e$ )
03	Charm (c)	//	01	Muon ( $\mu$ )
03	Strange (s)	//	01	Anti Muon ( $\mu^+$ )
03	Top (t)	//	01	Neutrino do Muon ( $\nu_\mu$ )
03	Bottom (b)	//	01	Anti Neutrino do Muon ( $\bar{\nu}_\mu$ )
03	Anti Up ( $\bar{u}$ )	//	01	Tau ( $\tau$ )
03	Anti Down ( $\bar{d}$ )	//	01	Anti Tau ( $\tau^+$ )
03	Anti Charm ( $\bar{c}$ )	//	01	Neutrino do Tau ( $\nu_\tau$ )
03	Anti Strange ( $\bar{s}$ )	//	01	Anti Neutrino do Tau ( $\bar{\nu}_\tau$ )

#### Regras do Jogo

a-) as três primeiras cartas descritas na tabela são excluídas do monte do baralho. As duas primeiras ficarão às claras<sup>1</sup> para orientação dos jogadores, e a terceira será excluída do jogo, uma vez que não terá função neste jogo: bárions e léptons;

b-) o jogo é disputado por três jogadores e terá três partidas;

c-) cada jogador recebe quatro cartas às escuras<sup>2</sup>. As demais cartas ficarão para os jogadores comprarem do monte, às escuras;

d-) com as cartas em mãos, vence o jogador que tiver um bárion e um lépton estável (os jogadores devem consultar as tabelas das cartas que estão às claras);

e-) se os jogadores não estiverem com as condições do item “d”, o primeiro jogador que recebeu as cartas deve “comprar” uma carta do monte para se ajustar às condições do item “d”. Se esse jogador não vencer a partida, ele deve descartar uma carta;

f-) o próximo jogador deve “comprar” uma carta do monte ou ficar com a carta descartada pelo jogador anterior. Para vencer a partida, qualquer jogador da mesa pode ficar com a carta descartada;

g-) se dois jogadores vencerem a partida com a carta do descarte, ganha o jogador que formar o bárion de maior energia. Se o empate permanecer, ganha o jogador da vez, imediatamente, posterior ao jogador que descartou a carta;

h-) quando um jogador vencer a partida, os outros dois devem continuar o jogo até aparecer o segundo vencedor. Os vencedores devem anotar na tabela<sup>3</sup> o nome do bárion formado, as partículas que o constitui e a sua energia;

i-) os bárions podem ser constituídos por três quarks, ou dois quarks e um coringa ou por dois quarks e um fóton (neste último caso, não há necessidade de um lépton estável);

j-) o coringa (Q) se encaixa em qualquer dupla para formar o bárion.

k-) o fóton faz o mesmo papel do coringa, mas, neste caso, a energia do bárion é duplicada;

l-) O coringa e o fóton **não** podem ser utilizados para formar bárions charmosos (c);

m-) o jogo é encerrado após três partidas e vence o jogar que somar maior energia com os bárions formados nas partidas que venceu.

# ANEXO I

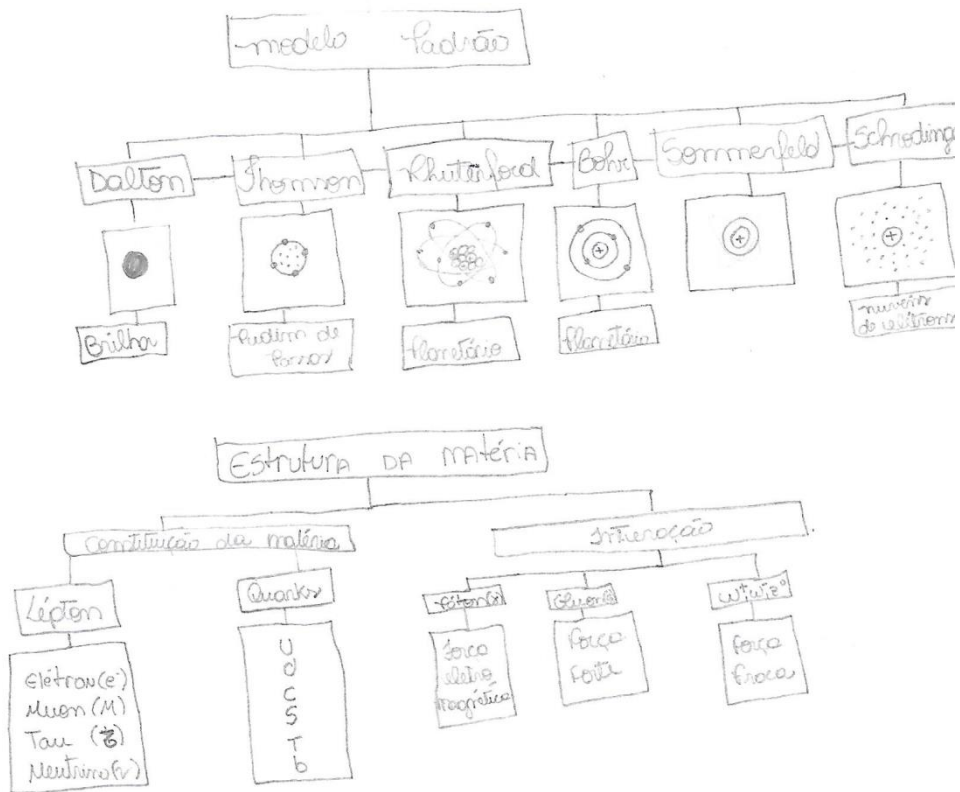
## TABELA PERIÓDICA

Constituintes da matéria				Bósons de calibre			
	1ª Família	2ª Família	3ª Família	Interação forte	Interação eletro-magnética	Interação fraca	
Quarks	<b>UP</b> $2,3 \text{ MeV}/c^2$ $2/3$ $1/2$ <b>u</b>	<b>CHARM</b> $1,275 \text{ GeV}/c^2$ $2/3$ $1/2$ <b>c</b>	<b>TOP</b> $173,07 \text{ GeV}/c^2$ $2/3$ $1/2$ <b>t</b>	<b>GLUON</b> $0$ <b>g</b>	<b>FÓTON</b> $0$ $1$ <b><math>\gamma</math></b>	<b>Z BÓSON</b> $91,2 \text{ GeV}/c^2$ $0$ $1$ <b>Z</b>	<b>BÓSON DE HIGGS</b> $126 \text{ GeV}/c^2$ $0$ $0$ <b>H</b>
	<b>DOWN</b> $4,8 \text{ MeV}/c^2$ $-1/3$ $1/2$ <b>d</b>	<b>STRANGE</b> $95 \text{ MeV}/c^2$ $2/3$ $1/2$ <b>s</b>	<b>BOTTOM</b> $4,18 \text{ GeV}/c^2$ $2/3$ $1/2$ <b>b</b>			<b>W BÓSON</b> $80,4 \text{ GeV}/c^2$ $+1$ $-1$ <b>W</b>	
Léptons	<b>ELÉTRON</b> $0,511 \text{ MeV}/c^2$ $-1$ $1/2$ <b>e</b>	<b>MUON</b> $105,7 \text{ MeV}/c^2$ $-1$ $1/2$ <b><math>\mu</math></b>	<b>TAU</b> $1,777 \text{ GeV}/c^2$ $-1$ $1/2$ <b><math>\tau</math></b>				
	<b>ELÉTRON NEUTRINO</b> $<2,2 \text{ eV}/c^2$ $0$ $1/2$ <b><math>\nu_e</math></b>	<b>MUON NEUTRINO</b> $<0,17 \text{ MeV}/c^2$ $0$ $1/2$ <b><math>\nu_\mu</math></b>	<b>TAU NEUTRINO</b> $<15,5 \text{ MeV}/c^2$ $0$ $1/2$ <b><math>\nu_\tau</math></b>				

A tabela representa as partículas elementares pertencentes aos léptons e aos quarks, especificando suas cargas, massas, spins, famílias e as partículas de interação. Fonte: IFT\_UNESP

## ANEXO II

### Mapa Conceitual I

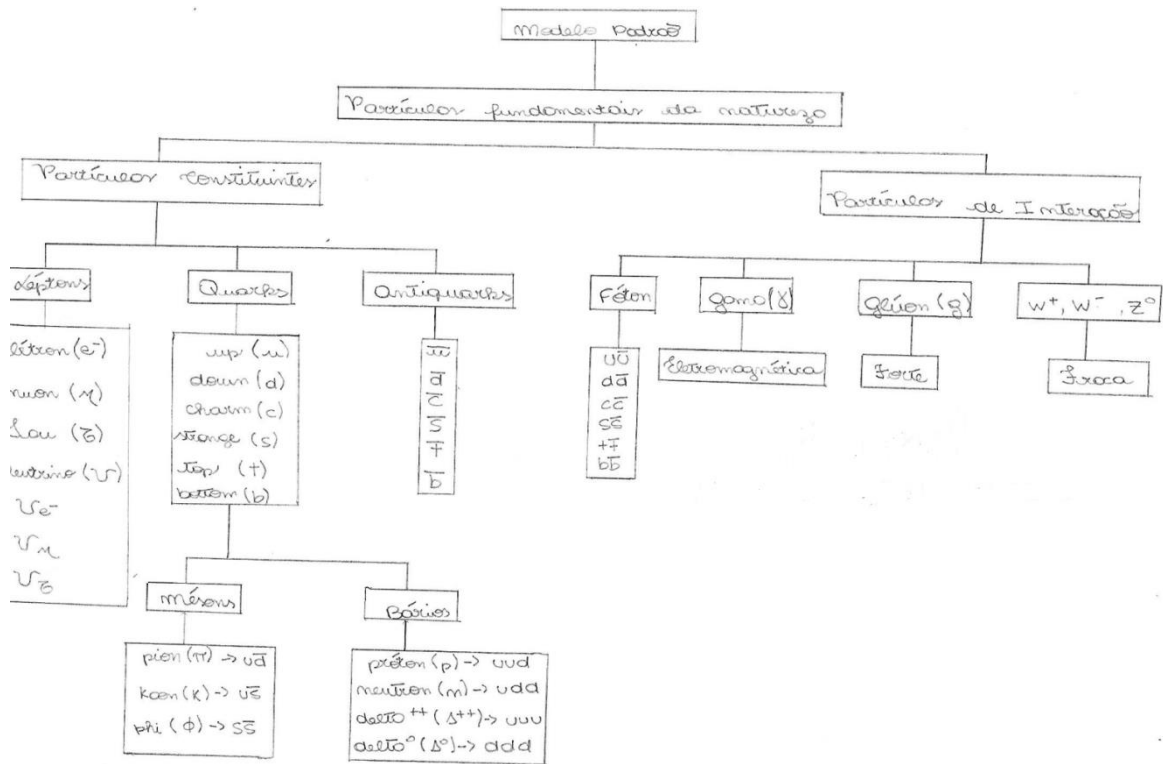


Mapa Conceitual construído por um aluno do terceiro ano do curso técnico em hospedagem.



# ANEXO III

## Mapa Conceitual II



Mapa Conceitual construído por um aluno do terceiro ano do curso técnico em serviços públicos.

## **Bibliografia**

ABDALLA, M. C. B. **Bohr, o arquiteto do átomo**. 2ª. ed. São Paulo: Odysseus, 2006.

ABDALLA, M. C. B. **O discreto charme das parítulas elementares**. São Paulo: UNESP, 2006.

ALFONSO-GODFARB, A. M. et al. **Percursos de História da Química**. 1ª. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2016.

AMALDI, U. **Imagens da Física**. 1ª. ed. São Paulo: Scipione, 2006.

ARAGÃO, M. J. **História da Química**. Rio de Janeiro: Interciênica, 2008.

ARAÚJO, N. R. S. et al. Mapas Conceituais como Estratégia de Avaliação. **Semina**, Londrina, v. 28, p. 47-54, janeiro-junho 2007. ISSN 1.

BAEYER, H. C. V. **A Física e o Nosso Mundo**. 2004. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 1994.

BALTHAZAR, W. F.; OLIVEIRA, A. L. **Partículas Elementares no Ensino Médio: uma abordagem a partir do LHC**. Instituto Federal de Educação, ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro. Nilópolis, p. 94. 2008.

BEGALLI, M.; CARUSO, F.; PEDRAZZI, E. O Desenvolvimento da Física de Partículas. In: AUTORES, V. **Do átomo grego à Física das Interações Fundamentais**. 3ª. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2012. Cap. 5º, p. 195.

BORISSEVITCH, I. E.; GONÇALVES, P. J.; SCHABERLE, F. A. **Fundamentos da Espectroscopia de Absorções Óptica**. 1ª. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2016.

BRENNAN, R. P. **Gigantes da física: uma história da física moderna através de oito biografias**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2003.

CARUSO, F.; SANTORO, A. **Do átomomo grego à Física das Interações Fundamentais**. 3ª. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2012.

CNPEM - CENTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ENERGIA E MATERIAIS. Conheça o Sírius, o mais novo acelerador de partículas brasileiro. **CNPEM**, 2015. Disponível em: <<http://cnpem.br/conheca-sirius-o-novo-acelerador-de-particulas-brasileiro/>>. Acesso em: 10 maio 2016.

COSTA, S. F. **Método Científico - Os caminhos da investigação**. São Paulo-SP: HARBRA, 2001.

CRUZ, F. F. D. S. **Faraday & Maxwell - luz sobre os campos**. 2014. ed. São Paulo: Odysseus, 2005.

FARIAS, R. F. D. **Para Gostar de Ler a História da Química**. [S.l.]: Átomo e Alínea, 2013.

FERNANDA OSTERMANN, M. A. M. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa "Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio". **Revista Investigações em ensino de ciências do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre, v. 5, n. 16, p. 7-64, janeiro 2000a. ISSN 1.

FERRARI, T. T. Física III\_02: Carga Elétrica. **Slideshare**, 2014. Disponível em: <Fig. 01- Mapa conceitual do modelo padrão relacionando as partículas e as suas interações. Fonte: <http://pt.slideshare.net>>. Acesso em: 15 novembro 2015.

FILGUEIRAS, C. A. L. Duzentos Anos da Teoria Atômica de Dalton. **Química Nova na Escola**, p. 38 - 44, novembro 2004.

GELL-MANN, M. **"O Quark e o Jaguar"**. [S.l.]: Rocco, 1993.

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 4<sup>a</sup>. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GILMORE, R. **Alice no país do quantum: uma alegoria da física quântica**. Rio de Janeiro: Zahar , 1998.

GODINHO, R. D. S. Renascimento: uma nova concepção de mundo através de um novo olhar para a natureza. **DataGramZero - revista de informação**, Rio de Janeiro, v. 13, fevereiro 2012.

GOUIRAN, R.; WEIDENFELD, G. **Particles and Accelerators**. Porto-Portugal: Inova, v. 7<sup>o</sup>, 1967.

GRECA, I. M.; MOREIRA, M. A.; HERSCOVITZ, V. E. Uma Proposta para o Ensino de Mecânica Quântica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Porto Alegre, v. 23, p. 444-457, dezembro 2001. ISSN 4.

GREIS, L. K.; REATEGUI, E. Um Simulador de Fenômenos Físicos para Mundos Virtuais. **Relatec - Revista Latinoamericana de Tecnologia**, v. 10, p. 10, 2010. ISSN 1.

JOHANN, J. R. **Introdução ao Método Científico**. Canoas-RS: ULBRA, 1997.

JOSHI, C. A onda do Plasma. **Scientific American Brasil**, São Paulo, p. 33-39, março 2006. ISSN 46.

JUNG, C. F. **Metodologia Científica e Tecnológica**. Unisc. [S.l.], p. 357. 2003.

JÚNIOR, J. T. et al. **Ciências, natureza & cotidiano: criatividade, pesquisa, conhecimento**. São Paulo: FTD, 2009.

- JUNIOR, O. P. **Conceitos de Física Quântica**. 1. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2003.
- LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Metodologia Científica**. São Paulo: Atlas, 1991.
- MACHADO, D. I.; NARDI, R. Construção de conhecimentos sobre Física moderna e sobre a natureza da ciência com o suporte da hipermídia. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Porto Alegre, v. 28, p. 473-485, dezembro 2006. ISSN 4.
- MARCONI, M. D. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 6ª. ed. São Paulo: Atlas, 2005.
- MARTINS, J. B. **A história do átomo - de Demócrito aos quarks**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2001.
- MARTINS, R. D. A. O éter ou o nada. **www.ghtc.usp.br**. Disponível em: <<http://www.ghtc.usp.br/server/pdf/Sci-Am-eter-2.PDF>>. Acesso em: 20 janeiro 2016.
- MELLO, C. O Início do Obscurantismo. **RicardoOrlandini**, Porto Alegre-RS, 27 abril 2011. 2.
- MÉTODO Científico. Disponível em: <[http://user.das.ufsc.br/~cancian/ciencia/ciencia\\_metodo\\_cientifico.html](http://user.das.ufsc.br/~cancian/ciencia/ciencia_metodo_cientifico.html)>. Acesso em: 10 outubro 2015.
- MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO. Ciência e Tecnologia. **Portal Brasil**, 2014. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/>>. Acesso em: 10 abr. 2016.
- MOREIRA, M. A. Ensino de Física no Brasil: Retrospectiva e Perspectiva. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Porto Alegre, v. 22, p. 94-99, março 2000. ISSN 1.
- MOREIRA, M. A. O Modelo Padrão da Física de Partículas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Porto Alegre - RS, v. 31, n. 01, abril 2009.
- MOREIRA, M. A. **Mapas Conceituais e Aprendizagem Significativa**. [S.l.]: Centauro, 2010.
- MOREIRA, M. A. **Teorias de Aprendizagem**. 2. ed. São Paulo: EPU, 2011.
- MOREIRA, M. A.; MASINI, E. F. S. **Aprendizagem Significativa**. 1ª. ed. São Paulo: Centauro, 2001.
- MOTA, R. et al. **Método Científico & Fronteiras do Conhecimento**. Santa Maria: Cisma, 2003.
- NEVES, L. S. D.; FARIAS, R. F. D. **História da Química - um livro texto para graduação**. 2ª. ed. Campinas - SP: Átomo, 2011.

O anel de colisões (LHC) do CERN em 10 minutos. Direção: Silvano de Gennano. Produção: Silvano de Gennano. Intérpretes: CERN Communication Group. [S.l.]: CERN Communication Group. 2008-2015.

OLIVEIRA, I. S. **Física Moderna**: para iniciados, interessados e aficionados. 2ª. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2010.

OSTERMANN, F. **Tópicos de Física contemporânea em escolas de nível médio e na formação de professores de Física**. Universidade Estadual do Rio Grande do Sul. Porto Alegre - 1999. 1999. 175f. Tese (Doutorado em Ciências) -.

PARKER, S. **Caminhos da Ciência**: Marie Curie e a Radioatividade. São Paulo: Scipione, 1996.

PARTICLE accelerator. **Taking a closer look at LHC**, 2010. Disponível em: <<http://www.lhc-closer.es/>>. Acesso em: 6 março 2016.

PELIZZARI, A. et al. Teoria da Aprendizagem Significativa Segundo Ausubel. **Rev. PEC**, Curitiba, v. 2, p. 37-42, julho 2001/2002. ISSN 1.

PEREIRA, A. P.; OSTERMANN, F. SOBRE O ENSINO DE FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA: UMA REVISÃO DA PRODUÇÃO ACADÊMICA RECENTE. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 14, p. 393-420, dezembro 2009. ISSN 3.

PERUZZO, J. **Física Quântica**: conceitos e aplicações. 1ª. ed. Concórdia - SC: Irani, 2014.

PINTO, A. C.; ZANETIC, J. É possível levar a física quântica para o ensino médio? **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 16, p. 7-34, abril 1999. ISSN 1.

PIRES, A. S. T. **Evolução das Ideias da Física**. 2ª. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2011.

PIRES, A. S. T.; CARVALHO, R. P. **Por dentro do Átomo**. 1ª. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2014.

PLEITEZ, V. Inateração Colorida no Mundo dos Quarks: quanto mais próximos mais livres. **Física na Escola**, v. 5, p. 31 a 33, 2004. ISSN 02.

QUIMLAB-SOLUÇÕES em química. **quimilab.com.br**. Disponível em: <[http://www.quimilab.com.br/guiadoselementos/conceito\\_elemento.htm](http://www.quimilab.com.br/guiadoselementos/conceito_elemento.htm)>. Acesso em: 07 fevereiro 2016.

ROCHA, J. F. M. et al. **Origens e Evolução das Ideias da Física**. Salvador: EDUFBA, 2011.

ROSADO, R. M. Escola de Física Cern. **Youtube**, 2013. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=pdAov4muO8o>>. Acesso em: 15 novembro 2015.

ROSENFELD, R. **Feynman & Gell-Mann: luz, quarks, ação**. 1ª. ed. São Paulo: Odysseus, 2003.

ROSMORDUC, J. **Uma História da Física e da Química**. 2ª. ed. Rio de Janeiro: Zahar, 1988.

RUZZI, M. **Metodologia do Ensino de Matemática e Física - Física Moderna: Teorias e Fundamentos**. Curitiba: Epbex, v. 8, 2008.

SAIZ, F. **Método Científico**. UFSC. [S.l.], p. 8. 2011.

SANCHES, M. B.; NEVES, M. C. D. **A Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio- uma reflexão didática**. Maringá: Eduem, 2011.

SANTOS, J. C. F. D. **Aprendizagem Significativa: modalidades de aprendizagem e o papel do professor**. 5ª. ed. Porto Alegre: Mediação, 2013.

SOCIEDADE Brasileira de Física. In: \_\_\_\_\_ **Física para o Brasil: Pensando o Futuro**. São Paulo: [s.n.], 2005. p. 248.

STRATHERN, P. **Borh e a teoria quântica em 90 minutos**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1999.

TERRAZAN, E. A. A Inserção da Física Moderna e Contemporânea no Ensino de Física na Escola de 2º Grau. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 9, p. 2009-2014, dezembro 1992. ISSN 3.

TOMA, H. E. **O mundo NANOMÉTRICO: a dimensão do novo século**. 2ª. ed. São Paulo: Oficina de Textos, v. 1, 2009.

VALADARES, E. D. C.; MOREIRA, M. A. Ensinando Física Moderna no Segundo Grau: Efeito fotoelétrico, laser e emissão de corpo negro. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 15, p. 121-135, agosto 1998. ISSN 2.

WIKI.STOA.USP. O que é o Observatório Auger na Argentina? **wiki.stoa.usp**, 2013. Disponível em: <<http://wiki.stoa.usp.br/>>. Acesso em: 04 abril 2016.

## VÍDEOS

- 1- Música original: é preciso saber viver  
Compositor: Erasmo Carlos e Roberto Carlos  
Publicação: 22 de maio de 2013  
Paródia: é preciso um LHC  
Duração: 4:08  
Compositor: Ricardo Meloni.  
<https://www.youtube.com/watch?v=pdAov4muO8o>  
Acessado: 20 de novembro de 2015
  
- 2- (O anel de colisões (LHC) do CERN em 10 minutos, 2008-2015)  
<http://cds.cern.ch/record/1129494>
  
- 3- DVD – O DISCRETO CHARME DAS PARTÍCULAS ELEMENTARES  
Ilustrações do livro: o discreto charme das partículas elementares  
Autora: Maria Cristina Botoni Abdalla  
(52'00").  
TV Escola – Realização TV Cultura e Ministério da Educação.  
Vídeo disponível em: [https://www.youtube.com/watch?v=FAISMNkR\\_WM](https://www.youtube.com/watch?v=FAISMNkR_WM)  
Publicação: 26 de novembro de 2008.  
Acessado: 20 de outubro de 2015.
  
- 4- Quem você pensa que é?  
Publicação: 5 de abril de 2010  
Duração: 10:55  
Por: Alexandre Arrenius Elias  
<https://www.youtube.com/watch?v=6lgtwxeslwQ>  
Acessado: 05 de janeiro de 2016
  
- 5- Visões do Futuro: a revolução quântica  
Publicação: 23 de janeiro de 2014.  
Duração: 58:32  
Categoria: tecnologia  
[http://www.dailymotion.com/video/x1a61fr\\_a-revolucao-quantica-documentario-2007\\_tech](http://www.dailymotion.com/video/x1a61fr_a-revolucao-quantica-documentario-2007_tech)  
Acessado em 15 de janeiro de 2016

- 6- How does proton therapy work?  
Publicação: 29 de janeiro de 2013  
Duração: 2:44  
Categoria: tecnologia  
<https://www.youtube.com/watch?v=MS590Xtq9M4>  
Acessado: 10 de janeiro de 2016  
Adaptação de áudio feita pelo autor desta dissertação.
- 7- Olhar Digital: para que serve um acelerador de partículas?  
Publicação: 06 de junho de 2011  
Duração: 4:16  
Categoria: Ciência e Tecnologia  
<https://www.youtube.com/watch?v=voc5ydW9jdA>  
Acessado: 20 de novembro de 2015