

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE GRADUAÇÃO
CURSO DE LICENCIATURA EM FÍSICA

RÉGIS ROBERTO FINIMUNDI

ENSINO DE FÍSICA ATÔMICA E NUCLEAR:
uma abordagem para o Ensino Médio

São Leopoldo

2020

RÉGIS ROBERTO FINIMUNDI

**ENSINO DE FÍSICA ATÔMICA E NUCLEAR:
uma abordagem para o Ensino Médio**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial para
obtenção do título de Licenciado em Física,
pelo Curso de Licenciatura em Física da
Universidade do Vale do Rio dos Sinos -
UNISINOS

Orientadora: Prof.^a. Dra. Cândida Cristina Klein

São Leopoldo

2020

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais e aos meus irmãos por me apoiarem durante toda essa jornada, por sempre acreditarem em mim, e me incentivarem nos meus estudos.

Agradeço a minha orientadora, Cândida Cristina Klein, por toda sua dedicação durante a orientação, realizando-a com muito empenho e sabedoria, por sempre estar presente e disposta a ajudar em todos os obstáculos que passei.

Agradeço à professora, Luana Weyh, e à direção da Escola Estadual de Ensino Médio Assunção por permitirem que aplicasse a proposta de ensino e por todo auxílio que prestaram.

Agradeço aos amigos que fiz durante os anos de faculdade, que foram uma ótima companhia durante todas as aulas, auxiliando nos momentos bons e ruins.

RESUMO

Na maioria das escolas públicas brasileiras, o ensino de Física Moderna e Contemporânea (FMC), está excluído do currículo por falta de tempo para o seu desenvolvimento, apesar da obrigatoriedade indicada nos documentos oficiais que orientam o ensino do país. O estudo dos conteúdos de FMC é relevante, por eles se fazerem presentes no cotidiano dos alunos e de toda sociedade e estarem relacionados com grandes avanços tecnológicos e momentos históricos importantes da humanidade. Tendo isso em foco, o presente trabalho apresenta uma proposta de ensino, envolvendo alguns tópicos de FMC, especialmente, Física Atômica e Nuclear. A metodologia da proposta engloba a abordagem sob perspectiva da História e Filosofia da Ciência e a abordagem conceitual, utilizando recursos didáticos de divulgação científica, como vídeos e textos. A abordagem metodológica foi aplicada com os alunos do terceiro ano do ensino médio da Escola Estadual de Ensino Médio Assunção, do município de Alto Feliz – RS. Durante a aplicação da proposta foram identificadas potencialidades e limitações da metodologia utilizada. Os resultados demonstram que as abordagens metodológicas utilizadas foram mais relevantes na motivação dos alunos para os estudos, os quais apresentaram, de modo geral, desempenho satisfatório nas aulas e em atividades avaliativas. Os alunos demonstraram dificuldade na compreensão de textos e questões mais complexos, o que ficou evidenciado pelo seu desempenho nas avaliações, sobre determinados tópicos, e limitou a eficiência da abordagem conceitual. A metodologia aplicada auxiliou na introdução e aproximação dos alunos em relação aos conteúdos da área de Física Moderna e Contemporânea.

Palavras-chave: História e Filosofia da Ciência. Abordagem conceitual. Ensino de Física Moderna e Contemporânea. Divulgação científica.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Modelo Padrão: quarks, léptons e bósons, com os dados de massa, carga e spin..... | 31 |
| Figura 2 – Imagem da gravação da aula sobre o conceito de dualidade onda-partícula | 65 |
| Figura 3 – Imagem da gravação da aula sobre os ataques nucleares durante a segunda Guerra Mundial..... | 67 |
| Figura 4 – Imagem da gravação da aula sobre a usina nuclear no Brasil..... | 74 |
| Figura 5 – Imagem da gravação da aula sobre o acidente nuclear de Fukushima ... | 80 |
| Figura 6 – Imagem da gravação da aula sobre aceleradores de partículas..... | 84 |
| Figura 7 – Imagem da gravação da aula de revisão sobre dualidade onda-partícula | 86 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|--|-----|
| Gráfico 1 – Resultados das questões sobre o texto "A energia nuclear e seus usos na sociedade" (GONÇALVES; ALMEIDA, 2005a) | 68 |
| Gráfico 2 – Resultados das questões sobre o texto "Energia nuclear: ontem e hoje" (TAVARES, 2013) | 69 |
| Gráfico 3 – Resultados das questões sobre o texto "O vaivém da fusão nuclear" (SANTOS, 2009) | 71 |
| Gráfico 4 – Resultados das questões sobre o texto "Japão: o impensável aconteceu" (GUIMARÃES, 2011) | 75 |
| Gráfico 5 – Resultados das questões sobre o texto "A rosa de Fukushima" (OLIVEIRA, 2011) | 77 |
| Gráfico 6 – Resultados das questões sobre o texto "Para apreciar a festa do LHC" | 81 |
| Gráfico 7 – Resultados das questões da tarefa avaliativa sobre os modelos atômicos | 89 |
| Gráfico 8 – Resultados das questões da tarefa avaliativa sobre armas nucleares ... | 93 |
| Gráfico 9 – Resultados das questões da tarefa avaliativa sobre energia nuclear | 95 |
| Gráfico 10 – Resultados das questões da tarefa avaliativa sobre os acidentes nucleares e a radioatividade..... | 98 |
| Gráfico 11 – Resultado das questões da tarefa avaliativa sobre Física de partículas – Modelo Padrão | 103 |
| Gráfico 12 – Resultados das questões da avaliação final | 106 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|----|
| Quadro 1 – Primeira sequência didática de temas estruturantes de Física para o Ensino Médio..... | 15 |
| Quadro 2 – Segunda sequência didática de temas estruturantes de Física para o Ensino Médio..... | 15 |
| Quadro 3 – Terceira sequência didática de temas estruturantes de Física para o Ensino Médio..... | 16 |
| Quadro 4 – Exemplos de bárions e suas composições de quarks | 32 |
| Quadro 5 – Alguns exemplos de mésons e sua composição de quarks e antiquarks | 32 |
| Quadro 6 – Etapas da proposta de ensino | 57 |

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 9 |
| 1.1 OBJETIVOS | 12 |
| 1.1.1 Objetivo Geral | 12 |
| 1.1.2 Objetivos Específicos | 12 |
| 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 13 |
| 2.1 FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA NA DOCUMENTAÇÃO OFICIAL.... | 13 |
| 2. 1. 1 Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio | 13 |
| 2. 1. 2 Base Nacional Comum Curricular | 18 |
| 2. 2 FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA | 20 |
| 2. 2. 1 O Nascimento da Mecânica Quântica | 21 |
| 2. 2. 2 Fundamentos de Física Atômica e Nuclear | 23 |
| 2. 2. 1. 1 Modelos Atômicos | 23 |
| 2. 2. 1. 2 Núcleo Atômico e Radioatividade..... | 26 |
| 2. 2. 1. 3 Reações Nucleares | 29 |
| 2. 2. 1. 4 Modelo Padrão | 30 |
| 2. 2. 3 Aspectos Históricos da Física Atômica e Nuclear | 34 |
| 2. 2. 3. 1 A Teoria do Atomismo e o Modelo Atômico de Dalton | 35 |
| 2. 2. 3. 2 O Átomo Divisível: Primeiros Indícios..... | 36 |
| 2. 2. 3. 3 O Início da Física Nuclear | 38 |
| 2. 2. 3. 4 Modelo Atômico Quântico Atual | 39 |
| 2. 2. 3. 5 Reações Nucleares | 41 |
| 2. 2. 3. 6 A Busca pelas Partículas Elementares..... | 42 |
| 2.3 ENSINO DE FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA..... | 44 |
| 2. 3. 1 Abordagem na Perspectiva da História e Filosofia da Ciência | 44 |
| 2. 3. 2 Abordagem Conceitual | 48 |
| 2. 3. 3 Uso Didático de Recursos de Divulgação Científica | 50 |
| 2. 3. 4 Relatos de Experiências | 52 |
| 3 METODOLOGIA | 56 |
| 3. 1 APRESENTAÇÃO DA PROPOSTA À ESCOLA | 56 |
| 3. 2 DESENVOLVIMENTO DA PROPOSTA DE ENSINO | 57 |
| 3. 2. 1 Textos de Divulgação Científica | 59 |
| 3. 2. 2 Vídeos e Simulações | 60 |
| 3. 3 AVALIAÇÃO DA PROPOSTA DE ENSINO..... | 61 |

| | |
|---|------------|
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES | 63 |
| 4. 1 RELATOS DA APLICAÇÃO DA PROPOSTA | 63 |
| 4. 1. 1 Etapa 1 – Modelos Atômicos | 63 |
| 4. 1. 2 Etapa 2 – Física Nuclear | 66 |
| 4. 1. 3 Etapa 3 – Física de partículas | 80 |
| 4. 1. 4 Etapa 4 – Revisão | 85 |
| 4. 2 AVALIAÇÕES..... | 88 |
| 4. 2. 1 Tarefas Avaliativas Semanais | 88 |
| 4. 2. 1. 1 Tarefa Avaliativa – Modelos Atômicos..... | 88 |
| 4. 2. 1. 2 Tarefa Avaliativa – Armas Nucleares | 92 |
| 4. 2. 1. 3 Tarefa Avaliativa – Energia Nuclear | 95 |
| 4. 2. 1. 4 Tarefa Avaliativa – Acidentes Nucleares e a Radioatividade | 98 |
| 4. 2. 1. 5 Tarefa Avaliativa – Física de Partículas | 102 |
| 4. 2. 2 Avaliação Final | 106 |
| 4. 2. 3 Autoavaliação dos Alunos e Avaliação da Proposta de Ensino | 113 |
| 4. 2. 4 Avaliação da Proposta de Ensino pela Professora Titular | 117 |
| 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS | 119 |
| REFERÊNCIAS | 121 |
| APÊNDICE A - PLANO DE AULA - MODELOS ATÔMICOS - ETAPA 1 | 129 |
| APÊNDICE B - PLANO DE AULA - FÍSICA NUCLEAR - ETAPA 2 | 150 |
| APÊNDICE C - PLANO DE AULA - FÍSICA DE PARTÍCULAS - ETAPA 3 | 206 |
| APÊNDICE D - PLANO DE AULA - REVISÃO - ETAPA 4 | 230 |

1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho tem como tema o ensino de Física Moderna e Contemporânea em nível médio, com a elaboração de uma proposta de ensino com foco na Física Atômica e Nuclear. A aplicação da proposta ocorreu de forma remota, devido ao isolamento social decorrente da pandemia de Covid-19, em uma escola pública estadual na cidade de Alto Feliz – RS.

O ensino de Física como componente da área de Ciências da Natureza, é obrigatório, no Brasil, somente no ensino médio. Trata-se de uma das disciplinas que mais amedrontam os alunos, tendo altos índices de reprovação, por necessitar de vários conhecimentos matemáticos, como álgebra e raciocínio lógico. É considerada uma ciência muito complexa com uma carga teórica muito extensa. (COSTA, 2004).

A Física Clássica (Mecânica, Termodinâmica, Ótica, Ondas e Eletromagnetismo) é a área da Física para a qual é destinado mais tempo de aula, no ensino médio. A Física Moderna e Contemporânea (FMC) deveria ser abordada no terceiro ano no ensino médio, mas geralmente por falta de tempo na carga horária, acaba não sendo ministrada. Além do fator tempo, Alves (2018) destaca que a formação docente em Física nem sempre privilegia a obtenção de conhecimentos físicos que ajudem aos docentes a explorarem em suas aulas conteúdos mais atuais de Física. A Física Clássica tem um número vasto de conteúdos, cuja abordagem normalmente não é concluída no ensino médio. A FMC é tão extensa quanto, por isso "é importante repensar o espaço e o tempo destinado aos assuntos contemporâneos e aos clássicos, ainda mais ao passo em que há evidentes conexões da tecnologia do mundo atual com a ciência." (ALVES, 2018, f. 7). A administração do tempo pode ser ainda mais difícil no desenvolvimento de aulas de FMC, pois os conteúdos desta área requerem conhecimentos em matemática mais avançados e a compreensão de conceitos muito complexos e abstratos.

Atualmente, o documento que orienta a definição dos conteúdos do currículo da educação brasileira é a Base Nacional Comum Curricular (BNCC), que abrange desde a educação infantil até o ensino médio. A BNCC coloca a FMC como conteúdo obrigatório no currículo de Física do ensino médio. Vale ressaltar que no subcapítulo do documento da BNCC referente a Ciências da Natureza e suas Tecnologias, não é utilizado o termo Física Moderna e Contemporânea, mas são destacados seus tópicos

como, reações nucleares, fusão e fissão nuclear, radiação, modelos atômicos, subatômicos, entre outros.

A BNCC ressalta que o desenvolvimento tecnológico atinge adolescentes e jovens, por isso, é importante conhecerem as ciências por trás de todo esse avanço. (BRASIL, 2018).

O avanço das tecnologias nos mostra que, cada vez mais, necessitamos de conhecimentos avançados. As tecnologias atuais não são mais baseadas tão somente nas leis de Newton, mas também em um conhecimento muito mais profundo. (DOMINGUINI, 2012, p.6).

Antes da BNCC, os Parâmetros Nacionais Curriculares para o Ensino Médio + (PNC+), visando estabelecer orientações educacionais complementares, já mencionavam a inclusão de FMC na grade curricular do ensino médio.

Alguns aspectos da chamada Física Moderna serão indispensáveis para permitir aos jovens adquirir uma compreensão mais abrangente sobre como se constitui a matéria, de forma que tenham contato com diferentes e novos materiais, cristais líquidos e lasers presentes nos utensílios tecnológicos, ou com o desenvolvimento da eletrônica, dos circuitos integrados e dos microprocessadores. (BRASIL, 2002, p.70).

Mesmo os PNC+ estando em vigor por 17 anos e, atualmente, com a BNCC em prática, a FMC dificilmente é abordada no ensino médio. Outro motivo para isso, além dos já mencionados, é que o Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM) raramente apresenta questões que envolvem FMC. Nas provas de 2009 e 2010 não teve questão alguma sobre FMC. Em 2011 e 2012 teve uma questão em cada prova. Na prova de 2011, a questão envolveu os conceitos de radiação eletromagnética, e na prova de 2012, abordava a radioatividade. (JOSÉ *et al*, 2014). Enquanto que no ENEM há pouca ênfase em FMC, no vestibular da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), por exemplo, esta área tem maior relevância. No Manual do Candidato do vestibular de 2019 da UFRGS, encontra-se uma seção indicando os conteúdos de Física de maior importância para este processo seletivo. Uma parte da seção é destinada a elementos da Física Moderna, que englobam conteúdos como: radiação térmica de um corpo negro; efeito fotoelétrico; radiação eletromagnética; dualidade onda-partícula; relatividade restrita; estrutura atômica; modelos atômicos; quantização de energia; radioatividade; reações nucleares, energia nuclear e partículas elementares. (UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL (UFRGS), 2018).

Além das razões já citadas anteriormente, para a inserção do estudo de FMC no ensino médio, é importante ressaltar que se vive em uma sociedade dependente de tecnologias desenvolvidas por meio dos estudos desta área. Essas tecnologias foram essenciais para a melhoria da qualidade de vida das pessoas, por exemplo, nos tratamentos de doenças graves como o câncer, por meio da radiação. Ao mesmo tempo, não se pode esquecer dos perigos de tecnologias mal utilizadas. Em relação a esse ponto, Canato Júnior (2003, f. 36), realiza uma observação muito pertinente sobre o acidente radioativo, com Césio 137 em Goiânia, em setembro de 1987.

Independentemente da avaliação política ou técnica que se faça das implicações do episódio de Goiânia, fato é que, repentinamente, a Física atômica virou "conversa de botequim" naquela cidade e que um mínimo conhecimento científico desse assunto por parte da população poderia ter amenizado ou, quem sabe, evitado o acidente.

O acidente em Goiânia não envolveu um reator nuclear, mas uma cápsula de Césio 137 de um aparelho de radioterapia de um hospital. Na segunda metade do século XX, ocorreram a maioria dos acidentes nucleares da história. O mais recente, de grandes proporções, foi no Japão, em março de 2011, na usina de Fukushima em decorrência de danos causados por um terremoto e um tsunami. Não houve relatos de vítimas fatais por radiação. (OS PIORES, 2013).

Considerando os aspectos acima citados, justifica-se a proposta deste trabalho que desenvolveu uma abordagem metodológica de ensino, aplicada numa turma de terceiro ano do ensino médio, de escola pública. A proposta envolveu os conteúdos relacionados à Física Atômica e Nuclear. A utilização da abordagem sob a perspectiva da História e Filosofia da Ciência buscou aproximar os alunos da FMC e despertar seu interesse pela área, pois é importante "aproximar os estudantes do mundo da pesquisa atual em Física e atrair jovens para a carreira científica, pois serão eles os futuros pesquisadores e professores de Física". (ALVES, 2018, f. 7).

A abordagem conceitual e os recursos didáticos de divulgação científica (textos e vídeos) foram utilizados visando contornar a complexidade dos conteúdos, sem a necessidade de utilizar o tratamento matemático avançado que a FMC exige. A proposta também buscou superar os obstáculos relacionados à falta de tempo disponível com a utilização de apresentações (slides) durante as aulas síncronas e com a realização de leitura prévia dos textos de divulgação científica por parte dos alunos.

Na sequência, são apresentados os objetivos do trabalho, e após, os referenciais teóricos nos quais a proposta foi baseada, englobando a inclusão da FMC referida pelos documentos oficiais norteadores do currículo educacional brasileiro, as abordagens de ensino, os recursos didáticos e trabalhos existentes sob a mesma perspectiva deste. Também são apresentados a metodologia, os resultados da aplicação da mesma, as discussões dos resultados e as respectivas considerações finais.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Desenvolver uma metodologia para o ensino de tópicos de Física Moderna e Contemporânea no ensino médio, para escolas públicas.

1.1.2 Objetivos Específicos

- a) Identificar a relevância, para os alunos de ensino médio, da inclusão de conhecimentos de Física Moderna e Contemporânea no currículo do ensino de Física;
- b) Fazer o levantamento de orientações presentes em documentos que regem a educação básica brasileira sobre a inserção do ensino de Física Moderna e Contemporânea, em nível médio;
- c) Identificar práticas metodológicas de ensino de Física, no contexto da Física Moderna e Contemporânea, apropriadas para o nível médio;
- d) Desenvolver e aplicar uma metodologia de ensino-aprendizagem para alunos do terceiro ano do ensino médio, de uma escola pública, sobre Física Atômica e Nuclear;
- e) Analisar as principais dificuldades de compreensão dos conteúdos relativos à Física Atômica e Nuclear, bem como as potencialidades e limitações da metodologia aplicada.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo são apresentados alguns tópicos de Física Moderna e Contemporânea (FMC), com ênfase nos fundamentos da Mecânica Quântica e nos conceitos e aspectos históricos da Física Atômica e Nuclear. Também são sintetizadas as revisões dos principais documentos de orientações curriculares oficiais da educação básica brasileira e a forma como sugerem a aplicação dos tópicos de FMC. Por último, são apresentadas as metodologias de ensino de FMC que utilizam abordagens sob a perspectiva da História e Filosofia da Ciência e/ou conceitual e exploram os materiais de divulgação científica como recursos didáticos.

2.1 FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA NA DOCUMENTAÇÃO OFICIAL

Primeiramente são tratados os aspectos apresentados pelos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM) e Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio + (PCNEM+), que estabeleceram orientações educacionais complementares. Será dada ênfase à Base Nacional Comum Curricular (BNCC), principal documento oficial que norteia a composição do currículo do ensino na atualidade. O foco principal desta revisão será sobre o tratamento que os documentos trazem em relação aos tópicos de FMC.

2.1.1 Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio

Nesta seção são abordadas as menções que os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio e as orientações educacionais complementares (PCNEM+) fazem sobre os tópicos de FMC. Os PCNEM foram publicados no final dos anos noventa, destinados ao ensino médio. As disciplinas são divididas e classificadas por áreas: Linguagens, Códigos e suas Tecnologias; Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias; Ciências Humanas e suas Tecnologias. A Física está na área das Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias, junto com Biologia, Química e Matemática.

Logo no início do capítulo destinado à Física, nos PCNEM, é feita menção a assuntos da área da Física Moderna e Contemporânea (FMC).

A Física é um conhecimento que permite elaborar modelos de evolução cósmica, investigar os mistérios do mundo submicroscópico, das partículas que compõem a matéria, ao mesmo tempo que permite desenvolver novas fontes de energia e criar novos materiais, produtos e tecnologias. (BRASIL, III, 2000, p.22).

Em seguida, ao enfatizar a contextualização, muito defendida nos PCNEM para aplicação em todo o ensino, os respectivos parâmetros sugerem, no contexto da Física,

[...] promover um conhecimento contextualizado e integrado à vida de cada jovem. Apresentar uma Física que explique a queda dos corpos, o movimento da lua ou das estrelas no céu, o arco-íris e também os raios laser, as imagens da televisão e as formas de comunicação. Uma Física que explique os gastos da “conta de luz” ou o consumo diário de combustível e também as questões referentes ao uso das diferentes fontes de energia em escala social, incluída a energia nuclear, com seus riscos e benefícios. Uma Física que discuta a origem do universo e sua evolução. Que trate do refrigerador ou dos motores a combustão, das células fotoelétricas, das radiações presentes no dia-a-dia, mas também dos princípios gerais que permitem generalizar todas essas compreensões. (BRASIL, III, 2000, p.23).

A contextualização é uma importante ferramenta para aumentar o interesse dos alunos em relação aos conteúdos das aulas. Nestas, deve-se desenvolver, de forma combinada, conhecimentos teóricos e conhecimentos práticos contextualizados, que contribuam para as necessidades da vida contemporânea, e o desenvolvimento de conhecimentos mais amplos e abstratos. Dessa forma, o conhecimento tem maior significado para os discentes.

Os exemplos acima citados abrangem todos os campos de estudo da Física, incluindo tópicos de FMC como, raios laser, energia nuclear e radiações. Esses assuntos, além de serem facilmente trabalhados de forma contextualizada, ainda podem ser discutidos numa abordagem interdisciplinar, perspectiva essa também recomendada nos PCNEM.

A distribuição de conteúdos sugerida nos PCNEM para a FMC é a de inclusão de novos tópicos nos três anos do ensino médio, e não como um tópico adicional no final do curso. (BRASIL, III, 2000).

No ano de 2002, foram publicados os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio+ (PCNEM+) com orientações educacionais complementares. Segundo Alves (2018, f. 23 e 24), o documento,

[...] trata da principal demanda, que é atender a comunidade escolar: professores, coordenadores, dirigentes, pais e responsáveis pelos

educandos, através de exemplos objetivos. Ele subsidia os profissionais da educação, trazendo aspectos detalhados concernentes à condução da aprendizagem, na mais diversas realidades, no território nacional.

Nos PCNEM+ foram indicados seis temas estruturantes que abrangem a área da Física:

1. Movimentos: variações e conservações;
2. Calor, ambiente e usos de energia;
3. Som, imagem e informação;
4. Equipamentos elétricos e telecomunicações;
5. Matéria e radiação;
6. Universo, Terra e vida; (BRASIL, 2002, p. 71)

Onde os temas 5 e 6, relacionados à FMC, são de maior interesse para este trabalho. Para estes temas estruturantes são indicadas três sequências didáticas, inserindo um dos seis temas em cada semestre, distribuídos no decorrer dos três anos do ensino médio. As sequências didáticas são apresentadas nos quadros 1, 2 e 3.

Quadro 1 – Primeira sequência didática de temas estruturantes de Física para o Ensino Médio

| Semestre | 1ª série | 2ª série | 3ª série |
|-------------|---|--|---------------------------|
| 1º semestre | 1. Movimentos: variações e conservações | 3. Som, imagem e Informação | 5. Matéria e radiação |
| 2º semestre | 2. Calor, ambiente e usos de energia | 4. Equipamentos elétricos e telecomunicações | 6. Universo, Terra e vida |

Fonte: Adaptada de Brasil (2002).

Quadro 2 – Segunda sequência didática de temas estruturantes de Física para o Ensino Médio

| Semestre | 1ª série | 2ª série | 3ª série |
|-------------|---|--|---------------------------|
| 1º semestre | 2. Calor, ambiente e usos de energia | 4. Equipamentos elétricos e telecomunicações | 5. Matéria e radiação |
| 2º semestre | 1. Movimentos: variações e conservações | 3. Som, imagem e Informação | 6. Universo, Terra e vida |

Fonte: Adaptada de Brasil (2002).

Quadro 3 – Terceira sequência didática de temas estruturantes de Física para o Ensino Médio

| Semestre | 1ª série | 2ª série | 3ª série |
|-------------|---|--------------------------------------|--|
| 1º semestre | 6. Universo, Terra e vida | 3. Som, imagem e Informação | 4. Equipamentos elétricos e telecomunicações |
| 2º semestre | 1. Movimentos: variações e conservações | 2. Calor, ambiente e usos de energia | 5. Matéria e radiação |

Fonte: Adaptada de Brasil (2002).

Enquanto os PCNEM defendem que os tópicos de FMC devam ser abordados em qualquer série do ensino médio, os PCNEM+ mantêm essa orientação, mas destacam outro ponto, justificando sua recomendação preferencial para a terceira série.

Tendo como objetivo o desenvolvimento de competências, é sempre possível tratar qualquer um desses temas em qualquer das séries. Entretanto, existem temas mais adequados para o desenvolvimento de certas competências, como é o caso dos temas **Matéria e radiação** e **Universo, Terra e vida**, que são propostos para a terceira série por apresentarem elementos que permitem realizar sínteses mais consistentes. (BRASIL, 2002, p. 82, grifo do autor).

Desta forma, verifica-se que o tema 5, relacionado à FMC, é unanimemente recomendado, nas três sequências didáticas, ao terceiro ano. No documento, ainda são apresentadas unidades temáticas para serem abordadas em cada tema. Para o tema 5 são apresentadas quatro unidades temáticas: Matéria e suas propriedades; Radiações e suas interações; Energia nuclear e radioatividade; Eletrônica e informática. No caso do tema 6 são apresentadas três unidades temáticas: Terra e Sistema Solar; O Universo e sua origem; Compreensão humana do Universo.

Nos PCNEM+ é destacado que, além de discutir as competências e conhecimentos essenciais, é preciso pensar em estratégias de ensino e aprendizagem. Para o ensino de Física, recomendam que as estratégias didáticas levem em consideração:

O mundo vivencial: Para que o processo de conhecimento faça sentido para os alunos é necessário considerar objetos, fenômenos que façam parte do seu universo

vivencial ou de seu imaginário. Para tanto, podem ser utilizados os meios de comunicação e informação contemporâneos, como notícias de jornal, documentários, livros de ficção científica, filmes, programas de televisão, mídias sociais ou a utilização do saber de profissionais, especialistas, cientistas ou tecnólogos.

A concepção de mundo dos alunos: Os alunos chegam na escola já com conhecimentos prévios desenvolvidos a partir do seu dia-a-dia. É necessário estar atento a esses conhecimentos dos alunos, colocando em confronto os modelos intuitivos com os modelos elaborados pela ciência, assim permitindo a desenvolvimento da visão científica.

A experimentação: É essencial que a experimentação esteja presente no desenvolvimento das competências em Física. Dessa forma, os alunos participam da construção do conhecimento. Experimentar envolve desde observar situações e fenômenos, desmontar e construir aparelhos tecnológicos e outros objetos simples até resolver desafios buscando soluções para problemas reais.

As formas de expressão do saber da Física: É de grande importância a busca por novas formas de expressar os saberes de Física, como a escrita, o uso de esquemas, a linguagem corporal e artística, dentre outras. Estimular o uso consciente dos meios tecnológicos também é importante.

A resolução de problemas: É necessário substituir um problema por uma situação – problema, pois se passa a lidar com algo real. Um exemplo, substituir um problema em que apenas é solicitado o cálculo da aceleração de um corpo, por outro no qual se analisa as consequências das altas velocidades de veículos no trânsito.

A Física como cultura: O conhecimento em Física pode ser obtido através da visita a exposições em museus, planetários ou centros de ciência, ou através de produções literárias, peças de teatro, letras de música, dando ao conhecimento científico dimensões mais humanas. (BRASIL, 2002).

A responsabilidade social: É de grande relevância que o ensino dê espaço para temas sociais. (BRASIL, 2002). Quando o assunto da aula estiver relacionado à energia nuclear é importante levantar o debate sobre as potencialidades e os riscos do uso tecnológico da fusão e da fissão nuclear, assim será colocado "o conhecimento científico a serviço da sociedade e do bem-estar de todos" (ALVES, 2018, f. 26).

Estas estratégias, em sua grande maioria, podem ser utilizadas para desenvolver todos os conteúdos da Física, mas algumas podem ser mais apropriadas para determinados tópicos. Dentre elas, para o contexto da FMC, destacam-se: a

exploração do *mundo vivencial*, de forma que os conteúdos estudados em aula se interliguem com o mundo dos alunos, mostrando que a FMC influencia a sociedade; o uso das *formas de expressão do saber da Física* de maneira criativa para superar a complexidade dos tópicos de FMC; a introdução de *situações – problema* ou estudo de casos, aproximando os conteúdos da realidade; o desenvolvimento da *responsabilidade social*, promovendo uma abordagem crítica dos conteúdos de FMC e a análise das implicações de suas aplicações para a sociedade. A seleção das estratégias contudo, vai depender da realidade de cada escola, exigindo o reconhecimento do contexto escolar, suas características e prioridades. "Discutir estratégias não deve, também, confundir-se com a prescrição de técnicas a serem desenvolvidas em sala de aula". (BRASIL, 2002, p.83).

2. 1. 2 Base Nacional Comum Curricular

Em 2018, a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) foi apresentada, em sua versão destinada ao ensino médio. As partes destinadas à educação infantil e ao ensino fundamental já tinham sido concluídas anteriormente. O documento traz competências, habilidades e aprendizagens essenciais a serem desenvolvidas no ensino médio, dentre as quais, aquelas relativas às Ciências da Natureza e suas Tecnologias são de maior importância para este trabalho.

Para a área das Ciências da Natureza e suas Tecnologias são apresentadas três competências, transcritas a seguir. Uma relacionada com o tema matéria e energia, outra com o tema Vida, Terra e Cosmos e, a terceira, relacionada com investigação e divulgação científicas.

Competência 1:

Analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas interações e relações entre matéria e energia, para propor ações individuais e coletivas que aperfeiçoem processos produtivos, minimizem impactos socioambientais e melhorem as condições de vida em âmbito local, regional e global. (BRASIL, 2018, p.554).

Nessa competência, os fenômenos naturais e os processos tecnológicos são analisados e estudados com base na relação entre matéria e energia. Os tópicos indicados a serem trabalhados nessa competência relacionados a FMC são: estrutura

da matéria; fusão e fissão nucleares; espectro eletromagnético; efeitos biológicos das radiações ionizantes.

Competência 2:

Analisar e utilizar interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo, e fundamentar e defender decisões éticas e responsáveis. (BRASIL, 2018, p.556).

Nessa competência são abordadas as transformações e evoluções que ocorrem desde em nível de moléculas até em estrelas. Também visa compreender a vida em toda sua diversidade de formas e níveis de organização. Os tópicos indicados a serem trabalhados, nessa competência, relacionados a FMC são: espectro eletromagnético; modelos atômicos, subatômicos e cosmológicos; astronomia; evolução estelar; gravitação.

Competência 3:

Investigar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC). (BRASIL, 2018, p.558).

O mundo está repleto de informações de várias naturezas e origens, difundidas e acessadas, principalmente, por meios digitais, que podem ajudar os alunos a desenvolverem capacidades, utilizando conhecimentos científicos confiáveis, a investigarem e resolverem situações – problema, além de avaliarem as aplicações e consequências do conhecimento científico e avanço tecnológico na vida humana, com base na ética e responsabilidade. A partir disso, segundo a BNCC (2018, p.558), é importante desenvolver debates sobre

os impactos da tecnologia nas relações humanas, sejam elas locais ou globais, e suas implicações éticas, morais, culturais, sociais, políticas e econômicas, e sobre seus riscos e benefícios para o desenvolvimento sustentável e a preservação da vida no planeta.

Neste caso, não há tópicos elencados diretamente correlacionados à FMC, mas o desenvolvimento desta terceira competência é beneficiado explorando temas desta área, através dos quais pode-se promover grandes e enriquecedores debates. Como

exemplos de temas, podem ser citados os efeitos da radiação nos seres vivos, o uso da radiação na saúde, os perigos da energia nuclear, dentre outros.

Percebe-se, portanto, que a FMC está presente no cotidiano, não só dos alunos, mas de toda a sociedade, tornando-se algo muito importante, de modo geral. Todos os grandes avanços tecnológicos dos últimos anos estão de alguma forma ligados às descobertas e avanços da FMC. Desta maneira, justifica-se o respectivo destaque dado à FMC pelos principais documentos norteadores do currículo do ensino médio, os PCNEM e PCNEM+ que estão em vigor desde o início do século XXI e que atualmente estão sendo complementados pela BNCC.

2. 2 FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA

A Física pode ser dividida em três fases de desenvolvimento: Física Clássica, Física Moderna e Física Contemporânea.

- Física Clássica: compreende os conteúdos relacionados à: Mecânica, Termodinâmica, Eletromagnetismo, Ótica, Ondas e Hidrodinâmica. Desenvolvidos até o final do século XIX.

- Física Moderna: Compreende as grandes descobertas e ideias, que surgiram nos últimos anos do século XIX até as décadas de 30 e 40. Nesse período foi descoberta a radioatividade, utilizada para compreender a estrutura dos átomos. Posteriormente, o desenvolvimento da Mecânica Quântica sacudiu as bases da Física Clássica e o desenvolvimento da Teoria da Relatividade modificou os conceitos de espaço e tempo.

- Física Contemporânea: compreende todas as descobertas e avanços científicos ocorridos nos anos 40 até atualmente. A descoberta do nêutron e da fissão nuclear, a detecção do múon dentre outras, levaram a inúmeros resultados experimentais e teóricos para a Física. (MOREIRA, 2009; ALVES, 2018).

Nesta seção, são abordados alguns tópicos de Física Moderna e Contemporânea (FMC) fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho. Para tanto, são apresentados os fundamentos de Mecânica Quântica e os principais conceitos relacionados à Física Atômica e Nuclear, bem como sua evolução histórica.

2. 2. 1 O Nascimento da Mecânica Quântica

As bases da Mecânica Quântica estão relacionadas a fenômenos não explicados de forma satisfatória pela Física Clássica, como a radiação de corpo negro e o efeito fotoelétrico. Para explicar estes fenômenos foi necessária uma revolução nos conceitos.

Os estudos da radiação térmica emitida por corpos opacos indicaram os primeiros indícios da natureza quântica da matéria. Quando a radiação incide num corpo opaco, uma parte é refletida e a outra parte é absorvida. Quando um corpo absorve toda a radiação incidente é chamado de corpo negro ideal. Um corpo negro emite radiação na mesma eficiência que absorve. Os valores da distribuição espectral da radiação emitida por um corpo negro foram obtidos de forma experimentais. No contexto teórico houve duas tentativas de explicação para o fenômeno utilizando os conceitos da Física Clássica, que se mostraram falhas em alguns comprimentos de onda da radiação. A primeira, a equação de Wein, que falhava para a radiação infravermelha, a segunda, a equação de Rayleigh-Jeans, que falhava na faixa da radiação ultravioleta, ficando conhecida como a catástrofe de ultravioleta.

Max Planck, em 1900, propôs uma solução. Segundo a proposta de Planck, a radiação térmica de um corpo negro não poderia ser emitida em qualquer energia, mas apenas em determinados valores. Esses valores seriam múltiplos inteiros de um valor mínimo fundamental de energia, denominado *quantum*, determinado pela frequência do oscilador. Então a energia desta radiação é determinada pela seguinte equação $E = nhf$. Em que n é um número inteiro, h é a constante de Planck, com valor igual à $6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$ e f é a frequência, com unidade de medida no Sistema Internacional (SI) [Hz].

A partir dessa ideia e empregando um grande tratamento matemático, ele chegou a uma equação que descreve a distribuição espectral da radiação e que estava de acordo com os valores experimentais, denominada lei de Planck:

$$u(\lambda) = \frac{8\pi hc\lambda^{-5}}{e^{hc/\lambda kT} - 1}$$

Onde: h é a constante de Planck, $6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$;

c é a velocidade da luz, aproximadamente, $3 \times 10^8 \text{ m/s}$;

k é a constante de Boltzmann, $1,38 \times 10^{-23} \text{ J.K}^{-1}$;

T é a temperatura - [K];

λ é o comprimento de onda - [m] (DIONÍSIO, 2004; TIPLER; LLEWELLYN, 2017).

Outro fenômeno que estava causando sérios problemas para descrevê-lo utilizando os conceitos clássicos era o efeito fotoelétrico. Esse tinha sido observado pela primeira vez em 1887, por Heinrich Hertz. Em 1905, Albert Einstein propôs que a quantização da energia proposta por Planck era uma característica universal da luz. A luz, em vez de ser distribuída uniformemente pelo espaço que se propaga, é constituída por *quantum* de energia igual à hf . O *quantum* foi denominado de fóton.

Com isso, era possível explicar o fenômeno do efeito fotoelétrico, onde os elétrons responsáveis pela corrente eram arrancados da superfície de um metal, nos eletrodos, devido ao uso de radiação luminosa, no experimento realizado por Hertz. Einstein deduziu que existia uma dependência entre a emissão e a frequência da radiação incidente. A energia necessária para retirar um elétron do material seria absorvida numa única interação entre a radiação e o elétron. Se a radiação absorvida não possuísse a energia necessária, determinada pela frequência, o elétron não escaparia do material. Para isso ocorrer, a radiação eletromagnética teria que ser considerada como sendo constituída de partículas, e não como uma onda. (GRECA; HERSCOVITZ, 2002; TIPLER; LLEWELLYN, 2017).

Uma propriedade básica e muito importante da matéria, sob o ponto de vista da Mecânica Quântica, é a dualidade onda-partícula, que consiste na capacidade de partículas se comportarem e terem propriedades tanto de partículas quanto de ondas. Essa foi proposta pela primeira vez pelo físico francês Louis-Victor de Broglie, que se baseou no efeito fotoelétrico, no qual a luz (ondas) se comporta como partículas. De Broglie associou o fenômeno inverso, que as partículas se comportam como uma onda. Ele relacionou o comprimento de onda com a massa e a velocidade da partícula, pela seguinte equação $\lambda = \frac{h}{mv}$, onde mv representa o momento - [kg.m/s], λ é o comprimento de onda - [m] e o h é a constante de Planck - $6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$. A partir da equação, pode-se perceber que quanto maior for a massa e a velocidade de uma partícula, menor será o comprimento de onda. O comprimento de onda pode ser muito pequeno, em corpos macroscópicos, mas nunca será nulo. (MENDES, 2009).

O Princípio de Incerteza, formulado por Werner K. Heisenberg em 1927, é um dos pilares da Mecânica Quântica. O princípio define que não é possível ter valores

definidos para duas grandezas conjugadas, como posição e momento, e tempo e energia, em um estado quântico.

Ao fazer uma medição de uma partícula quântica, pode-se determinar a componente p_x de seu momento com uma incerteza Δp_x , mas não será possível, ao mesmo tempo, medir a componente x da posição com uma incerteza Δx menor que $\frac{h}{\Delta p_x}$. O Princípio da Incerteza, para ser descrito matematicamente, define-se Δx e Δp como desvios-padrões e o valor mínimo do produto entre as duas grandezas é $\hbar/2$ ($\hbar = h/2\pi = 1,054 \times 10^{-34} \text{ J.s}$). Assim pode ser expressa pela seguinte equação $\Delta x \Delta p \geq \hbar/2$. O Princípio da Incerteza ajuda a explicar a existência das partículas virtuais que mantêm o núcleo unido e as flutuações quânticas que podem ter dado origem ao Big Bang. O fenômeno é uma impossibilidade imposta pela natureza, que independe da precisão dos sistemas de medição. (GRECA; HERSCOVITZ, 2002; TIPLER; LLEWELLYN, 2017).

2. 2. 2 Fundamentos de Física Atômica e Nuclear

Nessa seção são apresentados os principais tópicos relativos aos modelos atômicos de Rutherford, Bohr e quântico atual (átomo de Schrödinger), à radioatividade, ao núcleo atômico e suas reações e ao Modelo Padrão.

2. 2. 1. 1 Modelos Atômicos

O modelo atômico de Thomson, conhecido como pudim de passas, começou a cair em descrédito, após uma série de experimentos de Ernest Rutherford e seus alunos H. W. Geiger e E. Marsden. Enquanto investigavam a radioatividade, descobriram que o urânio emitia outros dois tipos de partículas, que foram chamadas de α (alfa) e β (beta). Descobriram que as partículas α eram carregadas positivamente. Em outro experimento bombardearam uma folha fina de ouro com a partícula α , mas nem todas as partículas atravessaram, algumas voltaram, como se tivessem colidido com algo. Como isso não estava previsto, foi necessário reformular o modelo atômico.

Rutherford publicou um artigo, em 1911, que descrevia seu modelo atômico. Nesse modelo, o átomo teria um núcleo muito pequeno, com carga positiva, e ao redor uma nuvem de elétrons, em forma de esfera. A massa do átomo estaria quase toda concentrada no seu núcleo. A teoria eletromagnética clássica, que fundamentou os

cálculos para o modelo atômico, seria aquela que tornaria o modelo teoricamente inviável. Os elétrons orbitando, pela Física Clássica, deveriam perder energia e sua trajetória seria uma espiral na direção do núcleo. Os átomos se desintegrariam em fração de segundo. (NISENBAUM, 2007; TIPLER; LLEWELLYN, 2017).

Na tentativa de resolver a instabilidade do modelo de Rutherford, Niels Henrik David Bohr propôs um novo modelo atômico, em especial para o átomo de hidrogênio, em que unia os trabalhos de Planck, Einstein e Rutherford. Bohr formulou a hipótese em que o elétron do hidrogênio girava em torno do núcleo positivo. A órbita do elétron poderia ser circular ou elíptica, mas Bohr utilizou órbitas circulares para facilitar os cálculos. O modelo era muito parecido com o de Rutherford.

Para explicar a estabilidade dos átomos, Bohr definiu dois postulados:

1 - **"Os elétrons se movem em certas órbitas sem irradiar energia"**. (TIPLER; LLEWELLYN, 2017, p. 104). As órbitas foram chamadas por Bohr de estados estacionários.

2 - **"Os átomos irradiam quando um elétron sofre uma transição de um estado estacionário para outro e a frequência f da radiação emitida está relacionada às energias das órbitas através da equação $hf = E_i - E_f$ "**. (TIPLER; LLEWELLYN, 2017, p. 104). A equação foi denominada condição de frequência de Bohr. Na equação:

h é a constante de Planck, $6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$;

f é a frequência - [Hz];

E_i é a energia do estado inicial - [J];

E_f é a energia do estado final - [J];

Bohr lançou o conhecido princípio de correspondência, um terceiro postulado, que serviu para determinar as energias dos estados estacionários:

"No limite de grandes órbitas e altas energias, os resultados quânticos devem coincidir com os resultados clássicos". (TIPLER; LLEWELLYN, 2017, p. 104).

De acordo com o princípio, quando qualquer mudança feita na Física Clássica, para descrever o comportamento em nível microscópico, for estendida ao mundo macroscópico, os resultados devem ficar em acordo com as leis da Física Clássica. Bohr observou uma consequência do seu modelo, o momento angular do elétron do

átomo de hidrogênio só poderia assumir valores iguais $nh/2\pi$ em que o n é um número inteiro.

O modelo atômico de Bohr conseguia explicar o espectro do átomo de hidrogênio, que é a impressão digital do átomo, mas ainda apresentava deficiências. A principal era que o modelo não explicava os espectros atômicos mais precisos obtidos para o próprio átomo de hidrogênio e nem dos átomos mais complexos. Só foi possível explicá-los com o desenvolvimento de uma nova mecânica, baseada na teoria quântica. (NISENBAUM, 2007; TIPLER; LLEWELLYN, 2017; ROCHA; MORENO, 2013).

O cientista austríaco Erwin Rudolf Josef Alexander Schrödinger tendo como base as ideias de De Broglie sobre as ondas de matéria, a mecânica das matrizes, a partir da qual Heisenberg demonstrou o princípio da incerteza, buscava um formalismo para a mecânica quântica semelhante ao aplicado às ondas mecânicas e eletromagnéticas. Em 1926, ele publicou um artigo onde apresenta a equação de onda, uma equação diferencial parcial que descreve o estado quântico de um sistema físico em função do tempo. Ficou conhecida como equação de Schrödinger:

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2 \psi(x, t)}{\partial x^2} + V(x, t) \psi(x, t) = i\hbar \frac{\partial \psi(x, t)}{\partial t}$$

Acima está a equação de Schrödinger para uma partícula de massa m , em uma dimensão, em termos das grandezas: x (posição - [m]); t (tempo - [s]), m (massa da partícula - [kg]), $V(x, t)$ (função potencial percebida pela partícula), \hbar é a constante reduzida de Planck ($1,054 \times 10^{-34} \text{ J.s}$) e $\Psi(x, t)$ é a função de onda, onde i é a raiz quadrada de -1 .

A equação de Schrödinger independente do tempo e em três dimensões, tem a seguinte forma, onde E é energia da partícula:

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \left(\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} \right) + V\psi = E\psi$$

A partir dessa equação, o modelo atômico quântico foi desenvolvido. Mesmo assim, a equação foi precisamente resolvida somente para o átomo de hidrogênio. Para os outros átomos, a equação não tem solução analítica e é necessário utilizar métodos de aproximação, como os métodos da Mecânica Quântica para um sistema com dois ou mais elétrons no potencial do núcleo. Dessa forma, chegando em resultados muito satisfatórios.

No modelo quântico, as órbitas definidas do átomo de Bohr são substituídas pelo conceito de orbital, que é uma região do espaço com maior probabilidade de encontrar o elétron. Os números quânticos do elétron, que definem a geometria dos orbitais, são introduzidos da seguinte forma:

- Número quântico principal (n): define a distância média do elétron ao núcleo do átomo, estando relacionado com a energia do orbital. O número quântico principal pode assumir valores inteiros positivos. Orbitais com o mesmo valor de n , tem o mesmo nível de energia.

- Número quântico secundário (l): Também denominado número quântico de momento angular orbital. Define o momento angular do elétron e indica o subnível que o elétron ocupa (s, p, d, f) e a forma dos orbitais em cada subnível.

- Número quântico magnético (m ou m_l): Define a orientação dos orbitais no espaço. O m_l é limitado pelo valor de l ($+l$ a $-l$), isto é, para $l = 2$, m_l só poderá variar em valores inteiros de $+2$ a -2 .

- Número quântico magnético de spin (s ou m_s): tem relação com o spin do elétron (é um fenômeno totalmente quântico, sem análogo clássico). O s tem dois valores possíveis, um positivo e outro negativo, dependendo da orientação do spin, $+1/2$ (\uparrow) ou $-1/2$ (\downarrow), relacionado à direção do campo magnético interno do átomo. (NISENBAUM, 2007; TIPLER; LLEWELLYN, 2017; OLIVEIRA; FERNANDES, 2006).

2. 2. 1. 2 Núcleo Atômico e Radioatividade

A partir da descoberta da radioatividade, dos estudos sobre a mesma, realizados principalmente pelos cientistas, Antoine Henri Beckerel, Pierre Curie e Maria Curie, da proposta de modelo atômico de Rutherford, prevendo a existência de um núcleo, e da descoberta do nêutron por James Chadwick em 1932 se deu o início dos estudos sobre o núcleo dos átomos. Ficou estabelecido que o núcleo é formado por prótons (p), com carga elétrica positiva e nêutrons (n), com carga neutra, chamados também de núcleons.

O núcleo de cada elemento químico tem um número atômico (Z), igual ao número de prótons e de elétrons. Contém também o número de nêutrons (N), que junto com o número atômico forma o número de massa (A), $A = N + Z$.

Átomos com núcleos pesados, possuem o número de massa elevado e têm o núcleo em forma aproximadamente esférica, com algumas exceções. Essas exceções

são principalmente dos elementos com número atômico entre $Z = 57$ e $Z = 71$. O núcleo desses elementos tem forma elipsoidal, mas a diferença entre o comprimento do eixo maior e o menor é menos de 20%. Então, pode-se estimar o raio do núcleo, procedimento normalmente efetuado por experiências de espalhamento de partícula por núcleos de elementos químicos. As experiências demonstram que o raio nuclear pode ser estimado pela seguinte equação: $R = r_0 A^{1/3}$.

onde r_0 é a constante de raio, cujo valor varia nos limites $(1, 1 - 1, 5) \cdot 10^{-15}$ m;

A é o número de massa,

R é o raio nuclear [m].

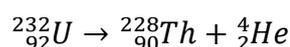
O raio de um núcleo é aproximadamente dez mil vezes menor que o raio do átomo a que pertence. Ao mesmo tempo, o núcleo contém cerca de 99,9% da massa do átomo.

A maioria dos núcleos são instáveis, isto é, as combinações de prótons e nêutrons não formam configurações nucleares estáveis. Os núcleos instáveis são chamados de radioativos, por emitirem radiação, tanto partículas (α , elétrons, neutrinos, entre outros) quanto ondas eletromagnéticas (fótons).

A radiação foi descoberta, em 1896, por Antoine Henri Becquerel, mas foi Rutherford que descobriu como se dava a emissão da radiação. Ele descobriu que a taxa de emissão de radiação por uma substância radioativa diminui de forma exponencial com o tempo. Essa variação é uma característica dos fenômenos envolvendo radioatividade.

De modo geral, os núcleos radioativos tendem a decair para núcleos estáveis, esse decaimento ocorre principalmente nos seguintes modos: alfa (α), beta (β) e gama (γ).

- *Decaimento alfa*: nesse processo o núcleo instável emite uma partícula α , que é composta por dois prótons e dois nêutrons, ou seja, um núcleo de hélio. Um exemplo é o decaimento do núcleo de urânio 232:



Os núcleos que emitem partícula α são, principalmente, os com número de massa grande. As partículas α , normalmente, podem ser bloqueadas facilmente, como por uma folha de papel.

- *Decaimento beta* (emissão β^-): Um átomo pode ser instável quando o número de nêutrons é maior que o número de prótons. O número de nêutrons pode ser

diminuído pela transformação de um nêutron em um próton, com a emissão de um elétron e de um antineutrino: $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$.

Um exemplo é o decaimento do ouro 198:



- *Decaimento beta* (emissão β^+): Quando um próton se transforma em um nêutron e emite um pósitron e um neutrino: $p \rightarrow n + e^+ + \nu_e$.

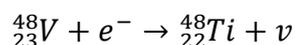
Um exemplo é o decaimento do potássio 40:



As partículas β , na maioria das vezes, podem ser bloqueadas por uma lâmina de alumínio com cerca de 6 mm de espessura.

- *Decaimento beta* (Captura eletrônica): Nas camadas mais internas do átomo, os elétrons podem se aproximar muito do núcleo. Nessa situação, um próton do núcleo pode capturar um elétron. A captura eletrônica é seguida de uma emissão de radiação eletromagnética, resultante da passagem de um elétron de um nível mais energético para o nível do elétron capturado. O resultado é a substituição, no núcleo, de um próton por um nêutron e a emissão de um neutrino: $p + e^- \rightarrow n + \nu$.

Um exemplo de captura eletrônica é a transformação do vanádio 48 em titânio 48:



Como o principal efeito da captura eletrônica é a transformação de um próton em um nêutron, o efeito no núcleo do átomo é idêntico ao do decaimento beta por emissão β^+ .

- *Decaimento gama*: Nesse processo ocorre a emissão de radiação eletromagnética em elevadas frequências, na faixa do espectro eletromagnético dos raios γ . A emissão é causada pelo rearranjo dos prótons no núcleo.

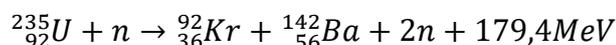
O decaimento gama pode ocorrer quando um átomo instável sofre um decaimento alfa ou beta, mas se encontra em estado excitado, emitindo radiação γ até passar para o estado fundamental. A emissão de um fóton γ por um núcleo não causa nenhum efeito sobre o número atômico ou número de massa, pois o fóton γ tem massa de repouso e carga elétrica nulas. Para bloquear os fótons γ é preciso uma lâmina de chumbo com vários centímetros de espessura.

2. 2. 1. 3 Reações Nucleares

Duas importantes reações nucleares são a fissão e a fusão nuclear. A fissão nuclear pode ser conduzida artificialmente no interior dos reatores nucleares, em usinas nucleares. Já a fusão nuclear ocorre no interior das estrelas, como o Sol.

- Fissão nuclear: Em 1938, O. Hahn e F. Strassmann descobriram a fissão nuclear, posteriormente N. Bohr e J. Wheeler propuseram um tratamento teórico, mas foi em 1942 que se produziu a primeira reação em cadeia de fissão nuclear controlada, por E. Fermi. A fissão é um processo em que um núcleo, com número de massa elevado, se divide em dois fragmentos de número de massa aproximados e está relacionado a uma instabilidade dinâmica do núcleo. Naturalmente, a probabilidade de fissionar é baixa, mas artificialmente é muito elevada. Uma forma de provocar a fissão é por meio do bombardeamento de nêutrons, para que o núcleo os capture.

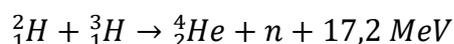
Quando o urânio 235 captura um nêutron, tem 85% de chances de sofrer uma fissão nuclear. Se ocorrer a fissão, há uma liberação de vários nêutrons, o que possibilita conduzir uma reação em cadeia, e promove elevada liberação de energia. Uma reação comum de fissão nuclear é com o urânio 235, de seguinte forma:



O núcleo de urânio 235 captura um nêutron, tornando-se urânio 236, então, fissiona em um núcleo de criptônio 92 e um núcleo de bário 142, dois nêutrons e libera 179,4 MeV de energia.

- Fusão nuclear: é um processo em que dois núcleos leves, colidem e formam um núcleo maior. Para ocorrer a fusão é preciso que os núcleos tenham energia cinética que os permita se aproximarem o necessário para que a força nuclear forte atue entre eles. Esta reação é mais facilmente provocada entre núcleos com número pequeno de prótons, como o deutério (${}^2_1\text{H}$) e o trítio (${}^3_1\text{H}$), a uma temperatura da ordem de 10^7 K, onde os átomos estariam completamente ionizados. Além disso, a densidade de matéria presente na reação deve ser extremamente alta.

A reação mais típica é a fusão envolvendo deutério (${}^2_1\text{H}$) e trítio (${}^3_1\text{H}$), da seguinte forma:



Um núcleo de deutério e um núcleo de trítio se aproximam tanto, que se fundem surgindo um núcleo de hélio, um nêutron e a liberação de 17,2 MeV de energia. Esta reação de fusão nuclear libera bem mais energia por quilograma de reagente do uma

reação de fissão nuclear, mas ainda não foi desenvolvida tecnologia que a mantenha de forma controlada e sustentável.

A energia liberada tanto na fissão como na fusão nuclear, é produzida a partir da conversão de massa em energia, podendo ser calculada pela equação $E = mc^2$. Esta foi proposta por Einstein num artigo, no início do século XX, estabelecendo uma equivalência entre massa e energia de um corpo. A equação acima, é uma versão reduzida e específica para um corpo com massa e em repouso, da seguinte equação relativística:

$$E = \sqrt{p^2 c^2 + m^2 c^4}$$

c é a velocidade da luz, aproximadamente, 3×10^8 m/s;

m é a massa - [kg];

p é o momento linear - [kg.m/s];

E é a energia - [J].

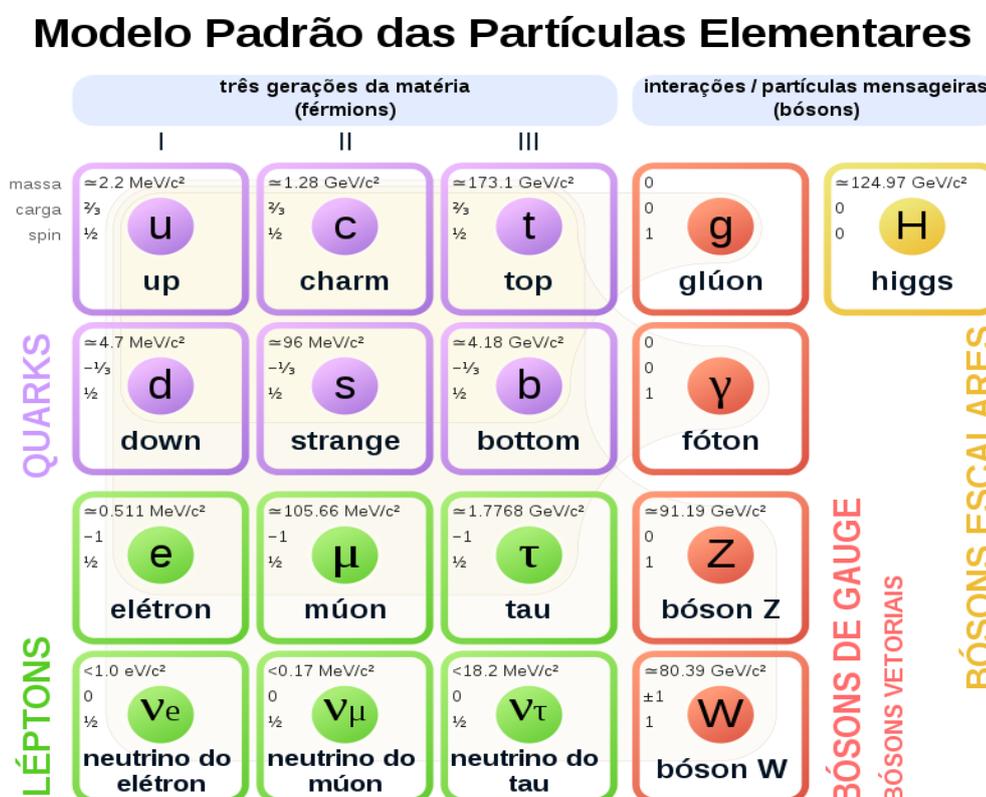
(TIPLER; LLEWELLYN, 2017; SOUZA; DANTAS, 2010; SMIRNOV, 2012; PALANDI *et al*, 2010; LEMOS, 2001).

2. 2. 1. 4 Modelo Padrão

Com todas as descobertas e os conhecimentos sobre a estrutura e a composição da matéria, abordados acima, além do desenvolvimento e construção de aceleradores de partículas, foi possível teorizar e descobrir as partículas fundamentais. Após alguns anos de muitos estudos, pesquisas e experimentos, foi desenvolvida a teoria do Modelo Padrão. Esta teoria une três teorias anteriores, a teoria dos quarks, a teoria eletrofraca e a Cromodinâmica quântica (teoria da força nuclear forte).

Segundo o Modelo Padrão, todas as partículas são classificadas em três tipos, léptons, quarks e partículas mediadoras (bósons), responsáveis pelas interações fundamentais. Os léptons e quarks podem ser divididos em três gerações da matéria. A primeira geração constitui, praticamente, toda a matéria conhecida, por serem partículas estáveis. A segunda e terceira gerações são formadas por partículas instáveis, que podem ser criadas em aceleradores de partículas, por breves momentos, e após, decaem para as partículas da primeira geração. A figura 1 apresenta estas partículas que serão detalhadas a seguir:

Figura 1 – Modelo Padrão: quarks, léptons e bósons, com os dados de massa, carga e spin



Fonte: Modelo... (2020).

- Léptons

Existem três gerações de léptons, cada uma formada por uma partícula com carga e um neutrino correspondente: elétron (e) - neutrino do elétron (ν_e), múon (μ) - neutrino do múon (ν_μ) e táuon (tau) (τ) - neutrino do táuon (tau) (ν_τ), conforme apresenta a figura 1. O lépton mais conhecido é o elétron e é o único estável entre as partículas carregada. Léptons são férmions, por terem spin $1/2$ e podem ser encontrados separadamente.

- Quarks:

Existem três gerações de quarks e cada uma tem seis partículas com carga. Os quarks são responsáveis pela maior parte da massa do universo. Nunca foi observado um quark isolado, sempre ligados entre si, com algum dos 18 quarks ou um dos 18 antiquarks, formando os hádrons.

Existem seis sabores de quarks: *up* (u), *down* (d), *charm* (c), *strange* (s), *top* (t) e *bottom* (b), indicados na figura 1. Cada um desses quarks tem uma propriedade

denominada cor, a qual assume três valores: vermelho, azul e verde, representados respectivamente, pelas letras: r, b e g. Quarks são férmions, por terem spin 1/2.

- Hádrons

Hádrons não são partículas elementares e são de dois grupos: Bárions e Mésons.

- Bárions: São férmions (spin fracionado) formados por três quarks. Alguns exemplos de bárions são apresentados no quadro 4.

Quadro 4 – Exemplos de bárions e suas composições de quarks

| Bárions | Composição |
|-------------|------------|
| Próton | duu |
| Nêutron | ddu |
| Lambda | dus |
| Sigma mais | uus |
| Sigma menos | dds |
| Delta mais | ddd |
| Omega menos | sss |

Fonte: Adaptado de Ostermann (1999).

- Mésons: São bósons (spin inteiro) formados por um quark e um antiquark. Alguns exemplos de mésons são apresentados no quadro 5.

Quadro 5 – Alguns exemplos de mésons e sua composição de quarks e antiquarks

| Mésons | Composição | |
|----------|------------|------------|
| | Quarks | Antiquarks |
| Pi menos | d | \bar{u} |
| Pi mais | u | \bar{d} |
| K zero | d | \bar{s} |
| K mais | u | \bar{s} |
| K menos | s | \bar{u} |
| Fi | s | \bar{s} |

Fonte: Adaptado de Ostermann (1999).

- Bósons

Todas as forças observadas na natureza, estão relacionadas a quatro interações básicas, ligadas a partículas elementares (bósons), que possuem spin inteiro. Podem ser classificadas em ordem decrescente de intensidade: 1) interação nuclear forte; 2) interação eletromagnética; 3) interação nuclear fraca; 4) interação gravitacional.

A interação nuclear forte é responsável pela união do núcleo atômico, agindo entre os quarks e as partículas formadas pelos mesmos. O raio de alcance da interação é muito pequeno, na ordem de 10^{-15} m e o tempo de interação é de 10^{-23} s. A partícula mediadora responsável pela força é o glúon (g).

A interação eletromagnética é a força dominante em escalas maiores que a subatômica e menores que a astronômica. Qualquer partícula com carga elétrica ou momento magnético atua na interação eletromagnética. O alcance da força é infinito, mas é, aproximadamente, 137 vezes menor que a força nuclear forte. O tempo de interação é da ordem de 10^{-18} s. A partícula mediadora responsável pela interação é o fóton (γ).

Todos os quarks e léptons estão sujeitos a interação nuclear fraca, que tem alcance da ordem de 10^{-18} m, menor que a da força forte. O tempo de interação varia entre 10^{-16} s e 10^{-10} s. A intensidade é em torno de 10^5 vezes menor que a força forte. A interação fraca tem três partículas mediadoras: W^+ , W^- (W vem da palavra "weak", significando "fraco") Z^0 (vem da palavra "zero"). As três partículas são bósons, como as outras partículas mediadoras. Um aspecto muito importante das partículas W^+ W^- alteram o sabor dos quarks. A força fraca interage em três reações: o espalhamento do neutrino do múon pelo elétron, o espalhamento do neutrino do elétron pelo múon e o decaimento beta.

A interação gravitacional é uma força a que todas as partículas estão sujeitas, mas nas partículas subatômicas, a influência é muito baixa. A força gravitacional tem intensidade relativa da ordem de 10^{-38} , em comparação à interação forte (intensidade 1). Seu alcance é infinito como a força eletromagnética, mas a intensidade é inversamente proporcional ao quadrado da distância. A partícula mediadora, na teoria é o gráviton, mas nunca foi observada experimentalmente. (TIPLER; LLEWELLYN, 2017; OSTERMANN, 1999; STEINKIRCH, 2020?).

-Bóson de Higgs

Em 1964, o físico britânico Peter Higgs teorizou a existência do bóson de Higgs. O bóson de Higgs é uma partícula elementar, com spin inteiro, prevista no Modelo

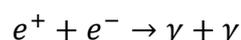
Padrão. A partícula seria responsável pela origem da massa das outras partículas elementares. Quando o bóson de Higgs interage com as outras partículas elementares, ela transfere a massa do campo de Higgs para a partícula.

Mas só após quase 50 anos de investigação, foi possível detectar o bóson de Higgs. Isso foi possível em experimentos no acelerador de partículas LHC, na Organização Europeia para a Investigação Nuclear (CERN). (PIMENTA *et al*, 2013).

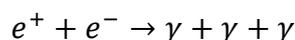
- Antipartículas

No mesmo ano da descoberta do nêutron, 1932, foi descoberta uma partícula com a mesma massa e mesmo valor da carga elétrica do elétron, mas com carga positiva. A partícula foi descoberta por Carl Anderson que a denominou de pósitron. Com essa descoberta e com o desenvolvimento da eletrodinâmica quântica (QED), uma das teorias com maior precisão nas suas confirmações, previa que para cada partícula, existia uma antipartícula, com a mesma massa e uma carga elétrica de sinal contrário. Todas as partículas elementares possuem sua antipartícula, mas partículas como prótons e nêutrons, que são formadas por partículas elementares, também possuem antipartículas. Em experimentos, já foram produzidos até átomos de anti-hidrogênio.

Quando uma partícula e uma antipartícula entram em contato, se aniquilam. Um exemplo é quando um pósitron e um elétron se encontram, elas se aniquilam através das seguintes reações:



Nessa reação, os spins do pósitron e do elétron estão antiparalelos e quando se aniquilam são formados dois fótons.



Nessa reação, os spins do pósitron e do elétron estão paralelos e quando se aniquilam são formados três fótons. (TIPLER; LLEWELLYN, 2017).

2. 2. 3 Aspectos Históricos da Física Atômica e Nuclear

Nessa seção são apresentados os aspectos históricos dos principais modelos atômicos, o grego, de Dalton, de Thomson, de Rutherford, de Bohr e de Schrödinger. Também constam aspectos históricos sobre a radioatividade e a Física Nuclear e, por último, são apresentados alguns sobre o Modelo Padrão.

2. 2. 3. 1 A Teoria do Atomismo e o Modelo Atômico de Dalton

A busca pelo entendimento da constituição da matéria do universo, inicia-se com os filósofos gregos, Anaximandro, Parmênides, Anaxágoras, entre outros. A concepção do átomo, como partícula constituinte da matéria, surgiu com o filósofo Leucipo de Abdera. Ele propôs que o constituinte básico da matéria seria formado por partículas minúsculas, indivisíveis e imutáveis, o átomo. Leucipo apresentou a sua teoria de que o mundo era composto apenas por átomos e pelo vazio, coexistindo pacificamente, pois eram as causas de tudo que existe. Um átomo era imutável, mas uma combinação de átomos poderia compor várias formas de matéria.

Tudo que se sabe sobre a teoria do atomismo foi relatado pelo discípulo de Leucipo, o filósofo Demócrito de Abdera, o mais conhecido defensor da teoria. Outro filósofo, grande defensor do atomismo foi Epicuro de Samos, um século após. Analisando a teoria atômica, percebe-se a influência de teorias de filósofos anteriores, como a de Anaximandro, a de Parmênides e a de Anaxágoras. Toda a teoria do atomismo não tinha comprovação experimental, estava toda baseada em ideias e filosofia, as quais eram muito bem aceitas na sociedade grega.

O primeiro modelo atômico científico foi desenvolvido por John Dalton a partir de seus estudos em meteorologia e seus registros meteorológicos diários, aproximadamente, duzentas mil observações. A descoberta de Lavoisier, de que o atmosférico era composto, no mínimo, por dois gases com peso diferente, também influenciou que Dalton, tornando a sua teoria atômica a primeira a se basear em resultados experimentais de outros estudiosos.

O modelo atômico inicialmente foi utilizado no estudo dos gases e Dalton manteve o antigo conceito do átomo: imutável e indestrutível. Não foi possível melhorar o conceito do átomo devido à inexistência de experimentos adequados. Dalton inovou quando agregou ao seu modelo atômico uma série de propriedades químicas considerando que substâncias diferentes possuem pesos diferentes, comportamentos químicos diferentes em substâncias distintas e sugeriu que as reações químicas separavam ou uniam as partículas constituintes matéria. (PINHEIRO; COSTA; MOREIRA, 2011).

2. 2. 3. 2 O Átomo Divisível: Primeiros Indícios

No final do século XIX, as pesquisas com raios X estavam com grande repercussão, o que levou o físico francês Antoine Becquerel a estudar estes raios e sua relação com a fluorescência. O estudo começou com substâncias que já eram classificadas como fosforescentes, como o sal de urânio. Ele envolveu uma chapa fotográfica em um papel para protegê-la da luz e colocou uma amostra do sal de urânio sobre o filme, expondo-o ao Sol por várias horas. Como era esperado a silhueta da amostra aparecia na chapa fotográfica, indicando que o sal de urânio havia emitido raios X. Ao colocar um material novo para a experiência em uma gaveta, constatou no dia seguinte, que o contorno da amostra era mais intenso do que o da amostra exposta ao Sol. Becquerel havia identificado um novo fenômeno: o sal de urânio era capaz de emitir uma radiação invisível capaz de penetrar no papel, mesmo sem estar exposto à luz solar.

No final de 1897, a física polonesa Marie Curie, iniciou os estudos sobre a radioatividade, na época conhecida como raios de Becquerel, para sua tese de doutorado. Marie Curie confirmou que esses novos raios eram uma propriedade dos átomos de algumas substâncias, que além do urânio, o tório também tinha essa propriedade. Foi ela que sugeriu o termo radioatividade para essa nova propriedade. Curie constatou que os raios X tinham poder de propagação muito maior que os raios emitidos, por exemplo, pelo urânio e pelo tório.

Com a ajuda de seu marido, Pierre Curie, ela realizou a descoberta de outros dois elementos com radioatividade, o polônio e o rádio. O prêmio de Nobel de Física de 1903 foi para o casal Curie e para Becquerel pelos estudos sobre radioatividade. Marie Curie recebeu o Nobel de Química, de 1911, pela identificação e pelos trabalhos com os elementos rádio e polônio.

Outro cientista que se destacou nas pesquisas sobre radioatividade foi Ernest Rutherford. Após receber uma bolsa de estudos no laboratório Cavendish, por dois artigos sobre a radioatividade, ele iniciou estudos sobre a capacidade de ionização dos raios emitidos pela radioatividade. Em 1898, ele identificou duas emissões radioativas, de tipos diferentes, os raios alfa (α) e beta (β). A diferença das emissões radioativas é o poder de ionização e de penetração na matéria. Os raios α possuem grande poder de ionização, mas um pequeno poder de penetração na matéria. Os

raios β possuem poder menor de ionização, mas um poder maior de penetração matéria.

Os estudos de Becquerel, Stefan Meyer, Egon Von Schweidler e Frederick Giesel, nos quais foi observado que essas radiações, quando submetidas a um campo magnético, sofriam uma deflexão, corroboraram para as conclusões de Rutherford. Em 1909, Rutherford com a colaboração do químico Thomas Royds, demonstrou, por meio da espectroscopia, que as partículas α eram núcleos de hélio e os raios β elétrons. Em 1900, o físico e químico Paul Villard descobriu um novo tipo de radiação, que era eletricamente neutra, e com grande poder de penetração na matéria, superior as outras radiações. Essa nova radiação foi denominada raios gama(γ).

Na mesma época da descoberta da radioatividade, ocorreu outra grande descoberta, a do elétron. Esta descoberta foi desencadeada pela busca dos cientistas europeus em entender a natureza dos raios catódicos. De um lado, alguns cientistas defendiam que eram constituídos por partículas com carga elétrica negativa, e de outro lado, defendiam que eram ondas.

Thomson repetiu o experimento de Hertz, que demonstrava que os raios catódicos tinham carga elétrica neutra. Porém, Thomson passou os raios catódicos por um campo elétrico formado por duas placas metálicas com cargas opostas, com um vácuo mais eficiente que o obtido pelo Hertz, e assim, conseguiu detectar que ocorria um desvio, comprovando que tinham carga negativa.

Refazendo o experimento, além do campo elétrico, foi introduzido um campo magnético, criando um equilíbrio entre os campos, fazendo com que os raios se movessem em linha reta. Assim, Thomson conseguiu calcular a razão carga/massa dos raios catódicos. Essa razão era sempre igual, independentemente da maneira que eram produzidos os raios.

Thomson percebeu que a massa dos raios catódicos era muito menor que a massa do átomo de hidrogênio (menor massa conhecida na época), concluindo que existiam partículas menores que o átomo.

A descoberta do elétron e da radioatividade, levaram à necessidade de um novo modelo atômico. Thomson, após a detecção do elétron e da identificação de que se tratava de uma partícula subatômica, elaborou um modelo para explicar o átomo. O seu modelo defendia que o átomo seria uma esfera com carga positiva, e os elétrons estariam imersos. Essa configuração seria adequada para garantir que os átomos

fossem neutros e com esse modelo, admitia que as emissões radioativas decorriam do movimento dos elétrons.

O modelo atômico de Thomson apresentava algumas inconsistências relacionadas à emissão de radiação; ao número de elétrons imersos nos átomos; ao espectro de emissões dos elementos químicos e à neutralização de cargas contrárias durante uma interação. Mas uma das principais inconsistências do modelo está relacionada ao experimento de Rutherford e de seus alunos Hans Geiger e Ernest Marsden. (PINHEIRO; COSTA; MOREIRA, 2011; BRENNAN, 2012).

2. 2. 3. 3 O Início da Física Nuclear

Esse experimento anteriormente citado foi de grande importância para o desenvolvimento do modelo atômico seguinte, de Rutherford. O experimento foi realizado, em 1909, e quando os alunos chegaram com os resultados para Rutherford, só havia duas possibilidades, ou o experimento possuía alguma falha ou a teoria do átomo necessitava ser revista. Mas só no início de 1911, Rutherford apresentou uma explicação, de que no interior do átomo precisava haver uma estrutura semelhante à partícula alfa, muito maior que um elétron. Rutherford nomeou essa estrutura interna de núcleo. Em maio de 1911, publicou seu artigo em que apresentava o novo modelo atômico, o átomo nuclear, que iniciou a era da Física Nuclear.

O modelo atômico de Rutherford ficou conhecido como modelo planetário, pois a dinâmica era muito parecida com o Sistema Solar. Segundo o modelo, o núcleo positivo se encontra no centro do átomo e os elétrons orbitam ao redor desse núcleo. Pela teoria Eletromagnética de Maxwell, o modelo de Rutherford seria instável, pois os elétrons irradiariam energia e girariam em espiral para o núcleo. Seria uma “catástrofe atômica” com a instabilidade do átomo. Mas essa conclusão contradiz experimentos e cálculos sobre dimensões moleculares e atômicas de Perrin, Paul, Langevin e Einstein. O modelo atômico de Rutherford permaneceu em um impasse, que só seria resolvido pelas contribuições de Niels Henrik David Bohr.

Em setembro de 1911, o jovem físico Bohr, chegou na Inglaterra para trabalhar no Laboratório de Cavendish. Mas não chegou a ir, pois conheceu Rutherford e acabou indo trabalhar na universidade em que este trabalhava, em Manchester. A colaboração entre os dois físicos foi muito duradora e marcou a história da Física Quântica.

O principal motivo, que impulsionou os trabalhos de Bohr sobre o átomo, foi a instabilidade no modelo anterior. Ele não descartou o modelo planetário, mas introduziu o conceito quântico de energia para corrigir a instabilidade. Ele definiu que o elétron só poderia se mover em determinadas órbitas, nas quais não irradiaria energia. Essas órbitas estariam afastadas a distâncias definidas do núcleo atômico. Um pouco antes de apresentar seus artigos com seu modelo atômico, Bohr o relacionou com o espectro de emissão, que explicava as séries de Balmer e Paschen, no espectro do hidrogênio. Com os trabalhos de Bohr e Rutherford iniciou-se um novo ramo da Física, a Física Atômica.

Nos anos seguintes, uma descoberta, muito importante para a Física Atômica e Nuclear, foi a do próton. O próton foi descoberto, em 1919, por Rutherford através do bombardeamento do nitrogênio por partículas alfas, resultando num oxigênio 17 e mais um núcleo de hidrogênio, um próton. Nessa época, acreditava-se que o próton era uma partícula elementar, mas atualmente sabe-se que é formado por três outras partículas elementares, os quarks. (PINHEIRO; COSTA; MOREIRA, 2011; BRENNAN, 2012; ABDALLA, 2005; RIBEIRO FILHO, 2011; SILVEIRA; PEDUZZI, 2006).

2. 2. 3. 4 Modelo Atômico Quântico Atual

Em 1924 foi proposto o princípio da dualidade onda-partícula, por De Broglie (apresentado na seção 2. 2. 1). Com base na dualidade da luz, que tinha sido comprovada experimentalmente no ano anterior, pelo experimento do efeito Compton.

Schrödinger, em sua universidade, foi destinado a apresentar uma palestra sobre o princípio físico da tese de De Broglie. Assim, ele decidiu, inspirado no princípio da dualidade onda-partícula e alguns recursos matemáticos, encontrar a equação de onda não relativística do elétron e, posteriormente, dar caráter corpuscular para aquela onda. Todo o trabalho, para chegar nessa equação (equação de Schrödinger), foi descrito em sete artigos publicados por Schrödinger. A equação se tornou fundamental para a Teoria Quântica não Relativística, e a mais famosa formulação matemática da Teoria Quântica, a Mecânica Ondulatória. Foi utilizada na resolução de muitos sistemas quânticos.

O sucesso da equação foi muito repentino. Pois através de cálculos elaborados com a equação foi possível reproduzir os resultados de De Broglie, do átomo de Bohr,

explicar o espectro de emissão do átomo de hidrogênio e todos os outros resultados da velha Teoria Quântica. Todos os resultados obtidos pela Mecânica Matricial, de Heisenberg, eram reproduzidos pela solução da equação de Schrödinger, apesar das duas serem muito distintas. Para entender a relação entre as duas mecânicas e unificá-las foi preciso introduzir o operador, uma noção importante da Álgebra.

Tendo a equação de Schrödinger, como base os trabalhos de outros grandes cientistas, foi possível compreender a estrutura do átomo com grande precisão. Um dos cientistas que realizou grandes contribuições foi Wolfgang Pauli, que em 1927, melhorou a equação de Schrödinger incluindo o spin do elétron. Ele também propôs o famoso Princípio da Exclusão, que não permitia dois elétrons iguais juntos. Com isso, os físicos G. Uhlenbeck e S. Goudsmit, que descobriram o spin do elétron, postularam a necessidade de um novo número quântico, o número quântico de spin. Esse seria o quarto número, além do número quântico principal, orbital e magnético, que já eram obtidos pela solução da equação de Schrödinger.

Outro cientista que deu grandes contribuições para entendimento no mundo quântico, foi Paul Marie Adrien Dirac. Em 1930, ele desenvolveu uma nova Mecânica que unia a matricial e a ondulatória, e era relativística. Conseguindo assim explicar a estrutura do espectro de emissão do hidrogênio, o número quântico de spin e previa a existência de elétrons com carga positiva.

Essa partícula foi detectada pelo físico Carl Anderson, em 1932. A descoberta experimental ocorreu quando ele estudava o desvio magnético dos raios cósmicos quando atravessavam placas de chumbo. Foi Anderson que nomeou essa partícula de pósitron. Assim, um conceito novo surgiu, o de antipartícula, e de que todas as partículas teriam sua própria antipartícula.

Nessa mesma época, estudos envolvendo a estrutura do núcleo atômico, através da massa, carga e spin de possíveis componentes mostraram que não era possível o núcleo atômico ser formado só por prótons. Foi proposta a existência de uma outra componente com massa igual ao próton, mas sem carga elétrica. Em 1932, Chadwick em um experimento em que bombardeava o metal berílio com partículas alfa, percebeu que na reação havia uma partícula parecida com o próton, mas sem carga elétrica. Com a descoberta do nêutron foram definidos dois parâmetros: número de massa de um átomo (A), que indica o número de prótons e nêutrons no núcleo; número atômico (Z), que indica o número de prótons. (PINHEIRO; COSTA; MOREIRA, 2011; BRENNAN, 2012; RIBEIRO FILHO, 2011).

2. 2. 3. 5 Reações Nucleares

No final da década de 30, Otto Hahn, Fritz Strassmann e Lise Meitner estudavam a desintegração de núcleos de urânio por nêutrons. A partir disso, descobriram que quando bombardeavam os átomos de urânio, podia-se partir o núcleo e ocorria liberação de energia. Meitner e Otto Frisch, analisaram os dados obtidos e concluíram que havia ocorrido uma fissão do urânio em dois átomos mais leves e a liberação de energia. Juntos eles escreveram um artigo sobre a descoberta. Bohr tomou conhecimento da descoberta, pois Otto Frisch trabalhava em seu laboratório, e o fato chamou de imediato sua atenção.

A descoberta tinha implicações impressionantes, pois mostrava que era possível converter massa em energia, que havia sido demonstrado teoricamente por Einstein, em 1905. Outro ponto que chamou atenção foi que se ocorresse uma reação em cadeia de fissão poderia causar uma grande liberação de energia e conseqüentemente uma explosão. Bohr e John Wheeler começaram a trabalhar na tentativa de entender todo o processo de fissão. Em um artigo publicado em 1939, pelos dois, foi explicado o processo de fissão nuclear e que somente ocorria nos núcleos de do urânio 235, um isótopo.

Bohr e John Wheeler também perceberam que os átomos mais pesados eram mais instáveis e propensos a fissionar, se bombardeados com partículas suficientemente fortes, em duas ou mais partes, liberando muita energia. O processo contrário, fusão nuclear, seria esperado quando núcleos de átomos leves fossem reunidos muito próximos. Essas descobertas foram importantes para a compreensão do núcleo atômico e da liberação de energia nuclear, que poderia ocorrer de maneira lenta e controlada, em reatores de usinas nucleares, ou de maneira rápida e descontrolada, em uma bomba nuclear.

Tanto a fusão como a fissão nuclear foram utilizadas primeiramente no desenvolvimento das bombas nucleares durante e após a Segunda Guerra Mundial. A fissão nuclear foi utilizada na produção de energia nas usinas nucleares, mas a fusão se mostrou bem mais difícil de ser obtida para esta finalidade. (BRENNAN, 2012).

2. 2. 3. 6 A Busca pelas Partículas Elementares

A partir da década de 30, foi necessário o desenvolvimento de instrumentos de pesquisa com a finalidade de estudar o átomo, raios cósmicos e detectar novas partículas. Alguns exemplos são: o gerador de Van der Graaff utilizado para acelerar cátions H^+ , D^+ (deutério) e partículas alfa; o ciclotron utilizado para acelerar prótons, íons de deutério e partículas alfa; o síncroton utilizado para acelerar íons por órbitas de raio constante a energias de bilhões de elétrons-volts; o sincrociclotron, um acelerador com frequência modulada que acelera partículas a energias muito elevadas; o bétraton, um acelerador de forma circular, utilizado para acelerar especificamente elétrons; o acelerador linear, utilizado para acelerar elétrons, prótons, íons de mercúrio, íons de deutério, íons de carbono e outros, por percurso linear.

Com o avanço tecnológico durante o século XX e o início do século XXI, os aceleradores de partículas foram, desses citados acima, aos grandes aceleradores/colisores de partículas atuais. Os dois maiores atualmente são: o Tevatron do Fermilab, em Batavia, Illinois; o LHC (Grande Colisor de Hádrons) do CERN, em Genebra na Suíça. Esses colisores contribuíram muito com experimentos para testar uma das mais avançadas teorias da Física, o Modelo Padrão. Nesses aceleradores foram detectadas muitas das partículas presentes neste modelo.

A teoria do Modelo Padrão foi proposta na década de 70, se tornando a teoria oficial da Física de partículas elementares. O Modelo Padrão surgiu da união de três teorias importantes da Física, a Teoria dos Quarks, Teoria Eletrofraca e Cromodinâmica Quântica.

A Teoria dos Quarks foi proposta independentemente em 1963, por Murray Gell-Mann e George Zweig. Foi percebido que algumas das partículas fundamentais do átomo (próton e nêutron) seriam melhor compreendidas se fossem formadas por componentes menores, e assim iniciou o conceito de quarks. Na proposta original tinha três tipos (sabores) de quarks: o *up* (u), o *down* (d) e o *strange* (s). Os quarks *up* e *down* formam praticamente toda a matéria comum, formam os prótons e nêutrons. O quark *strange* foi proposto para explicar algumas partículas criadas em eventos muito energéticos, que existiam por mais tempo do que o previsto. Nos anos seguintes, ocorreram descobertas de novas partículas (hádrons), que exigiram novos quarks. Foram propostos mais três quarks (*charm* (c), *top* (t) e *bottom* (b)), chegando no número atual de quarks do Modelo Padrão.

Esses quarks formam todos os hádrons conhecidos, tanto os bárions, constituídos por três quarks ou três antiquarks, como os mésons, formados por um quark e um antiquark. Mas estava surgindo um problema, alguns hádrons não respeitavam o princípio de exclusão, pois eram formados por dois ou três quarks com os mesmos números quânticos.

Para solucionar esse impasse, foi proposto por O. W. Greenberg uma nova propriedade para os quarks, a cor. Cada um dos seis quarks pode ter uma das três cores possíveis: vermelho (r), azul (b) e verde (g). A palavra cor, aqui, não possui o significado usual, pois não se trata de os quarks serem vermelhos, azuis ou verdes. A cor é uma propriedade deles, similar a carga elétrica, que possibilita os quarks se unirem e formarem os hádrons. Assim percebe-se que a propriedade cor está relacionada a interação nuclear forte, responsável pela formação dos hádrons. A teoria subjacente à cor é chamada Cromodinâmica Quântica (QCD)

Segundo a Cromodinâmica Quântica, a interação forte ocorreria por meio de partículas mediadoras chamadas de glúons, que seriam responsáveis pela cor dos quarks. Os glúons são bósons sem massa e existem oito, formados por pares de cor-anticor. Quando emite ou absorve um glúon, o quark muda sua cor, mas mantém seu sabor.

A Teoria Eletrofraca descreve a união da interação eletromagnética e da interação fraca. A interação eletromagnética é descrita pela Eletrodinâmica Quântica, que foi desenvolvida por Richard Feynman, Julian Schwinger e Sin-Itir Tomonaga, a partir dos anos 40. Toda interação eletromagnética ocorre por meio da partícula mediadora, fóton. Nessa mesma época, a interação fraca não era compreendida pelos físicos. Mas, após descobrirem que o neutrino era afetado pela interação fraca, isto possibilitou o estudo.

Em 1956, Melvin Schwartz, Leo Lederman e Jack Steinberger realizaram um experimento para entender a ação da interação fraca nos neutrinos. Acabaram descobrindo que havia mais um tipo de neutrino, um ligado ao elétron (neutrino do elétron) e um ligado ao múon (neutrino do múon). A partir desse experimento e outros estudos de vários cientistas, como, Murray Gell-Mann, Richard Feynman, John A. Wheeler, Jayme Tiomno, Lev Davidovich Landau, Robert Eugene Marshak, José Leite Lopes, entre outros, foi possível desenvolver uma teoria que descrevia a interação fraca sendo mediada pelos bósons W^- , W^+ e Z^0 . Leite Lopes, após conhecer essa teoria, sugeriu que esses bósons e os fótons deveriam pertencer à mesma família.

A unificação das duas interações foi formalizada por Steven Weinberg, em 1967, e um ano depois, de forma independente pelo Abdus Salam. Com essa união, a interação eletrofraca é mediada pelos bósons W^- , W^+ , Z^0 e pelo fóton. A Teoria Eletrofraca está baseada na teoria de gauge, proposta por Chen Ning Yang e Robert Mills, por um mecanismo chamado de quebra espontânea de simetria. Para a unificação, a proposta do Bóson de Higgs, de P. W. Higgs, teve grande importância. A proposta resolve a contradição de que as partículas mediadoras não possuem reciprocidade em termos de massa, pois o fóton não tem massa e já os bósons W^- , W^+ e Z^0 possuem muita massa. O bóson de Higgs é responsável pela massa das outras partículas, quando essas interagirem com o campo formado por esse bóson.

O bóson de Higgs demorou quase 50 anos para ser detectado experimentalmente. Ocorreu em 2012, no maior acelerador de partículas do mundo o LHC. Com isso, o Modelo Padrão está quase completo, pois falta ainda a partícula mediadora da interação gravitacional, o gráviton, que não foi detectado. Assim, a gravidade poderia ser incluída de forma concreta no Modelo Padrão. (PINHEIRO; COSTA; MOREIRA, 2011; BRENNAN, 2012; RIBEIRO FILHO, 2011; TIPLER; LLEWELLYN, 2017).

2.3 ENSINO DE FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA

Esta seção apresenta a abordagem sob o ponto de vista da História e Filosofia da Ciência (HFC) e a abordagem conceitual para o ensino de Física Moderna e Contemporânea (FMC). A utilização da divulgação científica, como recurso didático para o aprimoramento da aprendizagem também é apresentada. Traz, além disso, relatos de experiências da aplicação de ambas as abordagens e da utilização do recurso didático.

2. 3. 1 Abordagem na Perspectiva da História e Filosofia da Ciência

A adoção de uma abordagem relacionada à História e Filosofia da Ciência (HFC) no Ensino de Física é relatada desde o século XIX. (FONSECA; CAMARGO, 2015). Na Inglaterra, já era debatida a utilização da abordagem HFC desde a segunda metade do século XIX, de forma tímida. Ganhou mais força e relevância no período entre a Primeira Guerra Mundial e a Segunda Guerra Mundial. Nos Estados Unidos

da América, a abordagem começou a receber maior atenção após o fim da Segunda Guerra Mundial, tendo uma posição de destaque especialmente na graduação, e seu maior influenciador foi o presidente da Universidade de Harvard, James B. Conant. (MATTHEWS, 1995).

Na América Latina, o movimento de defesa da HFC, ganhou força na década de 90, quando a utilização começou a ser discutida como um motivador para aumentar o interesse no ensino de ciências. Esse atraso ocorreu, pois, nas décadas anteriores a oposição positivista era predominante nos países latinos. "Atualmente, a visão positivista ainda influencia fortemente as práxis docentes das Ciências, e a adoção de abordagens como a HFC para o Ensino de Ciência é amplamente discutida." (FONSECA; CAMARGO, 2015, p.2483).

No Brasil, a abordagem HFC está entre as principais estratégias de ensino as quais são alvo de pesquisa correlacionadas ao ensino de ciências, nos últimos anos. Isso pôde ser percebido, por exemplo, no XI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC), realizado em Florianópolis (SC) em julho de 2017. Foram apresentados 15 linhas de pesquisas relacionadas a ensino de ciências, dentre elas, a linha 3 - História, Filosofia e Sociologia da Ciência e Educação em Ciências; associada à abordagem HFC.

A abordagem HFC também tem grande relevância na pesquisa em ensino de Física, como no XV Encontro de Pesquisa em Ensino de Física (EPEF), que ocorreu em Maresias, São Sebastião (SP), em 2014. Nele foram apresentadas 10 linhas de pesquisa associadas ao ensino de Física, dentre elas, a linha 3 - Filosofia, História e Sociologia da Ciência e o ensino de Física; que está totalmente relacionada a abordagem HFC. (SILVA; CYRINEU, 2018).

Os documentos oficiais, que norteiam o currículo do ensino médio, também defendem a importância de inserir o papel histórico, social e cultural da Física para a humanidade. Os PCNEM já mencionavam a importância para o ensino de Física:

Espera-se que o ensino de Física, na escola média, contribua para a formação de uma cultura científica efetiva, que permita ao indivíduo a interpretação dos fatos, fenômenos e processos naturais, situando e dimensionando a interação do ser humano com a natureza como parte da própria natureza em transformação. Para tanto, é essencial que o conhecimento físico seja explicitado como um processo histórico, objeto de contínua transformação e associado às outras formas de expressão e produção humanas. (BRASIL, III, 2000, p.22).

A BNCC, o documento normativo da educação básica no Brasil mais atual, que está sendo implementada, também destaca a importância de uma abordagem que dê relevância à história e filosofia no ensino de Física.

[...]a BNCC da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias – por meio de um olhar articulado da Biologia, da Física e da Química – define competências e habilidades que permitem a ampliação e a sistematização das aprendizagens essenciais desenvolvidas no Ensino Fundamental no que se refere: aos conhecimentos conceituais da área; à contextualização social, cultural, ambiental e histórica desses conhecimentos; aos processos e práticas de investigação e às linguagens das Ciências da Natureza. (BRASIL, 2018, p.547).

O ensino de Física prioriza leis e equações que representam os fenômenos estudados, em grande parte das escolas. Isso leva o estudante a pensar que a Física é algo finalizado, sem nada de novo para ser descoberto. Além disto, esta ênfase no equacionamento, muitas vezes, torna-se a grande dificuldade para a aprendizagem dos alunos. Normalmente os papéis histórico, cultural e social da Física deixam de ser abordados. Chicórá, Camargo e Toppel (2015, p.20177) destacam que,

O enfoque da história e filosofia da ciência ressalta aspectos que auxiliam na compreensão de fenômenos, demonstra ao aluno que a ciência é resultado de um árduo e contínuo processo e desfaz o mito de que o conhecimento científico é imutável.

São várias as justificativas para a utilização da abordagem HFC no ensino de Física, pode-se destacar a contribuição para concepção de uma ciência não isolada do seu contexto, mas totalmente imersa num mundo histórico, político e social, sofrendo influência e também influenciando. Desta forma, a abordagem HFC contribui para a aprendizagem, pois destaca o desenvolvimento científico como parte da cultura humana. Ajuda também a recriar o contexto histórico permitindo entender a origem da problemática, os desenvolvimentos e fatores conflitantes. Além disso, o uso da HFC pode facilitar a demonstração de quebra de paradigmas durante a evolução científica, mostrando que a evolução das ideias da Física passou por vários momentos de contradições. (MATTHEWS, 1995; SILVA; CYRINEU, 2018; CHICÓRA; CAMARGO; TOPPEL, 2015; FONSECA; CAMARGO, 2015).

Moura e Silva (2014, p. 345) ainda destacam que "a História da Ciência pode ser um recurso pedagógico não só para contextualizar, mas também para ensinar conceitos científicos", melhorando sua compreensão. Também é importante ressaltar que essa abordagem humaniza a ciência, aproximando-a dos interesses dos alunos

e de sua comunidade, removendo os gênios da ciência de pedestais, mostrando suas dúvidas e seu lado humano. Conforme Robilotta (1988, p.18),

"De nada adianta apresentar a ciência como um produto a ser venerado, admirado à distância, de modo a fazer com que os estudantes adquiram um sentimento de inferioridade. Quando se promove desse modo o triunfo da ciência, a nossa humanidade sai perdendo.

A história também permite uma melhor compreensão do método científico, possibilitando que os estudantes entendam todos os processos que o envolvem. Ainda demonstra que a ciência é mutável e instável, que está suscetível aos contextos históricos e culturais, revelando que o conhecimento científico atual é suscetível a transformações. (MATTHEWS, 1995; SILVA; CYRINEU, 2018; CHICÓRA; CAMARGO; TOPPEL, 2015; FONSECA; CAMARGO, 2015). Silva e Cyrineu (2018, p.38) destacam que a abordagem de elementos históricos contribui para:

a compreensão dos processos da ciência e sua natureza; [...] a problematização das concepções alternativas dos estudantes; a incrementação da cultura geral; [...] o desencadeamento do interesse pelo estudo da física; o entendimento das inter-relações entre ciência, tecnologia e sociedade; [...] o aumento da reflexão crítica durante as aulas; o entendimento da epistemologia da ciência; e a compreensão das controvérsias, dos equívocos e dos dilemas inerentes ao desenvolvimento científico.

A abordagem HFC também é criticada, e há dois pontos principais, que norteiam estas críticas: o fato de que a única história possível a ser utilizada nos cursos de ciências seria uma pseudo-história e que a exposição à história da ciência enfraqueceria as convicções científicas necessárias à conclusão bem sucedida da aprendizagem da ciência. (MATTHEWS, 1995).

O primeiro argumento, apresentado por Klein (1972 apud MATTHEWS, 1995), relacionado à pseudo-história, revela o receio de que os professores de ciências acabem selecionando e usando materiais históricos com propósitos pedagógicos e científicos inadequados; uma história que satisfaz não só os fins pedagógicos, mas sim, os fins da ideologia científica ou a visão do autor. Destaca, também, que há grande diferença entre a perspectiva do historiador e a do físico.

O segundo argumento, defendido por Kuhn (1959; 1970 apud MATTHEWS, 1995) trata da perspectiva de que a história da ciência pode prejudicar o espírito científico. O autor defende a ideia de que, se a história fosse utilizada nas aulas, deveria ser uma história da ciência que retratasse os cientistas do passado e os

cientistas modernos trabalhando no mesmo conjunto de problemas. Desta forma, a história despertaria no cientista iniciante o sentimento de fazer parte de uma tradição bem sucedida, pela busca da verdade. Além disso, Brush (1974 apud MATTHEWS, 1995) recomenda que a verdadeira história fique acessível somente a um público científico maduro.

Apesar desses argumentos contrários, os pesquisadores que discutem essa temática, tem consenso de que a importância da abordagem supera as críticas.

A implementação da abordagem HFC no ensino de Física não significa que as aulas serão somente de história da Física, pois seria empobrecedor para os alunos. Não se pode esquecer a totalidade da Física nos seus elementos conceituais e lógico-matemáticos. (SILVA E CYRINEU, 2018).

A aplicação da abordagem HFC pode se dar por meio da seleção de momentos de grande importância para o desenvolvimento da Física, como o início do século XX, período da Segunda Guerra Mundial e da Guerra Fria. Esses momentos foram de grande desenvolvimento para a FMC, podendo ser trabalhados historicamente. Outra estratégia é a utilização de textos de cunho histórico sobre o desenvolvimento da Física. O recurso de organização de debates sobre questões historicamente controversas envolvendo tópicos de Física também é recomendado. (ALVES, 2018; SILVA E CYRINEU, 2018).

2. 3. 2 Abordagem Conceitual

A abordagem de tópicos de FMC em nível médio enfrenta diversos obstáculos, os principais são a complexidade e o tratamento matemático avançado dos conteúdos. (PEREIRA *et al*, 2012). O tratamento matemático é uma grande dificuldade para os alunos, principalmente pela "fragilidade em Matemática básica referente ao nível fundamental que muitíssimos estudantes carregam". (ALVES, 2018, f. 7). No ensino de FMC essas dificuldades podem ser maiores, pois a FMC necessita de uma matemática muito mais avançada e complexa. Como os alunos do ensino médio não possuem os conhecimentos matemáticos adequados para o entendimento pleno de tópicos de FMC, as abordagens com ênfase nos conceitos fundamentais e gerais, e no desenvolvimento de tópicos com pouca exigência de tratamento matemático, podem ser uma forma de contornar os obstáculos. (PEREIRA *et al*, 2012; TERRAZZAN, 1992). Alves (2018, f. 7) defende uma "abordagem fenomenológica

conceitual" "adequada aos níveis introdutórios da Física na escola, diante de todos os óbices comuns no dia-a-dia do ensino", focada em conceitos básicos e principais da FMC. A "didática conceitual" também sugerida por Ostermann e Ricci (2003, p.1) "busca promover a compreensão aprofundada dos conceitos e das noções básicas da MQ em moldes diferentes da abordagem tradicionalmente adotada em cursos sobre o tema". Este trabalho desenvolvido pelos autores, direcionado à Mecânica Quântica (MQ), pode ser utilizado como base para o desenvolvimento metodológico de outros tópicos de FMC.

Entre as vantagens dessa abordagem, a principal é que, com a superação da dificuldade relativa ao tratamento matemático, um maior número de alunos pode demonstrar maior interesse e conseqüentemente melhorar a sua aprendizagem e, dessa forma, superar o distanciamento entre eles e a FMC. Outro aspecto positivo é, por meio dos conceitos, poder discutir as características do conhecimento científico. (MELO, 2014; PEREIRA *et al*, 2012; SILVA, FUSINATO E LINO, 2013). Porém, Paulo e Moreira (2004) alertam que uma abordagem baseada nos conceitos fundamentais, assim como em outras abordagens, necessita realizar ligações com o cotidiano dos alunos, para que desperte o seu interesse.

Na abordagem conceitual é necessário contornar outro obstáculo evidente na educação; a "reduzida capacidade de leitura e interpretação que dificultam a compreensão das ideias científicas." (ALVES, 2018, f. 7). Esse obstáculo se torna a principal desvantagem dessa abordagem, pois "as dificuldades conceituais são inevitáveis". (PEREIRA *et al*, 2012, p. 832). Assim, a complexidade dos conceitos de FMC necessita ser amenizada, para tanto uma possibilidade é a utilização de materiais relativos à divulgação científica como recurso didático. (SILVA; ALMEIDA, 2012).

Além da utilização de materiais de divulgação científica, a aplicação da abordagem conceitual pode se dar por meio da demonstração, simulação e visualização de experimentos, principalmente aqueles que tiveram grande importância no desenvolvimentos dos conceitos de FMC (SILVA; FUSINATO; LINO, 2013), assim como a utilização de animações e vídeos nas aulas. (SOUZA; DANTAS, 2010).

2. 3. 3 Uso Didático de Recursos de Divulgação Científica

Um dos principais obstáculos para a inserção de FMC no ensino médio, é a complexidade dos temas abordados. Segundo Porto e Porto (2008, p. 1), esse obstáculo está relacionado à "dificuldade de se transmitirem de forma clara conceitos bastante complexos e desenvolvidos em linguagem matemática avançada".

Uma forma de contornar essa dificuldade é pelo uso de textos de divulgação científica. Esses textos têm como finalidade a divulgação do conhecimento científico atualmente desenvolvido, para o público leigo, que inclui estudantes do ensino médio. (SILVA; ALMEIDA, 2012). A utilização de textos de divulgação científica, durante as aulas, apresenta duas funções:

1. Contribuir para a formação de uma imagem adequada e crítica da ciência, reconhecendo-a como produção humana, bem como para discutir aplicações tecnológicas e as implicações políticas, sociais e econômicas relacionadas ao seu uso.
2. Formar cidadãos leitores críticos capacitados a entender a linguagem científica, e aproximá-los de produtos científicos e tecnológicos atuais, ajudando a incorporar os conhecimentos mais recentes e os mais antigos. (CHAVES; MACHADO, 2005).

Os conhecimentos formais, que são normalmente trabalhados em aula, podem interagir com o material de divulgação científica. Esse material pode servir tanto como introdução para os conhecimentos formais quanto como informações complementares. (SILVA; KAWAMURA, 2001). Carli (1988 apud SILVA; KAWAMURA, 2001), enumerou seis possibilidades de uso dos materiais de divulgação científica nas aulas, a partir dos objetivos esperados:

1. Motivação para os alunos num tema pouco interessante;
2. Mudança no comportamento em relação ao ensino de ciências;
3. Compreensão do funcionamento e a produção do conhecimento científico;
4. Ilustração do conteúdo formal;
5. Atualização dos conhecimentos em ciência;
6. Avaliação social da ciência.

Das seis propostas, a proposta relacionada à atualização dos conteúdos tem grande relevância para o ensino de FMC. A Física abordada no ensino médio chega

normalmente até o século XIX. Assim, ignorando todas as descobertas ocorridas nos anos seguintes e as transformações históricas e sociais decorrentes. Praticamente toda a divulgação científica atual está relacionada a descobertas recentes, ligadas a FMC. Dessa forma, esses novos conhecimentos podem ser inseridos por meio da divulgação científica. (SILVA; KAWAMURA, 2001).

Silva e Kawamura (2001) ainda dão grande ênfase para a possibilidade de discutir socialmente a ciência, pois os meios de comunicação têm grande impacto, mas, "mesmo assim, quase nunca os indivíduos questionam a sua veracidade e tampouco refletem sobre as possíveis conseqüências (*sic*) dessas informações em suas vidas." (SILVA; KAWAMURA, 2001, p.318). Pensando nisso, uma aula preparada utilizando como recurso os materiais relativos à divulgação científica, certamente proporcionará muitas situações didáticas enriquecedoras como: o debate sobre as matérias, a verificação das fontes e de sua veracidade, a análise crítica das conseqüências dos conteúdos apresentados, dentre outras.

Um outro recurso de divulgação científica que vem ganhando espaço na atualidade e que pode auxiliar a contornar as dificuldades no ensino de FMC são os vídeos disponíveis em plataformas, sites ou blogs da internet, uma vez que os alunos já estão muito acostumados com esta linguagem digital. O direcionamento desse interesse dos alunos pode ter bons resultados ao aliá-lo ao desenvolvimento de conteúdos nas aulas de Física. A exposição destes vídeos nas aulas de Física, além de diversificar os recursos didáticos utilizados, contribui para captar a atenção dos alunos e motivá-los para a aprendizagem.

Dependendo do conteúdo, o professor pode ter dificuldade em contextualizá-lo por ser muito complexo ou abstrato. Utilizar vídeos pode ajudar a diminuir esta dificuldade. Esses recursos têm o objetivo de auxiliar o docente a deixar as aulas mais dinâmicas e compreensivas, ajudando os alunos a consolidar e construir conhecimento. Para que a aprendizagem ocorra de forma adequada é preciso que os vídeos possuam linguagem acessível aos alunos e apresentem nível de dificuldade próximo do desenvolvimento cognitivo deles. (MUCHENSKI; BEILNER, 2015; CUNHA; JUNIOR; SILVA, 2017)

Mesmo com todos os benefícios que a utilização desses materiais podem trazer, é necessário estar atento a alguns aspectos. Perez e Caluzi (2003) destacam um ponto muito relevante, que "freqüentemente (*sic*) a Física Moderna, abordada em artigos de divulgação científica, é vítima de distorções conceituais". Segundo os

autores, uma das possíveis causas é a "ausência de uma fundamentação sólida em História da Ciência, por parte dos divulgadores".

Normalmente a divulgação científica é feita por um profissional não especializado e, quando possui especialização, algumas vezes, não detém um domínio adequado sobre as etapas históricas do desenvolvimento dos conceitos. A linguagem da divulgação científica deve ser adaptada a fim de se tornar mais acessível, garantindo o melhor entendimento por parte do público leigo. Para essa adaptação há a chamada divulgação ideal, que apresenta uma linguagem técnica acertada e os conceitos não deturpados. Outra possibilidade é a dita divulgação concreta, que faz uso de uma linguagem acessível ao leitor comum, sem deturpar o conteúdo. (PEREZ; CALUZI, 2003).

2. 3. 4 Relatos de Experiências

Há vários artigos e trabalhos que envolvem o ensino de FMC. Serão apresentados, nesta seção, alguns que utilizam a abordagem HFC, a abordagem conceitual e a divulgação científica, como recurso didático, por estarem alinhados com os objetivos deste trabalho. Os relatos a seguir tratam de diversos tópicos de FMC, como: teoria da relatividade restrita e geral, energia nuclear, Mecânica Quântica, radioatividade, Física nuclear, Física de plasma.

Utilizando a abordagem HFC, Morais e Guerra (2013) apresentaram num artigo, um projeto pedagógico com propósito de incluir discussões sobre Física Moderna nas aulas de energia para turmas do primeiro ano do ensino médio. A aplicação da abordagem HFC como eixo condutor do projeto, possibilitou discussões em torno do processo de construção da ciência

Nesta mesma linha, Mello, Fiuza e Guerra (2013) divulgaram no IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, uma investigação pedagógica para o ensino médio, com o tema da energia nuclear. Foi proposta a utilização de imagens históricas, como linguagem, para promover debates e problematizar questões históricas envolvendo energia nuclear e radiação.

Assim, também, Guerra, Braga e Reis (2007) publicaram um artigo sobre uma proposta curricular para a inserção das teorias da relatividade restrita e geral no primeiro ano do ensino médio. Construíram a proposta com base na abordagem HFC,

que possibilitou um viés privilegiado para ministrar aulas para adolescentes, acerca das questões científicas dos trabalhos de Albert Einstein.

Utilizando a abordagem conceitual em seu trabalho, Chiarelli (2006) teve a intenção de mostrar a possibilidade de inserir noções de Mecânica Quântica nas aulas do terceiro ano do ensino médio. Ele optou por abordar somente conceitos de Mecânica Quântica, com poucas equações, que são de fácil assimilação. Foi utilizado como referencial teórico a teoria de aprendizagem significativa de Ausubel e Novak. Os resultados mostraram que é possível abordar tópicos de FMC em nível médio.

Alves (2018) propôs em seu trabalho a inserção de temas de FMC nos três anos do ensino médio. A proposta envolveu os tópicos ligados a Física de plasma como a Física de aceleradores de partículas, o Sol e as Auroras. Utilizou uma abordagem fenomenológica-conceitual, com pouco tratamento matemático dos conteúdos. A partir de um referencial teórico baseado na teoria dos Campos Conceituais, teve por objetivo final iniciar a construção do campo conceitual da Física de plasma.

Ostermann e Ricci (2003) apresentaram os resultados da implementação de uma unidade didática conceitual sobre Mecânica Quântica (MQ) para uma turma de mestrado em ensino de Física na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Foi construído um instrumento para a avaliação, realizando um levantamento das noções básicas de MQ. Segundo os autores, a unidade didática promoveu mudanças nas concepções dos estudantes, em especial nas diferenças dos objetos clássicos e quânticos.

Outra forma de abordar conceitualmente tópicos de FMC, em nível médio, é a sugerida por Pereira *et al* (2012). Eles decidiram, em vez de trabalhar com entidades matemáticas abstratas para explicar os postulados de mecânica quântica, redefini-los em termos conceituais mais próximos da realidade física. Assim, o formalismo matemático foi diminuído e a discussão qualitativa foi apoiada por um software simulador da interferência quântica, o interferômetro virtual de Mach-Zehnder (IVMZ).

Silva, Fusinato e Lino (2013) apresentaram uma proposta que funcionava como um curso de FMC extraclasse, em nível de ensino médio. Nessa proposta, eles utilizaram uma abordagem conceitual, na qual, inicialmente, os aspectos conceituais de Física Quântica foram introduzidos por meio de demonstração de experimentos e gráficos. Posteriormente, a teoria era explicada utilizando uma formalização matemática de fácil compreensão dos alunos. Para avaliar a compreensão dos

conceitos, foram propostos testes teóricos. Segundo os autores, a abordagem aplicada gerou bons resultados em termos de aprendizagem.

A abordagem conceitual também pode ser trabalhada em parceria com a abordagem HFC, como a apresentada por Melo (2014), que propôs uma abordagem histórica e conceitual dos modelos atômicos, para nível médio. Ele analisou todo o contexto histórico da evolução dos modelos atômicos, e para a abordagem conceitual utilizou a transposição didática, que de forma simplificada pode ser definida como uma adaptação do conhecimento avançado, difundido no meio científico, para o meio escolar.

Aplicando esta mesma parceria, Cordeiro e Peduzzi (2010) apresentaram uma proposta para trabalhar os conceitos sobre radioatividade no ensino médio, direcionado para estudantes e professores de Física. Para tanto, eles sugerem a utilização das Conferências Nobel na sala de aula, especificamente as conferências de Pierre e Marie Curie, sobre a radioatividade.

Souza e Dantas (2010) exploraram possibilidades de tópicos de Física Nuclear que possam ser ministrados no ensino médio. Sugeriram assuntos com formalismo matemático complexo, para serem debatidos em nível conceitual e filosófico, destacando a importância histórica e tecnológica desses fenômenos na sociedade. Indicam que é importante, sempre que possível, apresentar aplicações práticas que possam ser observadas pelo aluno.

Para superar o problema da complexidade dos conceitos e tratamento matemáticos da Física Quântica, Silva e Almeida (2012) propõem utilizar textos de divulgação científica, como recurso didático, em nível médio. Pretendiam, através de seu trabalho, compreender a forma como os estudantes produzem sentidos a partir de textos de divulgação científica. Eles concluíram que esse recurso contribui para a formação da cultura sobre a Física e aumento do interesse de estudar Física Quântica.

Já, Chaves e Machado (2005), defendem a utilização de textos de divulgação científica para que os alunos tenham uma educação escolar responsável por uma formação crítica e que dominem linguagens, possibilitando serem sujeitos críticos e que estabeleçam leituras de mundo. O modelo de metodologia seguida por eles é composto por quatro momentos: contextualização do texto; ativação do conhecimento; construção de um mapa textual; e, por fim, leitura do texto de divulgação científica e verificação de hipótese de leitura. Segundo os autores, é necessário incentivar cada vez mais a utilização desse recurso nas aulas de Física.

Muchenski e Beilner (2015) utilizaram vídeos, disponíveis na internet, no processo ensino-aprendizagem de conceitos de Física. Os recursos foram aplicados em duas turmas dos cursos Técnicos Integrados ao Ensino Médio em Agropecuária e Alimentos do IFC Catarinense – Campus Concórdia. Os vídeos tratavam sobre os problemas causados por tempestades e descargas atmosféricas. Os resultados mostraram que a atividade foi proveitosa, pois os alunos se concentraram mais durante as aulas em que os vídeos foram utilizados.

A partir desses trabalhos é possível ter, como base, várias perspectivas e inspirações para desenvolver uma proposta própria para o ensino de FMC, inserindo aspectos das abordagens HFC e conceitual, complementadas pela utilização da divulgação científica como um recurso didático, além de identificar a viabilidade da aplicação em nível médio.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo são apresentadas as etapas essenciais da proposta de abordagem de ensino. Estas contemplam a fase de apresentação da proposta à escola, o desenvolvimento da proposta de abordagem de ensino e a forma de avaliação.

3.1 APRESENTAÇÃO DA PROPOSTA À ESCOLA

Este trabalho foi desenvolvido na Escola Estadual de Ensino Médio Assunção, localizada no centro do município de Alto Feliz. A escola tem suas aulas divididas em dois turnos, à tarde e à noite. No turno da tarde, ocorrem as aulas de quatro turmas do ensino fundamental (6º, 7º, 8º, 9º anos). No turno da noite, ocorrem as aulas de três turmas do ensino médio, uma de cada série.

O contato dos alunos com os conteúdos de Física começa nos 6º e 9º anos do ensino fundamental, nas aulas da disciplina de Ciências. Somente no ensino médio ocorrem aulas exclusivas para a disciplina de Física. Os tópicos de Física Moderna e Contemporânea (FMC) normalmente não são ministrados nas aulas, conforme o relato dos professores da área, assim, essa proposta foi algo novo para as aulas de Física desta instituição de ensino.

Foi apresentada uma proposta de aplicação da abordagem de ensino de FMC, nas aulas da disciplina de Física, da terceira série do ensino médio. A apresentação da proposta foi realizada de forma individual para alguns professores da área das Ciências da Natureza e da Matemática e os membros da direção da escola, em março de 2020. A mesma foi realizada dessa forma pelo fato do autor do trabalho já ter contato com a escola, pois sua formação de ensino fundamental e médio ocorreu na mesma, bem como já havia realizado seu Estágio Supervisionado em ensino de Física neste local, em 2019/2. Na ocasião do estágio, ao serem questionados quanto ao desenvolvimento de tópicos de FMC na aulas do ensino médio, os professores da área relataram que não eram desenvolvidos pois, o tempo disponível era limitado, o que concorda com a experiência do autor deste trabalho enquanto aluno da instituição.

Os professores e a direção da escola se mostraram bem dispostos em liberar espaço para a realização da proposta, colocando-se à disposição para ajudar no que fosse possível.

3. 2 DESENVOLVIMENTO DA PROPOSTA DE ENSINO

A proposta de ensino deste trabalho foi aplicada na turma de 3ª série do ensino médio, da Escola Estadual de Ensino Médio Assunção, no turno da noite. A aplicação ocorreu nas aulas da disciplina de Física, com dois períodos de 55 minutos semanais, durante seis semanas, totalizando 12 períodos.

O período de aplicação da proposta de ensino ocorreu durante a pandemia da Covid-19, fase em que os alunos das escolas públicas estaduais estavam em aula remota utilizando o Google Classroom (GOOGLE, 2015) como ambiente virtual de ensino e realizando videoconferências através da ferramenta virtual Google Meet (GOOGLE, 2017). Desta forma, a proposta de ensino deste trabalho foi desenvolvida utilizando estes recursos digitais disponíveis, com os quais os alunos já estavam familiarizados, contando com o apoio permanente da professora titular da turma.

Os conteúdos abordados foram de FMC, especialmente de Física Atômica e Nuclear. A proposta, baseada nas abordagens sob a perspectiva da História e Filosofia da Ciência e conceitual, foi dividida em três etapas, nas quais foram tratados, respectivamente, os seguintes tópicos: modelos atômicos; núcleo atômico, radioatividade e reações nucleares; Física de partículas (Modelo Padrão), além de uma quarta etapa de encerramento, interligando os conteúdos estudados. O quadro 6 apresenta mais informações sobre as etapas.

Quadro 6 – Etapas da proposta de ensino

| Etapas | Conteúdos | Número de Períodos | Período de aplicação |
|--------|--|--------------------|----------------------|
| 1 | Modelos atômicos | 2 | 08/2020 |
| 2 | Núcleo atômico, radioatividade e reações nucleares | 6 | 08/2020 a 09/2020 |
| 3 | Física de partículas (Modelo Padrão) | 2 | 09/2020 |
| 4 | Encerramento interligando o conteúdo estudado | 2 | 09/2020 a 10/2020 |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Por orientação da professora titular, os dois períodos semanais foram divididos em aula síncrona pelo Google Meet (1 período) e aula assíncrona (1 período). Na aula

síncrona, ocorreram as explicações sobre os conteúdos, o uso de simuladores e as discussões sobre os textos e vídeos de divulgação científica utilizados. A aula assíncrona foi destinada à revisão dos conteúdos por parte dos alunos e à realização de tarefas, detalhadas nos planos de aula (Apêndices A a D).

A primeira etapa, abordou os modelos atômicos, em especial o modelo atômico de Bohr e o modelo atômico quântico. A introdução aos tópicos de FMC foi realizada por meio da análise dos modelos atômicos, um tópico mais familiar aos alunos o qual, de alguma forma, já havia sido estudado em séries anteriores. Os modelos de Bohr e quântico foram abordados de forma histórica, analisando os conceitos de FMC que levaram ao seu desenvolvimento. Além disso, foi utilizado o site de simulações Física na escola - HTML5 (Física Animações/Simulações) (VAŠČÁK, 2020?), para demonstrar os modelos atômicos, de Thomson, de Rutherford, de Bohr e de Schrödinger e o experimento de Rutherford. O detalhamento destas aulas, bem como os recursos didáticos utilizados, estão apresentados no Apêndice A.

A segunda etapa, desenvolvida em 6 períodos de aula (Apêndice B), tratou de tópicos de Física Nuclear. Nos dois primeiros períodos, foi tratado do uso mais questionado e criticado da Física Nuclear: as bombas atômicas e nucleares. Inicialmente foi trazida uma perspectiva científica, com a visualização e análise de um vídeo sobre o assunto, do canal Nerdologia do Youtube (BOMBA, 2016). Foi utilizado o site de simulações Física na escola - HTML5 (Física Animações/Simulações) (VAŠČÁK, 2020?) para simular as reações nucleares, conforme está detalhado no plano de aula que consta no Apêndice B. Posteriormente foi mostrado e discutido outro vídeo, do mesmo canal, este com enfoque mais histórico sobre as bombas atômicas e nucleares. (ARMAS, 2016).

Nos dois períodos seguintes, da etapa 2, o assunto abordado foi a liberação de energia nuclear, tanto por fissão nuclear como por fusão nuclear, e o funcionamento básico de um reator nuclear de uma usina. Foram utilizados três textos de divulgação científica, dois sobre a energia nuclear por fissão nuclear e outro sobre a fusão nuclear. Nos dois últimos períodos, desta etapa, foram estudados alguns acidentes nucleares e suas consequências, usando como recursos textos e um vídeo de divulgação científica sobre o tema. Novamente foi utilizado o site de simulações Física na escola - HTML5 (Física Animações/Simulações) (VAŠČÁK, 2020?) para estudar a radiação e o decaimento radioativo.

A terceira etapa, detalhada no Apêndice C, tratou das partículas elementares e das interações fundamentais, de forma introdutória ao Modelo Padrão. Foi utilizado, em aula, um texto de divulgação científica sobre o Grande Colisor de Hádrons (LHC) e foram sugeridos textos complementares aos alunos com interesse em se aprofundar. Já na última etapa, que consta no Apêndice D, foi realizada uma revisão, em ordem cronológica, do conteúdo desenvolvido nesta proposta de ensino, uma avaliação final dos alunos, bem como uma avaliação do projeto.

As leituras dos textos de divulgação científica foram realizadas previamente às aulas, além disso, os alunos responderam a um questionário sobre cada texto, pelo Google Forms. Os alunos receberam os links dos textos e dos questionários pelo Google Classroom.

3. 2. 1 Textos de Divulgação Científica

Os textos de divulgação científica selecionados como recursos didáticos para as aulas foram extraídos do site da revista Ciência Hoje (CIÊNCIA, 2020?), especialista em divulgação científica. A boa relação com a comunidade científica, torna o conteúdo de suas publicações mais conceituado.

O primeiro texto utilizado, "A energia nuclear e seus usos na sociedade" (GONÇALVES; ALMEIDA, 2005a), trata dos principais usos da energia nuclear pela sociedade e alguns dados sobre o núcleo atômico. O texto é a introdução de um artigo que foi publicado na revista Ciência Hoje na edição CH 220 (GONÇALVES; ALMEIDA, 2005b).

O segundo texto, "Energia nuclear: ontem e hoje" (TAVARES, 2013), trata sobre o primeiro reator nuclear desenvolvido que sustentou uma reação em cadeia. Detalha alguns usos desse avanço tecnológico nos anos seguintes e também mostra o avanço da energia nuclear no Brasil. O terceiro texto, sobre a fusão nuclear, com o título "O vaivém da fusão nuclear" (SANTOS, 2009), traz um panorama histórico da busca pela fusão nuclear controlada e sustentável para aplicação industrial e comercial.

Os textos 4 e 5 tratam sobre o acidente na usina nuclear de Fukushima. O primeiro destes, "Japão: o impensável aconteceu" (GUIMARÃES, 2011), mostra todos os riscos de contaminação por radiação que um acidente nuclear pode provocar para a população. Explica a dificuldade de detectar a extensão da contaminação pela

radiação e o papel das autoridades. Realiza, também, uma comparação entre o acidente em Fukushima e o acidente de Chernobyl. O texto 5, "A rosa de Fukushima" (OLIVEIRA, 2011), explica como o terremoto e o tsunami afetaram a usina de Fukushima, causando o acidente e trata sobre a radioatividade, os decaimentos radioativos e os perigos reais existentes.

O último texto, "Para apreciar a festa do LHC" (SANTOS, 2008), traz um panorama histórico das descobertas de partículas atômicas, subnucleares e elementares. Também esclarece a importância de aceleradores de partículas, em especial o Grande Colisor de Hádrons (LHC) no CERN, um dos maiores e mais avançados do mundo, localizado na divisa entre a Suíça e a França.

3. 2. 2 Vídeos e Simulações

No decorrer das aulas também foram utilizados como recursos didáticos as simulações presentes no site Física na escola - HTML5 (Física Animações/Simulações) (VAŠČÁK, 2020?) e três vídeos. As simulações analisadas retratam os modelos atômicos de Thomson, de Rutherford, de Bohr e de Schrödinger; o experimento de Rutherford; os tipos de radiações e a sua capacidade de penetração; as reações nucleares de fusão nuclear, fissão nuclear e reação em cadeia de fissão nuclear.

O primeiro vídeo, "Bombas atômicas e armas nucleares" do canal Nerdologia no Youtube (BOMBA, 2016), aborda questões científicas relacionadas aos dois tipos de armas nucleares, de fissão nuclear e de fusão nuclear. Explica o tipo de material necessário, o funcionamento, a potência e os riscos e desastres que podem causar.

O segundo vídeo, do mesmo canal, com o título "Armas Nucleares" (ARMAS, 2016), apresenta um pouco da história das armas nucleares, desde os primeiros projetos para sua construção até o uso em guerra. Também mostra como as armas nucleares influenciaram a política e a história do século XX.

O terceiro vídeo, do mesmo canal, com o título "Chernobyl e a lava radioativa" (CHERNOBYL, 2017), trata sobre o acidente nuclear de Chernobyl e os problemas que foram enfrentados para conter o acidente. Também apresenta outros acidentes nucleares ocorridos anteriormente a Chernobyl.

3.3 AVALIAÇÃO DA PROPOSTA DE ENSINO

Antes do início das aulas, a proposta de ensino foi apresentada aos alunos. Foram explicados os objetivos da aplicação da proposta, a duração, o funcionamento e a distribuição dos conteúdos ao longo das aulas, a metodologia a ser utilizada e a avaliação tanto da aprendizagem, quanto da proposta de ensino.

A avaliação da aprendizagem dos alunos foi realizada mediante acompanhamento da atenção, participação e comprometimento durante as aulas, leitura prévia dos textos e resposta aos respectivos questionários e pelas tarefas realizadas nas aulas assíncronas. As tarefas englobam perguntas sobre o conteúdo da aula. Na última aula foi realizada uma avaliação final englobando todo o conteúdo estudado. As avaliações estão detalhadas nos Planos de aula - Apêndices A a D.

No final da aplicação da proposta foi pedido aos alunos que respondam algumas perguntas de um questionário, para avaliar a proposta de ensino, a si mesmos e o professor. O questionário foi respondido por meio de um formulário do Google Forms, contendo as seguintes perguntas:

- 1) Qual(is) conteúdo(s) estudados despertou(aram) mais interesse e motivação em você? Justifique:
- 2) Você considera que os conteúdos de Física Moderna e Contemporânea deveriam estar mais presentes nos currículos escolares? Por quê?
- 3) Dos recursos didáticos utilizados (vídeos, simulações e textos de divulgação científica), qual, em sua opinião, mais contribuiu para a sua aprendizagem? Por quê?
- 4) O que você achou da metodologia das aulas? Justifique:
Teria alguma sugestão?
- 5) Durante as aulas, você percebeu um bom empenho e motivação por parte dos colegas e seu? Justifique:
- 6) Como você avalia o desempenho do professor durante as aulas?
Justifique:

A professora titular teve acesso antecipado aos planos, efetuando sugestões, acompanhou as aulas síncronas e auxiliou na disponibilização de materiais didáticos para os alunos. No final da aplicação, a professora titular avaliou a proposta, respondendo a um questionário, com as seguintes perguntas:

- 1) Você já conhecia as abordagens utilizadas (História e Filosofia da Ciência e abordagem conceitual) e os recursos didáticos baseados em materiais de divulgação científica? Já utilizou em suas aulas? Se sim, em quais aspectos ajudaram na melhoria das aulas?
- 2) Considera que os conteúdos de Física Moderna e Contemporânea têm importância no ensino e na vida dos alunos e deveriam estar mais presentes nos currículos escolares? Por quê?
- 3) Em relação à proposta de ensino desenvolvida, como avalia:
 - a) o empenho e a motivação dos alunos;
 - b) a aprendizagem dos alunos;
 - c) as aulas planejadas pelo professor, incluindo a metodologia (abordagens) e os recursos didáticos;
 - d) o desempenho do professor.
- 4) Teria alguma consideração/sugestão em relação ao trabalho desenvolvido?

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesse capítulo são apresentados e discutidos os resultados obtidos durante a aplicação da proposta de ensino. Inicialmente são expostos os relatos de cada aula aplicada, divididas por etapas, já detalhadas no capítulo 3. Também são apresentados os resultados dos questionários aplicados relativos aos textos de divulgação científica utilizados como recurso didático.

Em seguida, são analisados os resultados de cada avaliação realizada durante as etapas, bem como da avaliação final. Posteriormente, as questões propostas aos alunos, as quais compõem a avaliação da proposta de ensino, e a autoavaliação são discutidas. Por último, é apresentada a opinião da professora titular sobre a proposta de ensino, por meio das respostas ao questionário, conforme consta no capítulo 3.

4. 1 RELATOS DA APLICAÇÃO DA PROPOSTA

Esse subcapítulo apresenta os relatos de todas as aulas aplicadas no desenvolvimento desta proposta de ensino, contendo os aspectos de maior relevância, observados pelo autor, durante as atividades.

4. 1. 1 Etapa 1 – Modelos Atômicos

Na semana anterior ao início da aplicação da proposta, o autor do trabalho participou como ouvinte de uma aula síncrona da professora titular com a turma. Ao encerrar a aula, a professora aproveitou para apresentar o autor deste trabalho e abriu espaço para apresentar a proposta de ensino aos alunos. Foi apresentado como funcionaria a metodologia das aulas da proposta, destacando a importância da leitura prévia dos textos e justificando o uso de vídeos, ambos materiais de divulgação científica utilizados como recursos didáticos. Além disso, foi explicado o sistema avaliativo composto por avaliações semanais e a final.

Na turma estão matriculados 15 alunos, mas somente 11 participaram das atividades. Dos 4 alunos que não participaram, dois evadiram da escola e os outros dois não participam mais das aulas, inclusive das outras disciplinas, segundo informação obtida pela professora titular. Dos 11 alunos ativos nas atividades, em torno de oito participaram das videoconferências. Os outros assistiram às aulas

gravadas e responderam aos questionários dos textos e das avaliações. Tipicamente as aulas de Física síncronas (1 período), por videoconferência, ocorreram em terças-feiras e as atividades assíncronas (1 período), em segundas-feiras.

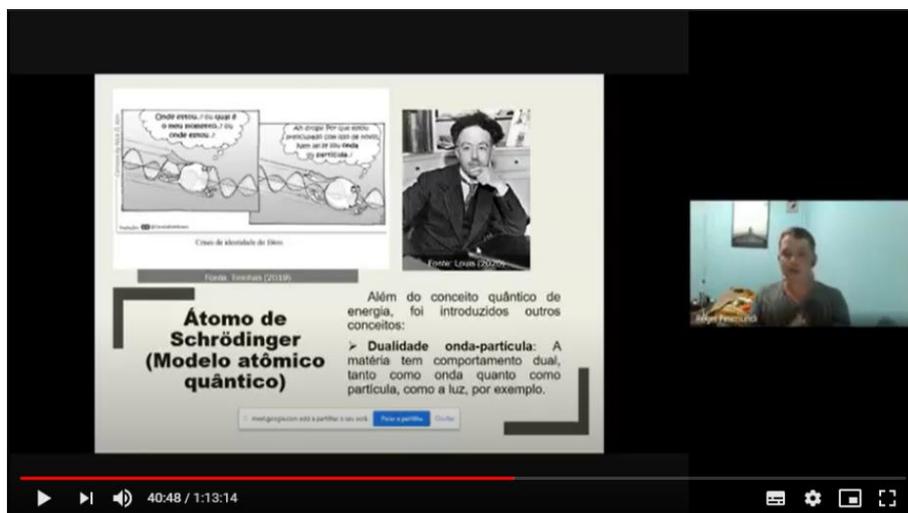
A Etapa 1 deste projeto didático, que trata dos modelos atômicos, foi composta por um total de 2 aulas de 55 min. A primeira aula da Etapa 1 ocorreu no dia 18 de agosto de 2020, terça-feira. O período começou às 21 h e 35 min, e a partir desse horário, os alunos começaram a acessar à videoconferência, processo que atrasou um pouco o efetivo início da aula. Primeiramente, foi explicado como funcionaria esta aula e a próxima, constituintes da mesma etapa. Quando os alunos questionaram se precisariam copiar o conteúdo dos slides, a professora titular, que acompanhou todas as aulas aplicadas, comentou que era preciso copiar ou imprimir os slides, por norma da escola.

Após esta introdução, foi iniciada a aula expositiva-dialogada propriamente dita. Tratou-se do primeiro “modelo atômico”, o grego, e o modelo atômico de Dalton e foi destacada a diferença entre os dois. Em seguida, foi apresentado o modelo de Thomson e o experimento de Rutherford, para então apresentar o modelo proposto por este. Então, foi mostrado o problema do modelo de Rutherford e uma simulação que apresentava a falha deste modelo. Essa parte chamou a atenção dos alunos, pois apesar da familiaridade com os modelos atômicos, comentaram que nunca haviam estudado sob esta ótica.

Em seguida, foi apresentado o modelo de Bohr, alguns aspectos históricos e o conceito quântico de energia. Nessa parte, os alunos comentaram que não aprenderam o conceito de frequência, sendo necessário uma breve explicação para situá-los. Então, foi explicada a influência do conceito quântico de energia no modelo de Bohr e mostrado por meio de simulações a influência.

No momento seguinte, foi iniciada a explicação sobre o átomo de Schrödinger, apresentando os conceitos da dualidade onda-partícula (figura 2), princípio de incerteza e probabilidade. Nessa parte, os alunos demonstraram maior dificuldade, mas realizaram perguntas e questionamentos que ajudaram na compreensão. Foi necessário explicar o conceito de onda. Esse foi o momento de maior participação dos alunos na aula.

Figura 2 – Imagem da gravação da aula sobre o conceito de dualidade onda-partícula



Fonte: Elaborada pelo autor.

Na sequência, foram apresentados alguns aspectos históricos sobre o átomo de Schrödinger e a estrutura do átomo nesse modelo, com auxílio da simulação. Como era o último período de aula da noite foi possível prolongar um pouco a videoconferência, encerrando-a às 22 h e 40 min. A parte do conteúdo envolvendo os números quânticos não foi contemplada nessa aula, ficando para seguinte.

Nessa aula, em dois momentos, foi necessário explicar conteúdos extras, pois os alunos ainda não haviam estudado. Os PNCEM+ (BRASIL, 2002) destacam que a falta de conhecimento de alguns tópicos pode dificultar a aplicação de conteúdos de FMC. Nesse sentido, recomendam ministrar os tópicos de FMC no terceiro ano do ensino médio, porém, apesar deste projeto ter sido aplicado na série sugerida, esta foi uma dificuldade encontrada durante a sua aplicação. Constata-se que devido à carga horária reduzida e/ou características da turma de alunos, nem sempre todos os conteúdos de Física são contemplados ao longo do ensino médio.

A segunda aula da Etapa 1 foi realizada no dia 24 de agosto de 2020, segunda-feira. Por essa aula ser assíncrona, o conteúdo que faltou ser explicado na aula anterior foi disponibilizado aos alunos pela professora titular, no Google Classroom, através de um vídeo gravado pelo professor, autor deste trabalho. Os alunos também realizaram a tarefa avaliativa dessa etapa respondendo ao questionário pelo Google Forms. Essa atividade foi realizada por oito alunos e seus resultados estão detalhados no subcapítulo 4. 2.

4. 1. 2 Etapa 2 – Física Nuclear

- 1ª e 2ª aulas

No sábado, dia 22 de agosto de 2020, foi dia letivo, e um dos períodos era de Física. Então, a pedido a professora titular, foi adiantado uma parte da primeira aula da etapa 2. Foram disponibilizados os vídeos sobre as armas nucleares para os alunos assistirem e realizarem apontamentos. Essa atividade foi efetuada por 8 alunos.

No dia 25 de agosto de 2020, terça-feira, ocorreu a primeira aula da etapa 2, cuja videoconferência iniciou às 21 h e 35 min. Pelo fato dos alunos já terem assistido aos vídeos na aula extra, de sábado, não foi necessário exibi-los durante a aula. A aula foi iniciada com a discussão do vídeo "Bombas atômicas e armas nucleares" (BOMBA, 2016). Foi aberto espaço para os alunos comentarem os aspectos mais interessantes e importantes do vídeo, na opinião deles. Uma aluna comentou sobre a grande quantidade de energia que um grama de urânio libera ao fissionar e questionou se temos contato no dia-a-dia com este elemento. Outros alunos destacaram a diferença entre o funcionamento de uma bomba nuclear por fissão e uma por fusão.

Em seguida, foram mostradas simulações. A primeira foi a da fusão nuclear a partir da qual foi explicado todo o processo. A segunda, foi a da fissão nuclear, destacando que o elemento mais utilizado é o urânio 235, por ser muito instável, mas que é muito raro na natureza. Uma aluna pediu para explicar o que é um átomo com núcleo instável. A última simulação foi a da reação em cadeia da fissão nuclear, sendo explicado como este processo era utilizado nas bombas nucleares.

No momento seguinte, foi iniciada a discussão do segundo vídeo, "Armas Nucleares" (ARMAS, 2016). Os pontos mais comentados desse vídeo foram sobre o uso cruel e desumano da Física Nuclear nas armas nucleares e a influência da Física Nuclear no período histórico e vice-versa.

Em seguida, foram utilizados os slides sobre os dois ataques nucleares nas cidades de Hiroshima e Nagasaki, durante a segunda Guerra Mundial (figura 3). Nesse momento, os alunos questionaram sobre a diferença da intensidade de uma bomba de fusão para uma de fissão e sobre a destruição que as explosões das bombas causaram. Após, foi comentado e discutido os argumentos contrários e em defesa dos ataques nucleares na segunda Guerra Mundial. No final da aula, o professor, autor do trabalho, a professora titular e alguns alunos comentaram sobre filmes, séries e documentários sobre a segunda Guerra Mundial, armas nucleares e

acidentes nucleares. Um ponto importante dessa aula foi que os alunos comentaram que perceberam a diferença entre as abordagens dos dois vídeos, um tendo uma abordagem científica e outro com abordagem histórica.

Figura 3 – Imagem da gravação da aula sobre os ataques nucleares durante a segunda Guerra Mundial



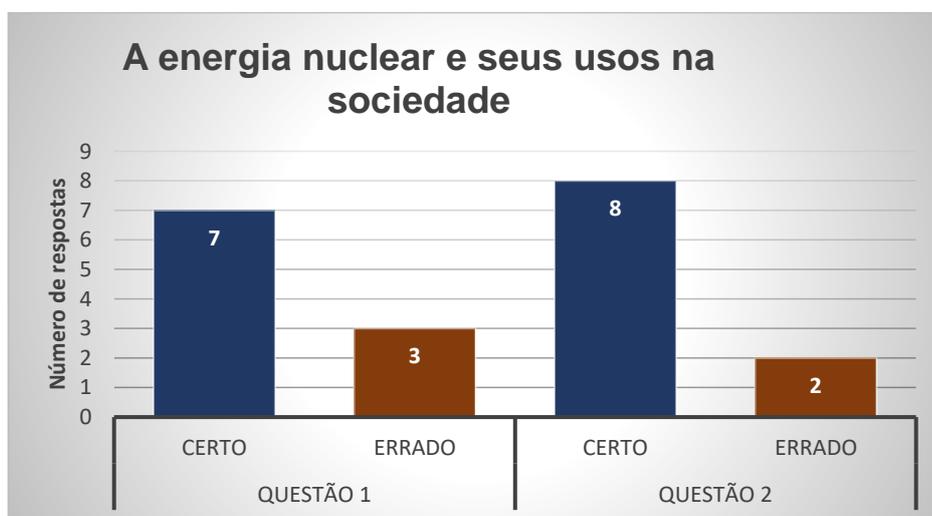
Fonte: Elaborada pelo autor.

A segunda aula da etapa 2 ocorreu no dia 31 de agosto de 2020, segunda-feira. Essa aula foi destinada aos alunos realizarem a tarefa semanal sobre as armas nucleares respondendo ao questionário do Google Forms. Dez alunos realizaram essa tarefa e os seus resultados estão detalhados no subcapítulo 4. 2.

- 3ª e 4ª aulas

Para a terceira aula da etapa 2, os alunos leram, previamente, três textos. Os resultados das respostas aos questionários de cada texto estão apresentados nos gráficos 1 a 3, seguidos das respectivas questões.

Gráfico 1 – Resultados das questões sobre o texto "A energia nuclear e seus usos na sociedade" (GONÇALVES; ALMEIDA, 2005a)



Fonte: Elaborado pelo autor.

Questão 1

"Toda tecnologia avançada pode ser usada para fins pacíficos ou bélicos. Isso ocorre com a eletrônica, a nanotecnologia, a biologia, a engenharia genética e também com a energia nuclear." (GONÇALVES E ALMEIDA, 2005). Marque verdadeiro (V) ou falso (F) nas afirmações, abaixo, sobre a energia nuclear.

() Os acidentes ocorridos com reatores nos Estados Unidos e na Ucrânia não prejudicaram uma discussão ponderada sobre os riscos e os benefícios advindos dessa tecnologia.

() Inúmeras atividades presentes em nosso dia-a-dia empregam, direta ou indiretamente e de modo seguro, as radiações nucleares.

() As técnicas nucleares têm sido anualmente responsáveis pela cura ou prevenção do câncer em milhões de pessoas.

() A energia elétrica produzida em reatores nucleares gera quase 20% desse tipo de energia no mundo e é uma das áreas que menos se preocupam com a segurança.

() Além da área de saúde e da geração de eletricidade, a energia nuclear tem sido amplamente empregada no meio ambiente, na indústria e na pesquisa.

Assinale a alternativa com a sequência correta:

() F, F, V, V, F

() V, V, F, V, F

(X) F, V, V, F, V

() F, V, F, F, V

Questão 2

Marque a alternativa **INCORRETA** sobre o núcleo atômico.

() Podemos considerar o núcleo como composto de prótons, com carga elétrica positiva, e nêutrons, sem carga. Ambos são denominados genericamente núcleons.

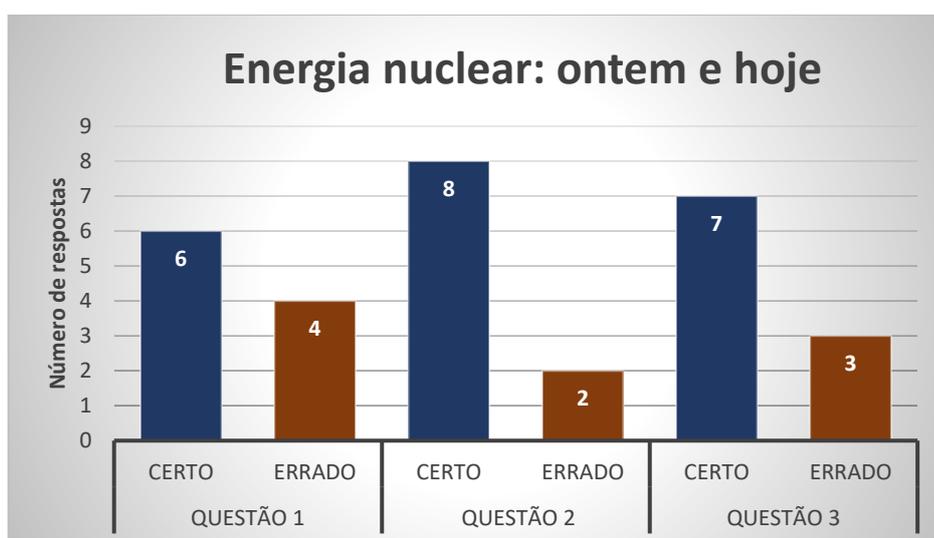
() A letra Z que caracteriza cada um dos átomos, naturais ou artificiais, representa o número de prótons no núcleo.

() A maior parte da massa do átomo está concentrada em seu núcleo, que é muito pequeno (10^{-12} cm a 10^{-13} cm).

(X) Os prótons, por terem carga diferentes, se repelem fortemente devido à força eletrostática. Isso tenderia a fazer com essas partículas se afastassem umas das outras, o que inviabilizaria o modelo.

Esse questionário foi respondido por 10 alunos. De modo geral, o desempenho dos alunos foi satisfatório. Na questão 1, 7 alunos conseguiram acertar a resposta, já na questão 2, foram 8 alunos que acertaram, mostrando que o texto de Gonçalves e Almeida (2005a) foi bem compreendido pela maioria dos alunos.

Gráfico 2 – Resultados das questões sobre o texto "Energia nuclear: ontem e hoje"
(TAVARES, 2013)



Fonte: Elaborado pelo autor.

Questão 1

Marque a alternativa **CORRETA** sobre o primeiro reator nuclear da história.

O primeiro reator nuclear da história teve seu projeto desenvolvido com total conhecimento da população.

O pequeno grupo de cientistas liderados pelo físico italiano Enrico Fermi trabalharam em um grande laboratório da época.

O reator consistia de um empilhamento de blocos de grafite, embebidos de óxido de urânio, bem como pequenas barras de urânio metálico.

A equipe de cientistas responsáveis não tinha conhecimento que seus trabalhos tornaria possível o desenvolvimento de armas nucleares.

Questão 2

"As circunstâncias daquele momento fizeram com que essa energia fosse primeiramente empregada na guerra, com a produção de três bombas atômicas – duas lançadas sobre o Japão, em agosto de 1945, pondo fim ao conflito." (TAVARES, 2013). Marque verdadeiro (V) ou falso (F) nas afirmações abaixo sobre o início da geração de energia nuclear.

Os reatores nucleares, a partir de 1950, passaram a ser construídos com propósitos pacíficos.

Na década de 1950, surgiram vários reatores para gerar eletricidade. O pioneiro foi Obminsk (Rússia), em 1954, e, dois anos depois, Calder Hall (Reino Unido), primeira usina nuclear de larga escala, que funcionou por 50 anos.

Em 1954, foi lançado ao mar o primeiro submarino com propulsão nuclear, o Nautilus, dos EUA.

Mais potentes e tecnologicamente avançadas, essas máquinas começaram a produzir diversos elementos radioativos que foram usados na medicina nuclear para diagnóstico e tratamento de doenças.

Assinale a alternativa com a sequência correta:

V, F, F, V

V, V, V, F

V, V, V, V

F, F, F, V

Questão 3

Assinale a alternativa INCORRETA sobre a energia nuclear no Brasil.

No Brasil foram criados, a partir de 1949, institutos e centros de pesquisa voltados fundamentalmente para as questões nucleares.

() *Em 1957, o primeiro reator nuclear da América Latina, o IEA-R1, entrou em operação na Universidade de São Paulo*

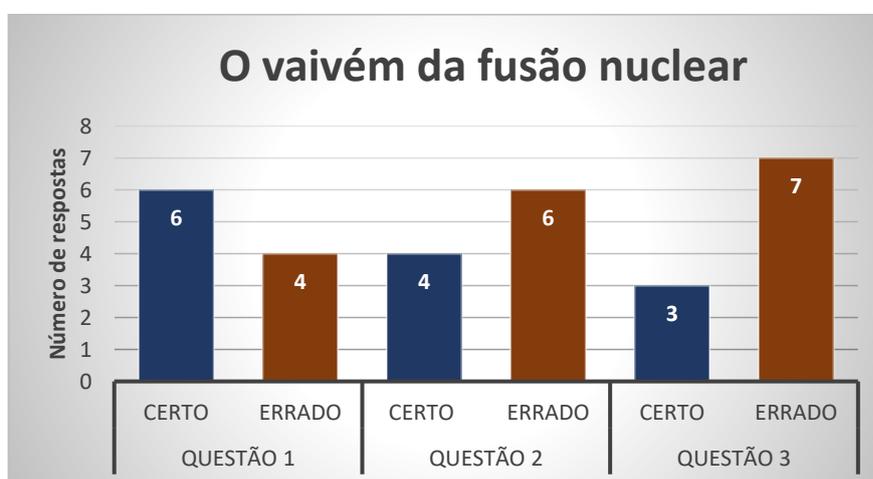
() *Em 1988, o Brasil inaugurou seu primeiro reator nuclear genuinamente nacional, o Ipen/MB-01, resultado de parceria entre pesquisadores do Ipen e da Marinha do Brasil.*

(X) *Os primeiros reatores nucleares do país eram voltados tanto para a produção de radiofármacos como para geração energia nuclear.*

() *Atualmente, o Brasil conta com duas unidades nucleares de grande porte para geração de eletricidade.*

Esse questionário foi respondido por 10 alunos. Pelo gráfico 2 pode-se constatar que o desempenho dos alunos foi satisfatório. O desempenho na questão 1, com 6 acertos, foi o mais baixo. A questão 2 teve 8 acertos e a questão 3 teve 7 acertos. O texto de Tavares (2013) foi muito bem compreendido pelos alunos, apesar de ser maior e apresentar mais conteúdo do que o primeiro, trazendo um panorama sobre o início do uso da energia nuclear.

Gráfico 3 – Resultados das questões sobre o texto "O vaivém da fusão nuclear"
(SANTOS, 2009)



Fonte: Elaborado pelo autor.

Questão 1

Marque a afirmação INCORRETA sobre o processo de fusão nuclear em laboratório (confinamento magnético):

() Nos laboratórios terrestres, existem algumas alternativas para manter os núcleos próximos. A alternativa que mais despertou interesse da comunidade científica é o confinamento magnético.

() O confinamento magnético é hoje sinônimo de tokamak. Esse equipamento consiste em um toroide metálico, em volta do qual várias bobinas condutoras são dispostas.

() No interior do toroide, uma mistura de deutério e trítio é aquecida até que se transforme em plasma, formado por íons positivos e elétrons.

(X) O plasma fica confinado em todas as laterais do toroide possibilitando a fusão nuclear.

Questão 2

"Com exceção da energia escura, cuja origem ainda é um mistério, virtualmente toda a energia do universo surge em processos de fusão nuclear." (SANTOS, 2009). Marque verdadeiro (V) ou falso (F) nas alternativas abaixo:

() No Sol e em outras estrelas, a fusão nuclear inicia pela fusão de dois prótons, que gera um dêuteron (núcleo do deutério, um isótopo do hidrogênio), um elétron e um neutrino, responsável pela liberação de energia.

() Depois, o dêuteron combina-se com outro próton para formar o hélio-3 (composto por dois prótons e um nêutron), que, por sua vez, se junta a outro hélio-3 para formar o hélio-4 (composto por dois prótons e dois nêutrons) e dois prótons. As combinações continuam a ocorrer sucessivamente, até que se formem todos os elementos químicos.

() Em todas essas reações, a energia liberada pode ser calculada a partir da famosa equação de Einstein: $E = mc^2$

() A massa do dêuteron é maior do que a soma das massas do próton e do nêutron. Essa massa que "falta" é transformada em energia.

Assinale a alternativa com sequência correta:

(X) V, V, V, F

() V, F, V, V

() F, F, F, V

() V, F, V, F

Questão 3

"A fusão nuclear voltou a ser assunto para o grande público em 1992, quando a Comunidade Europeia, a Coreia do Sul, a China, os Estados Unidos, o Japão e a

Rússia decidiram construir o Reator Termonuclear Experimental Internacional (Iter, na sigla inglesa)." (SANTOS, 2009). Marque verdadeiro (V) ou falso (F) nas afirmações abaixo sobre o ITER.

() O ITER é considerado o último passo em direção ao teste final de exequibilidade da fusão nuclear em escala industrial, conhecido como Demo. Depois desse teste, deverão surgir instalações industriais que permitirão a realização desse processo em larga escala.

() O princípio da fusão nuclear é estonteantemente simples e sua utilização em artefatos industriais é muito mais simples do que se imaginava.

() Até o processo de fusão nuclear chegar ao estágio industrial, muitas dificuldades técnicas terão que ser superadas, que podem ter consequências catastróficas.

() O ITER surgiu depois que muitos laboratórios aceitaram o desafio da busca pela fusão nuclear, mas perceberam que só um empreendimento internacional seria capaz de suplantá-lo.

Assinale a alternativa com a sequência correta:

() V, V, F, F

() F, F, V, F

() V, V, F, V

(X) V, F, V, V

Esse questionário foi respondido por 10 alunos. Pelo gráfico 3 percebe-se que a turma teve um desempenho bem inferior em comparação aos dois anteriores. O desempenho na questão 1 foi regular, tendo 6 acertos. Nas questões 2 e 3 os alunos tiveram baixo desempenho, com 4 e 3 acertos, respectivamente. Alguns fatores podem ter dificultado a compreensão e contribuído para este desempenho: a extensão do texto de Santos (2009) e o conteúdo não familiar aos alunos. Os pontos com mais dificuldades, observados de acordo com as respostas ao questionário, foram os processos de fusão nuclear e o projeto do Reator Termonuclear Experimental Internacional (Iter).

A terceira aula da etapa 2 ocorreu no dia primeiro de setembro de 2020, terça-feira, iniciando às 21 h e 35 min. A aula começou a discussão sobre o texto "A energia nuclear e seus usos na sociedade" (GONÇALVES; ALMEIDA, 2005a), com auxílio dos slides. O foco foi em três principais usos da energia nuclear: medicina, fonte de energia e agricultura.

Após iniciou-se a discussão do texto "Energia nuclear: ontem e hoje" (TAVARES, 2013), com o auxílio dos slides. Inicialmente, os assuntos mais abordados foram o primeiro reator nuclear, as primeiras usinas nucleares e o panorama atual da energia nuclear. Em seguida, foi falado sobre a usina nuclear do Brasil, Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto, em Angra dos Reis – RJ. Nessa parte da aula, uma aluna questionou sobre o destino da energia elétrica produzida nessa usina (figura 4).

Figura 4 – Imagem da gravação da aula sobre a usina nuclear no Brasil



Fonte: Elaborada pelo autor.

Após, foi explicado o funcionamento básico de um reator nuclear. Nesse momento uma aluna perguntou sobre o tempo de durabilidade do combustível em um reator nuclear e sobre os riscos de contaminação nas áreas próximas da usina. Em seguida, foi explicada a diferença entre a quantidade de energia liberada na fissão nuclear e na fusão nuclear.

No momento seguinte, foi iniciada a discussão do texto "O vaivém da fusão nuclear" (SANTOS, 2009). Os alunos comentaram que foi o texto que tiveram maior dificuldade de entender e pediram uma melhor explicação desse conteúdo. A explicação foi iniciada pelo funcionamento básico do tokamak. Após, foram explicadas as condições para ocorrer a fusão nuclear, nas estrelas e em laboratório. Nessa parte os alunos questionaram quais seriam os objetivos de se promover uma fusão nuclear.

Por último, foi comentado sobre o maior projeto que busca obter uma fusão nuclear sustentável e eficiente. Nessa parte, os alunos comentaram e apontaram as suas dúvidas em relação ao texto, principalmente, sobre as vantagens da fusão nuclear na produção de energia e sobre funcionamento do projeto.

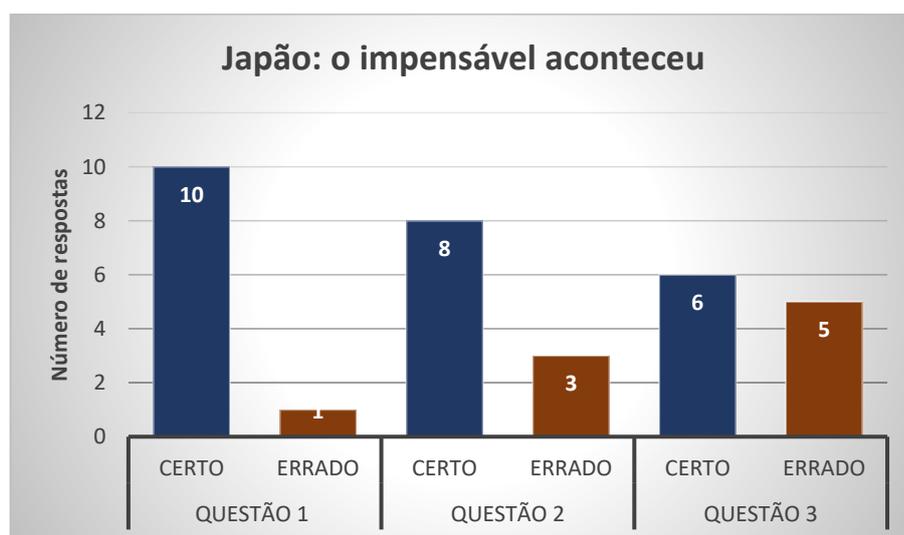
Nos dias 7 e 8 de setembro de 2020 não teve aula devido à ocorrência, respectivamente, do feriado nacional e da entrega de boletins da escola.

Assim, a quarta aula ocorreu no dia 14 de setembro de 2020, segunda-feira. Essa aula foi destinada aos alunos realizarem a tarefa semanal sobre a energia nuclear respondendo ao questionário do Google Forms. 10 alunos realizaram essa tarefa e seus resultados estão detalhados no subcapítulo 4. 2.

- 5ª e 6ª aula

Para a quinta aula da etapa 2, os alunos leram, previamente, dois textos. Os resultados das respostas aos questionários de cada texto estão apresentados nos gráficos 4 e 5, seguidos das respectivas questões.

Gráfico 4 – Resultados das questões sobre o texto "Japão: o impensável aconteceu" (GUIMARÃES, 2011)



Fonte: Elaborado pelo autor.

Questão 1

Na geração de energia por tecnologia nuclear, o principal problema e perigo é a radioatividade. Nas afirmações abaixo marque verdadeiro (V) ou falso (F):

() Para saber se está contaminado um exame simples é o suficiente.

() Nenhum de nossos sentidos é capaz de perceber a radioatividade, natural ou artificial.

() As emissões radioativas podem ser radiações como o raio gama, de natureza semelhante à da luz, mas invisível e de energia muito superior, ou fluxos de partículas, como alfa ou beta, que têm massa e carga elétrica.

() Em caso de exposição a uma fonte externa ao corpo, as radiações gama não serão motivo de maior preocupação.

() Em caso de contaminação interna por inalação ou ingestão de ar, alimentos e água contaminados, as emissões alfa e beta causarão mais danos do que as gama.

Assinale a sequência correta:

() V, V, F, V, F

() F, F, V, F, V

() F, V, F, V, V

(X) F, V, V, F, V

Questão 2

Os acidentes de Chernobyl e de Fukushima tem grandes diferenças. Assinale a alternativa abaixo que NÃO indica uma diferença entre os acidentes.

() Em Fukushima não houve guerra ou crasso erro humano como no acidente de Chernobyl, mas sim a improvável combinação de um terremoto de alta intensidade, seguido de um tsunami de proporções bíblicas.

() Em Chernobyl o reator não possuía contenção hermética, já em Fukushima os reatores possuíam.

(X) A Agência Internacional de Energia Atômica e o governo norte-americano foram os porta-vozes improvisados que interpretam e traduzem os poucos sinais emitidos pelas autoridades responsáveis.

() Na época do acidente de Chernobyl demorou para as informações chegarem ao mundo todo, já no acidente de Fukushima foi muito mais rápido.

Questão 3

Marque a alternativa que conta a principal semelhança entre os acidentes de Chernobyl e de Fukushima.

() O problema é que, se por um lado é difícil comunicar riscos em geral e riscos nucleares em particular, não fazê-lo acaba justificando e amplificando a desconfiança e paranoia.

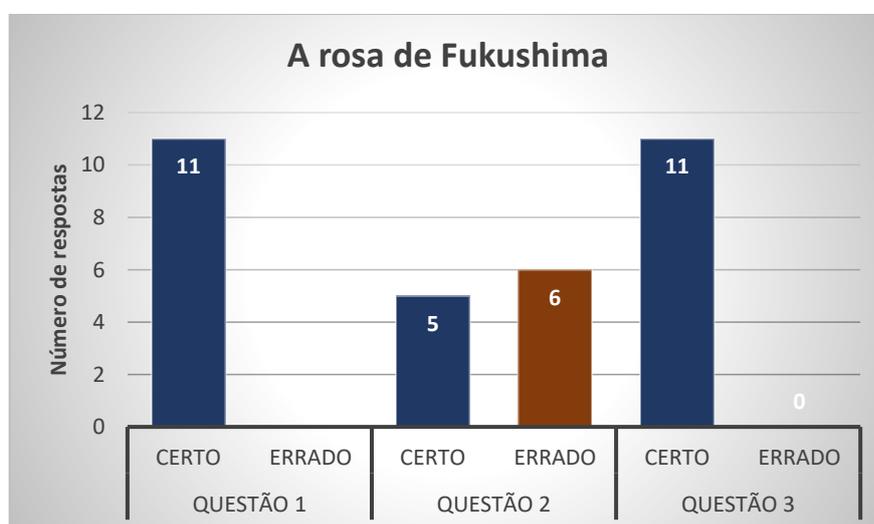
() Para detectar emissores alfa na atmosfera são necessários equipamentos e cálculos muito complexos.

() As últimas explosões foram violentas o bastante para danificar a espessa contenção de concreto onde fica alojado o núcleo do reator e provocar vazamento para a atmosfera de produtos radioativos.

(X) A atitudes erradas e equivocadas das autoridades responsáveis nos dois acidentes foram muito semelhantes.

Esse questionário foi respondido por 11 alunos. O desempenho da turma foi satisfatório, tendo grande número de acertos. A questão 1 respondida corretamente por 10 alunos, já a questão 2 por 8 alunos e a questão 3 por 6 alunos, mostrando que os alunos compreenderam bem o texto de Guimarães (2011), que tratava do acidente nuclear de Fukushima, além da produção de energia em uma usina nuclear e apresentava comparações com o acidente nuclear em Chernobyl.

Gráfico 5 – Resultados das questões sobre o texto "A rosa de Fukushima" (OLIVEIRA, 2011)



Fonte: Elaborado pelo autor.

Questão 1

O maior perigo em Fukushima foi a contaminação radioativa. Nas afirmações abaixo marque verdadeiro (V) ou falso (F).

() O reator da usina de Fukushima emitia radiação de alta energia, altamente perigosa.

() A contaminação radioativa é igual a irradiação.

() Os perigos da manipulação de materiais radioativos ou a utilização da energia nuclear não são muitos.

() A irradiação é a exposição de um objeto ou um corpo à radiação. Ela ocorre a uma distância determinada, sem necessidade de um contato direto com o material radioativo.

Marque a alternativa com a sequência correta:

V, V, V, F

V, F, F, V

F, F, V, F

F, F, V, V

Questão 2

"No dia 11 de março de 2011 ocorreu no Japão um dos mais fortes terremotos já registrados. Pelo fato de o epicentro do tremor ter sido no oceano, formou-se um tsunami que atingiu a costa norte do país, aumentando ainda mais a devastação. A pior consequência de todos esses eventos foi o acidente nuclear nos reatores que ficam na cidade de Fukushima. Devido ao tremor de terra, estes foram desligados." (OLIVEIRA, 2011). Marque a alternativa abaixo que NÃO está relacionada ao que aconteceu nos reatores da usina nuclear de Fukushima.

Quando se desliga um reator nuclear, ele não para de funcionar imediatamente, pois as reações nucleares continuam acontecendo. É necessário resfriá-lo para que ele cesse de operar.

Quando se faz uma reação em cadeia não controlada, em que todos os átomos de urânio se fissionam, tem-se uma explosão nuclear

Se o reator nuclear não é resfriado, os nêutrons produzidos nas reações continuam tendo alta energia, devido à alta temperatura.

Os reatores são resfriados por um sistema de refrigeração, que tiveram seus próprios geradores de energia elétrica danificados, com isso, impedindo o seu resfriamento e causando todos os problemas de contaminação radioativa.

Questão 3

A radioatividade foi descoberta por Antoine Henri Becquerel e o casal Curie desenvolveram estudo sobre a origem da radioatividade. Marque verdadeiro (V) ou falso (F) nas alternativas abaixo:

A radioatividade é resultante do processo de transformação do núcleo atômico.

Todos os elementos com mais de 82 prótons (átomo de chumbo) não são radioativos.

Os raios gama podem ser letais, pois consegue penetrar em nosso organismo e pode desestruturar o núcleo das células. Essa desestruturação celular, por sua vez, pode levar ao aparecimento de câncer.

() Quando o urânio começa a se desintegrar, ele se transforma em tório emitindo uma partícula beta, que corresponde a dois prótons e dois elétrons.

Assinale a alternativa com a sequência correta:

() F, F, V, F

() F, V, F, F

(X) V, F, V, F

() V, V, V, F

Esse questionário foi respondido por 11 alunos. O desempenho da turma foi, de modo geral, satisfatório. Nas questões 1 e 3, todos o alunos acertaram, mas na questão 2, o desempenho foi insuficiente, com apenas 5 acertos. A questão 2 exigia maior interpretação e compreensão do texto, do que as outras questões. O texto de Oliveira (2011), assim como o texto de Guimarães (2011), trata sobre o acidente nuclear de Fukushima e de assunto relacionados, como a descoberta da radioatividade e a contaminação radioativa.

A quinta aula da etapa 2 ocorreu no dia 15 de setembro de 2020, terça-feira, com a videoconferência iniciando às 21 h e 35 min. A aula começou abordando brevemente quatro grandes acidentes nucleares: o acidente radioativo de Goiânia; o acidente nuclear de Chernobyl; o acidente nuclear de Fukushima e o acidente nuclear de Three Mile Island, dos quais os três primeiros foram estudados mais detalhadamente.

Em seguida, foi iniciado o estudo do acidente de Chernobyl, assistindo ao vídeo "Chernobyl e a lava radioativa" (CHERNOBYL, 2017) e posteriormente, foram discutidas com a turma as consequências do acidente. Os alunos questionaram sobre as pessoas próximas à usina nuclear, se tinham consciência do perigo a que estavam expostas. Após, foi comentado sobre o acidente radioativo de Goiânia. Os alunos já tinham estudado brevemente sobre o ocorrido, em outras aulas, sendo um momento de grande participação dos alunos.

No momento seguinte, foram discutidos os textos, "Japão: o impensável aconteceu" (GUIMARÃES, 2011) e "A rosa de Fukushima" (OLIVEIRA, 2011), sobre o acidente nuclear em Fukushima. Por ser um evento histórico recente, os alunos possuíam maior conhecimento sobre, proporcionando maior participação da turma. Os assuntos que geraram mais comentários foram, medidas de segurança pós acidente, solução dos problemas decorrentes do incidente e as condições da região atualmente (figura 5).

Figura 5 – Imagem da gravação da aula sobre o acidente nuclear de Fukushima



Fonte: Elaborada pelo autor.

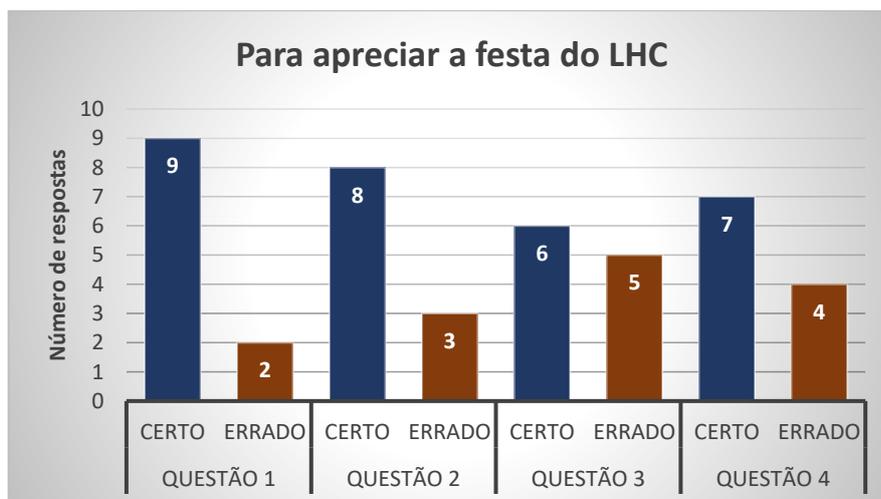
O texto "A rosa de Fukushima" (OLIVEIRA, 2011) trata também sobre a descoberta da radioatividade, que introduziu este próximo tópico da aula. Inicialmente, foi comentado sobre a descoberta da radioatividade e após foram explicados os três principais decaimentos radioativos e suas respectivas radiações, alfa, beta e gama. Por último, foi mostrada uma simulação que detalhava o poder de penetração de cada tipo de radiação estudada. A aula prosseguiu até as 22 h e 40 min, passando 10 minutos do horário normal de encerramento, com a concordância dos alunos e da professora titular e, assim, todo o conteúdo previsto foi discutido.

A sexta aula da etapa 2 foi realizada no dia 21 de setembro de 2020, segunda-feira. Os alunos realizaram a terceira tarefa avaliativa desta etapa, respondendo a perguntas em um questionário no Google Forms. A tarefa foi realizada por 10 alunos e os seus resultados estão detalhados no subcapítulo 4. 2.

4. 1. 3 Etapa 3 – Física de partículas

Para a primeira aula da etapa 3, os alunos leram, previamente, um texto. Os resultados das respostas ao questionário do texto estão apresentados no gráfico 6, seguido das respectivas questões.

Gráfico 6 – Resultados das questões sobre o texto “Para apreciar a festa do LHC”



Fonte: Elaborado pelo autor.

Questão 1

Quais das afirmações abaixo, sobre o início da busca da constituinte indivisível da matéria, são corretas.

I. O primeiro modelo atômico baseado em evidências experimentais só foi elaborado a partir de 1911, pelo neozelandês Ernest Rutherford e seus colaboradores.

II. Com a descoberta do próton, em 1919, e do nêutron, em 1932, o modelo de Rutherford chegou ao formato em que ainda é largamente ensinado em nossas escolas.

III. Um dos grandes desafios enfrentados pelos físicos nos anos 1920 e 1930 era a explicação do fenômeno conhecido como decaimento gama.

IV. Em 1930, o austríaco Wolfgang Pauli propôs a existência de uma partícula sem carga elétrica e com massa semelhante à do elétron.

Marque a alternativa correta:

() Afirmações II, III

() Afirmação I

(X) Afirmações I, II

() Afirmações II, IV

Questão 2

Marque verdadeiro (V) ou falso (F) nas afirmações abaixo sobre antimatéria.

() Entre 1928 e 1930, Paul Dirac tentava explicar o comportamento do elétron em termos da relatividade e da teoria quântica e previu a existência de um elétron com carga positiva e energia negativa.

() A teoria de Dirac também previa que partícula e antipartícula deveriam se aniquilar se colocadas suficientemente próximas uma da outra.

() Carl David Anderson confirmou experimentalmente a existência da antimatéria, com a descoberta do pósitron (o antielétron postulado por Dirac).

() No final dos anos 1940, acreditava-se que as partículas elementares eram elétron, próton, nêutron.

Assinale a alternativa com a sequência correta:

() V, V, F, F

() F, V, F, F

() F, V, V, V

(X) V, V, V, F

Questão 3

Assinale a alternativa INCORRETA sobre o Modelo Padrão.

() Um aspecto desagradável na história da física de partículas é a sucessão de novos termos para denominar novas partículas e novos tipos de interação. Felizmente, com o advento do modelo padrão, este cenário foi consolidado com uma estrutura mais palatável.

() De acordo com o modelo, próton e nêutron são compostos por três quarks, enquanto os mésons são compostos por um quark e um antiquark.

(X) Hoje podemos dizer que a física de partículas é suportada por um tripé: léptons, hádrons, e portadores de força ou propagadores de interação.

() Existe perto de uma centena de hádrons, divididos em duas famílias: os mésons e o bárions. O próton e o nêutron são os membros mais famosos da família bariônica.

() Prótons e nêutrons interagem por intermédio da força nuclear para manter o núcleo.

Questão 4

Marque verdadeiro (V) ou falso (F) nas afirmações abaixo sobre a importância do LHC na busca de completar o Modelo Padrão.

() A explicação da matéria pelo modelo padrão é simples e elegante, embora incompleta. O LHC é apenas a tentativa do momento para testar o modelo no ponto em que experimentos anteriores falharam.

() No caso do LHC, em que prótons serão lançados contra prótons, com uma energia de colisão aproximadamente igual a 14 trilhões de elétron-volts. Com expectativa de que o bóson de Higgs dê as caras em algumas dessas interações.

() O bóson de Higgs supostamente origina a massa do universo.

() O que se pretende com os aceleradores é a obtenção de energia suficiente para aniquilar as partículas.

() Nos casos em que uma partícula elementar é lançada contra sua antipartícula, novas partículas podem surgir.

Assinale a alternativa com a sequência correta:

() F, F, V, V, F

(X) V, V, V, F, V

() V, V, F, F, V

() F, V, V, F, V

Esse questionário foi respondido por 11 alunos. Apesar de abordar um conteúdo normalmente desconhecido pelos alunos, o desempenho foi satisfatório. Enquanto que 9 alunos acertaram a questão 1, a questão 2 obteve 8 acertos. A questão 3 teve 6 acertos, o mais baixo desempenho desta etapa; já na questão 4 foram 7 acertos. As questões 3 e 4 tiveram desempenho inferior às demais, possivelmente por tratarem do Modelo Padrão, um conteúdo novo para os alunos.

A primeira aula da etapa 3 ocorreu no dia 22 de setembro de 2020, terça-feira, às 21 h e 35 min. No início da aula foi explicado o formato da tarefa avaliativa dessa etapa, aplicada por meio de um jogo no Kahoot!. Em seguida, iniciou-se a explicação do novo conteúdo: partículas elementares e interações fundamentais. Primeiramente foi comentado sobre as primeiras partículas descobertas: elétron; fóton; próton; nêutron; pósitron.

Após, foi discutido sobre o avanço da mecânica quântica e dos aceleradores de partículas, os quais proporcionaram a descoberta de muitas partículas. Os alunos perguntaram sobre o funcionamento dos aceleradores de partículas e o tipo de partículas utilizadas (figura 6). Em seguida, foi comentado sobre a participação do físico brasileiro Cesar Lattes, na descoberta da partícula méson π .

Figura 6 – Imagem da gravação da aula sobre aceleradores de partículas



Fonte: Elaborada pelo autor.

No momento seguinte, foi introduzida a teoria do Modelo Padrão. Os alunos comentaram que não conheciam esse conteúdo, e o primeiro contato foi por meio do texto "Para apreciar a festa do LHC" (SANTOS, 2008). Por esse motivo, os alunos participaram da aula com bastante questionamentos. Um ponto sobre o qual comentaram foi a característica dos quarks, de só serem encontrados agrupados, o que foi elucidado com a explicação dos bárions e mésons. Outro fato que acharam curioso é o caso dos léptons, com carga elétrica, possuírem um neutrino associado.

Em seguida, foram explicadas as 4 interações fundamentais. Os alunos já possuíam conhecimento sobre a força da gravidade e a força elétrica. A extensão do campo de influência das interações, foi um assunto comentado pelos alunos. Por último, na aula, foi apresentado que a partícula mediadora da força de gravidade, não foi descoberta experimentalmente, sendo que a esta interação é a única não contemplada pelo Modelo Padrão.

Nessa aula não foi abordado todo o conteúdo previsto. O restante ficou para ser ministrado na segunda aula da etapa 3, que excepcionalmente também ocorreu por videoconferência.

A segunda aula de etapa 3 ocorreu no dia 28 de setembro de 2020, segunda-feira, às 19 h e 25 min. Esta aula estava prevista para ser assíncrona porém, para a melhor realização da tarefa avaliativa dessa etapa que foi aplicada através de um jogo pelo Kahoot!, foi decidido que a aula seria por videoconferência. Os resultados estão detalhados no subcapítulo 4. 2.

No início da aula foi terminado o conteúdo que faltou ser discutido na aula anterior: Bóson de Higgs e as antipartículas. Em seguida, os alunos foram orientados sobre como iniciar o jogo e o mesmo foi realizado. A atividade avaliativa ficou disponível até o fim do dia seguinte, pois alguns alunos não conseguiram comparecer no momento da aula síncrona. Dos 9 alunos que estavam presentes no início da aula, somente 6 iniciaram o jogo, e destes, apenas 5 responderam às perguntas. Após o término do jogo, os alunos relataram terem gostado da atividade, mas alegaram que o tempo limite para responder foi algo que os pressionou. Os alunos presentes terminaram o jogo antes do final da aula, e assim, a aula foi encerrada um pouco antes, às 20 h e 15 min.

4. 1. 4 Etapa 4 – Revisão

A primeira aula da etapa 4 ocorreu no dia 29 de setembro de 2020, às 21 h e 35 min, terça-feira, por videoconferência. Esta aula foi destinada para realização da revisão do conteúdo estudado na proposta de ensino. Foi realizada uma revisão cronológica abordando as principais descobertas e avanços da Física Atômica e Nuclear estudados. Assim, foram analisadas as influências de cada descoberta e/ou avanço sobre os próximos.

Durante a aula os alunos participaram com comentários e dúvidas. Os principais comentários foram sobre: os conceitos quânticos da dualidade onda-partícula e do princípio da incerteza; os modelos atômicos de Rutherford e o de Bohr; a descoberta do méson π , com participação de Cesar Lattes; partículas elementares e interações fundamentais.

Os alunos também tiveram dúvidas sobre as reações nucleares de fissão e fusão nuclear, principalmente, sobre a diferença entre as duas. Outra questão levantada pelos alunos foi sobre a validade da dualidade onda-partícula para corpos macroscópicos (figura 7). No final da aula, foi explicada a atividade que os alunos realizariam no dia 03 de outubro de 2020, um sábado letivo.

Figura 7 – Imagem da gravação da aula de revisão sobre dualidade onda-partícula



Fonte: Elaborada pelo autor.

No dia 03 de outubro ocorreu uma aula extra, para a qual a professora titular solicitou que fosse aplicada alguma atividade relativa à proposta em desenvolvimento. Para esse dia, foi destinada a realização da avaliação da proposta de ensino, por parte dos alunos, através de um questionário do Google Forms. Oito alunos responderam ao questionário e os resultados estão detalhados no subcapítulo 4. 2.

Na última aula da proposta, foi realizada a avaliação final, que ocorreu no dia 05 de outubro de 2020, segunda-feira. A avaliação, em formato de questionário do Google Forms, era formada por 9 questões sobre todo conteúdo da proposta de ensino. Nove alunos responderam à avaliação e os resultados estão detalhados no subcapítulo 4. 2.

Uma dificuldade muito presente durante a aplicação da proposta foi garantir a participação de todos os 11 alunos, tanto nas videoconferências, quanto na realização das atividades avaliativas. Nas videoconferências, participavam de 6 a 8 alunos por aula, o que confere com a média dos alunos participantes nas demais aulas, segundo os relatos da professora titular e de alguns alunos. O restante dos alunos poderia assistir à gravação da aula, disponibilizada a todos através da plataforma Google Classroom. As atividades avaliativas e os questionários, mesmo com prazos de realização extensos, raramente foram realizados por todos alunos.

Essa reduzida participação e realização das atividades das aulas certamente está relacionada ao ensino remoto. Os alunos não eram obrigados a participarem das videoconferências, não sendo aplicada falta. Raramente os alunos presentes ligavam

suas câmeras, dificultando a aproximação com eles, bem como a percepção em relação à motivação, interesse ou alguma dificuldade. Isto somente se tornava possível nos momentos de participação espontânea dos alunos em aula, quando comentavam, questionavam e esclareciam dúvidas ou mediante solicitação de participação por parte do professor.

Nas atividades avaliativas, os alunos podiam consultar o material disponibilizado pelo professor, materiais de sites na internet e seus próprios colegas. Essa condição, dificulta uma avaliação mais concreta e definitiva. Além disso, nas circunstâncias de ensino remoto, a prioridade estava em garantir a entrega das atividades realizadas pelos alunos, enquanto que a qualidade do conteúdo desenvolvido nas tarefas, muitas vezes, ficava em segundo plano.

De modo geral, constatou-se durante a aplicação da proposta de ensino que a utilização de simulações, em algumas das aulas, contribuiu positivamente para a compreensão dos conceitos estudados, por parte dos alunos. Este fato concorda com o que Silva, Fusinato e Lino (2013) defendem: a demonstração de experimentos e modelo científicos como forma de ajudar na assimilação dos conteúdos pelos alunos. Nos momentos que esse recurso didático foi utilizado, os alunos participaram ativamente das aulas, demonstrando interesse e muito dispostos a esclarecer suas dúvidas.

Muchenski e Beilner (2015) e Cunha, Junior e Silva (2017) ressaltam que utilização de vídeos nas aulas contribui para a captar a atenção dos alunos e contribuir para o conhecimento, o que foi verificado nas aulas em que este recurso foi utilizado. As mesmas ocorreram de forma muito satisfatória e produtiva. Na primeira aula da etapa 2, apesar de terem assistidos os vídeos previamente, a participação dos alunos foi muito positiva, com boas contribuições e dúvidas esclarecidas. Na quinta aula da mesma etapa, o vídeo foi assistido em aula, e do mesmo modo, captou a atenção dos alunos, incentivando questionamentos e comentários por parte dos discentes.

Silva e Kawamura (2001) destacam que os textos de divulgação científica podem ser aplicados de duas formas: como introdução ao conteúdo ou complemento adicional. Nesta proposta de ensino, os textos foram utilizados como introdução ao conteúdo da aula e como sugestão de leitura complementar a título de aprofundamento sobre a Física de partículas. O texto de "O vaivém da fusão nuclear" (SANTOS, 2009) tratava de um assunto totalmente novo para a maioria dos alunos, segundo relato dos próprios, o que causou maior dificuldade em compreendê-lo. Nas

aulas em que este recurso didático foi utilizado, os alunos realizaram muitos comentários relacionados aos textos e expuseram diversas dúvidas sobre o conteúdo dos mesmos.

Nas aulas em que foi tratado da evolução de conceitos e modelos científicos, especialmente na primeira aula da etapa 1, os momentos nos quais eram discutidas as rupturas e mudanças nos conceitos e paradigmas da Física, captavam uma atenção diferenciada dos alunos. Verificou-se que os alunos se mostravam motivados em entender, comentando sobre o tema e esclarecendo dúvidas. Matthews (1995), Silva e Cyrineu (2018), entre outros autores, destacam que abordar conteúdos utilizando esse foco ajuda na motivação, interesse dos alunos e os aproxima da Física, podendo facilitar a compreensão dos conceitos; o que de fato foi constatado no decorrer das aulas.

4. 2 AVALIAÇÕES

Nesse subcapítulo serão apresentados os resultados das atividades avaliativas realizadas durante a aplicação da proposta de ensino. Serão expostas as questões e uma breve análise sobre as respostas atribuídas às mesmas. Na sequência, serão apresentadas a autoavaliação e a avaliação da proposta de ensino, por parte dos alunos, seguida da avaliação da proposta de ensino por parte da professora titular.

Em todas as avaliações, realizadas de forma remota, os alunos puderam consultar o material das aulas.

4. 2. 1 Tarefas Avaliativas Semanais

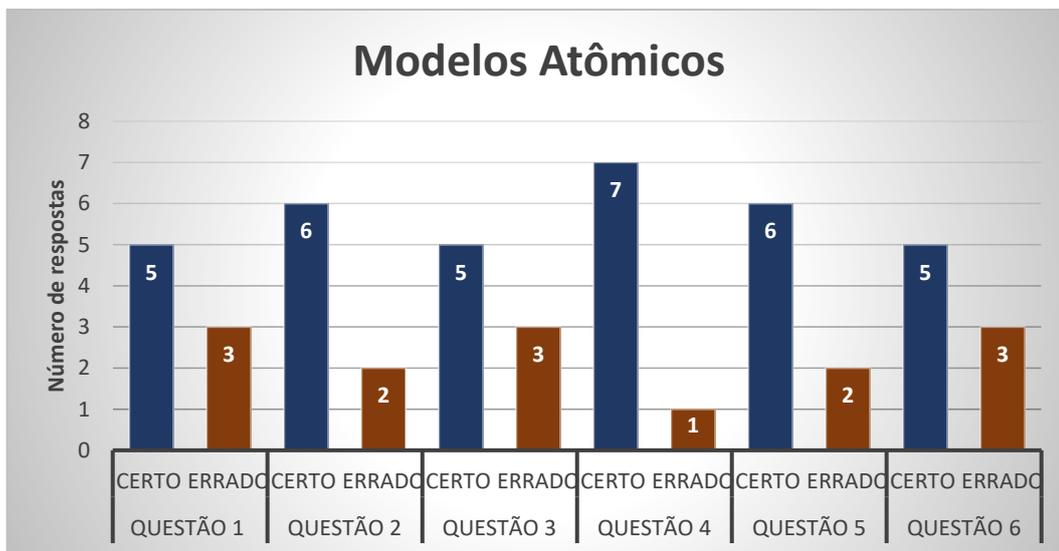
Serão apresentados os resultados das 5 tarefas avaliativas desenvolvidas semanalmente. Das 5 tarefas, 4 foram realizadas por meio de questionários do Google Forms e uma foi desenvolvida por um jogo no Kahoot!.

4. 2. 1. 1 Tarefa Avaliativa – Modelos Atômicos

A tarefa avaliativa sobre os modelos atômicos foi realizada na segunda aula da etapa 1. O desempenho da turma foi satisfatório, conforme demonstra o gráfico 7. A tarefa, cuja pontuação total era de 10 pontos, era composta por 6 questões, foi

respondida por 8 alunos e a média atingida pela turma foi de aproximadamente 7,1 pontos. As primeiras duas questões possuíam o valor de 1 ponto, por apresentarem menor grau de dificuldade. As outras 4 questões tinham valor de 2 pontos, por tratarem de conteúdos mais avançados.

Gráfico 7 – Resultados das questões da tarefa avaliativa sobre os modelos atômicos



Fonte: Elaborado pelo autor.

Questão 1

Quais das afirmações abaixo, sobre o modelo atômico de Dalton, são verdadeiras:

I - Átomos são esferas maciças e homogêneas.

II - Os átomos são as menores partículas da matéria (indivisíveis) e indestrutíveis.

III - Os átomos são formados por prótons e elétrons.

IV - Conhecido como modelo de "bola de bilhar".

Assinale a alternativa correta:

I e II;

I, III e IV;

I e III;

I, II e IV.

A questão 1, tratava sobre o modelo atômico Dalton, um conteúdo que os alunos já conheciam. O desempenho dos alunos foi bom, 5 alunos acertaram a

questão. Os 3 erros foram distribuídos, respectivamente, um em cada alternativa errada.

Questão 2

Assinale a alternativa correta sobre o modelo de Thomson:

() Os elétrons orbitam o núcleo positivo.

() O átomo é uma esfera maciça, indivisível e indestrutível.

(X) Átomo é formado por uma esfera positiva e com elétrons incrustados em seu interior.

() Os átomos têm muitos espaços vazios.

A questão 2 também tratava de um conteúdo que os alunos já tinham conhecimento, o modelo atômico de Thomson. 6 alunos acertaram a questão, mostrando um bom desempenho. Os 2 erros foram distribuídos em alternativas erradas distintas, “Os elétrons orbitam o núcleo positivo” e “O átomo é uma esfera maciça, indivisível e indestrutível”.

Questão 3

Marque a alternativa que corresponde ao principal problema apresentado pelo modelo atômico de Rutherford:

(X) Os átomos seriam instáveis, pois os elétrons irradiariam energia e se moveriam em espirais até colidir com o núcleo.

() Os átomos seriam instáveis, pois os elétrons se desprenderiam do núcleo.

() Os átomos seriam estáveis e neutros.

() Nenhuma das alternativas.

A questão 3 abordava o principal problema no modelo atômico de Rutherford. Por relato dos alunos em aula, esse conteúdo ainda não havia sido estudado. O desempenho dos alunos foi satisfatório, tendo 5 acertos nessa questão. Dos 3 erros, dois foram assinalados na alternativa “Nenhuma das alternativas”, e outro foi marcado na alternativa “Os átomos seriam instáveis, pois os elétrons se desprenderiam do núcleo”.

Questão 4

Marque verdadeiro (V) e falso (F) nas afirmações abaixo, sobre o átomo de Bohr:

() Bohr corrigiu a instabilidade do átomo do modelo de Rutherford incorporando o conceito quântico de energia.

() O elétron só pode ter valores determinados de energia, que correspondem aos orbitais.

() Um elétron, quando permanece em uma órbita permitida, não ganha nem perde energia, espontaneamente.

() O elétron ocupa apenas algumas órbitas circulares, com energia constante e definida.

Marque a alternativa correta:

() V, F, F, V.

(X) V, F, V, V.

() F, F, V, V.

() F, V, V, V.

A questão 4 tratava sobre o átomo de Bohr. O desempenho dos alunos foi muito positivo, tendo 7 acertos, mostrando que foi muito bem entendido o conceito quântico de energia e as características do modelo de Bohr. O aluno que errou marcou a alternativa "F, V, V, V".

Questão 5

"Não se pode medir com precisão, simultaneamente, a posição e o momento linear de partículas microscópicas."

A afirmação acima se refere a qual conceito quântico estudado?

() Probabilidade.

() Conceito quântico de energia.

() Dualidade onda-partícula.

(X) Princípio da Incerteza.

A questão 5, mesmo tratando do conceito quântico do princípio da Incerteza, foi obtido um bom desempenho, 6 acertos. Os 2 erros foram nas alternativas "Conceito quântico de energia" e "Dualidade onda-partícula".

Questão 6

Marque verdadeiro (V) e falso (F) nas afirmações sobre os números quânticos:

() Número quântico principal indica o nível de energia que o elétron ocupa.

() Número quântico secundário indica o subnível de energia do elétron e a forma de seu orbital.

() Número quântico magnético indica o magnetismo dos elétrons.

() Número quântico de spin indica o sentido de translação do elétron.

Assinale a alternativa correta:

(X) V, V, F, F.

() V, F, F, F.

() F, V, V, V.

() V, V, V, V.

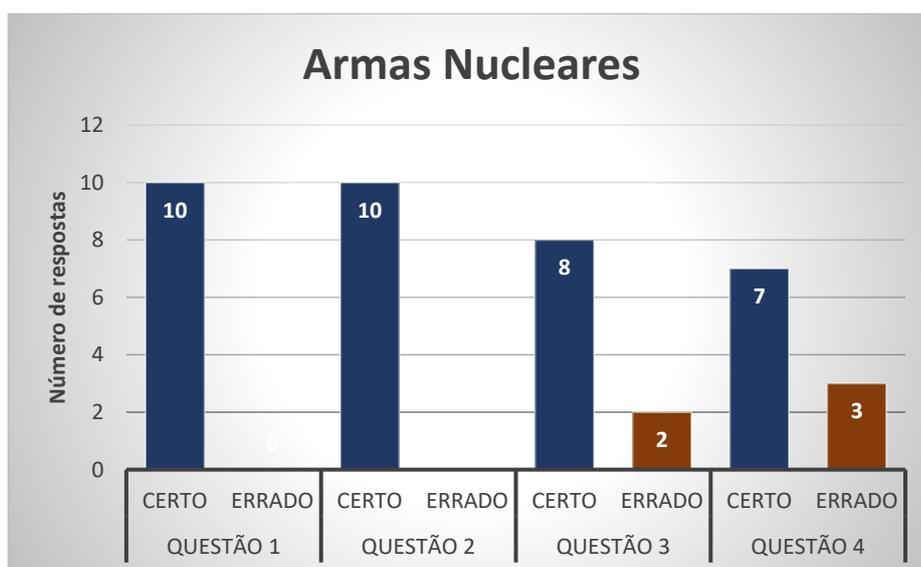
A sexta questão tratava sobre os números quânticos dos elétrons no átomo de Schrödinger. O desempenho foi satisfatório, com 5 acertos, mesmo sendo um conteúdo mais avançado sobre o qual os alunos tinham pouco conhecimento prévio. Dos 3 erros, um aluno marcou a alternativa “F, V, V, V” e dois alunos marcaram a alternativa “V, V, V, V”.

O bom desempenho da turma nessa tarefa avaliativa demonstra que os alunos compreenderam bem os conceitos estudados, mostrando que a abordagem com foco na história da Ciência, no caso da Física, pode ser um bom recurso pedagógico para ensinar os conceitos científicos, como Moura e Silva (2014) defendem. Assim, a combinação entre a história da Física e os conceitos físicos levam a uma aprendizagem mais enriquecedora dos alunos, conforme argumentam Silva e Cyrineu (2018).

4. 2. 1. 2 Tarefa avaliativa – Armas Nucleares

A tarefa avaliativa sobre as armas nucleares foi realizada na segunda aula da etapa 2. O desempenho da turma foi muito satisfatório, conforme mostra o gráfico 8. A tarefa, cuja pontuação total era de 10 pontos, era composta de 4 questões, foi respondida por 10 alunos e a média atingida pela turma foi de 8,75 pontos. Cada questão tinha o valor de 2,5 pontos.

Gráfico 8 – Resultados das questões da tarefa avaliativa sobre armas nucleares



Fonte: Elaborado pelo autor.

Questão 1

Marque verdadeiro (V) ou falso (F) nas afirmações sobre o projeto Manhattan:

() Foi desenvolvido pelos EUA em parceria com a Alemanha.

() Desenvolveu as duas bombas atômicas utilizadas na Segunda Guerra Mundial.

() Desenvolveu armas químicas.

() O projeto contava com os principais cientistas do mundo que eram liderados pelo físico Robert Oppenheimer.

Assinale a alternativa com a sequência correta:

() F, F, F, V

() V, V, V, V

(X) F, V, F, V

() V, V, F, F

A questão 1 tratava sobre o projeto Manhattan, um grande projeto envolvendo a Física Nuclear. O desempenho da turma foi ótimo, todos os alunos acertaram a questão. Mostrando que o entendimento dos alunos foi plenamente satisfatório nesse conteúdo.

Questão 2

Otto Hahn e Fritz Strassmann e Lise Meitner conseguiram fissionar átomos de urânio, em 1938. O que eles utilizavam para bombardear os átomos de urânio?

Hidrogênio

Nêutrons

Elétrons

Fótons

A questão 2 tratava sobre o início da obtenção da fissão nuclear do urânio. A questão era bem simples e direta. O desempenho da turma foi plenamente satisfatório, com 10 acertos nessa questão.

Questão 3

Marque verdadeiro (V) ou falso (F) nas afirmações abaixo sobre fissão e fusão nuclear e as bombas atômicas (armas nucleares):

Os estudos e pesquisas sobre a fissão nuclear tiveram grandes avanços durante a Segunda Guerra Mundial.

A bomba de fissão nuclear, *Little Boy*, utilizava urânio na sua composição.

A bomba de fissão nuclear, *Fat Man*, utilizava polônio na sua composição.

As bombas de fusão nuclear são mais fracas que as de fissão nuclear.

A bomba de fusão utilizava uma bomba de fissão como início para a fusão do hidrogênio.

Assinale a alternativa com a sequência correta:

V, F, V, F, F

V, F, F, V, V

V, F, F, F, V

V, V, F, F, V

A questão 3 relacionava a fissão e fusão nuclear com as bombas atômicas. O desempenho dos alunos foi satisfatório, tendo 8 acertos na questão. A compreensão dessa parte do conteúdo foi muito positiva. Os dois erros foram referentes à mesma alternativa, “V, F, F, V, V”.

Questão 4

Nas afirmativas abaixo, marque (D) se forem em defesa dos ataques nucleares durante a Segunda Guerra Mundial ou (C) se forem contrárias/críticas.

Invasão da Ilha principal do Japão seria uma missão muito difícil e mortal;

Matou milhares de civis japoneses, sem envolvimento militar;

Interesse dos EUA em mostrar seu poder militar à URSS;

O governo japonês negou a rendição dias antes;

Foi um ato terrorista e desnecessário.

Assinale a alternativa com a sequência correta:

() D, C, C, C, C.

() D, C, D, C, C.

() C, D, C, D, C.

(X) D, C, C, D, C.

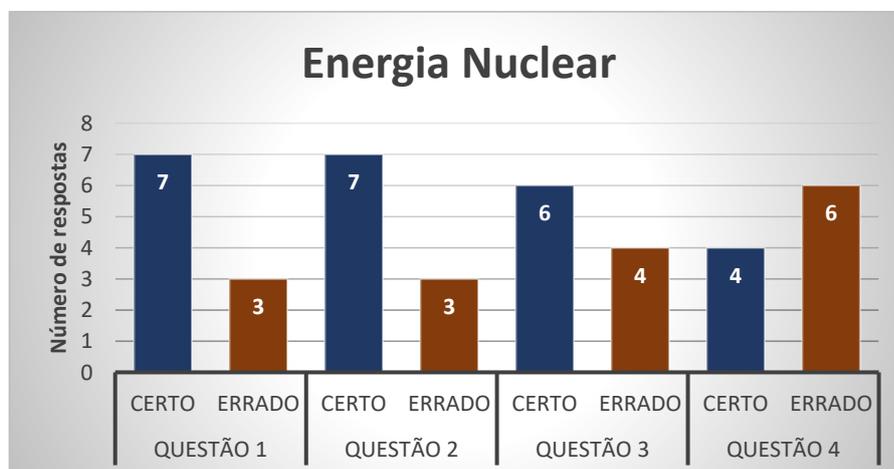
A questão 4 tratava dos dois ataques nucleares ocorridos durante a Segunda Guerra Mundial, citando argumentos em defesa e contrários. O desempenho dos alunos foi satisfatório na questão, com 7 acertos. Os 3 erros foram na mesma alternativa, “C, D, C, D, C”. Os 5 argumentos presentes na questão constavam no material de aula, que indica que os erros foram por falta de atenção.

Chicóira, Camargo e Toppel (2015) ressaltam a importância de relacionar as descobertas científicas com o contexto histórico da época. Relacionar o início da Física Nuclear com o contexto histórico auxiliou na contextualização do conteúdo para os alunos, incentivando uma participação ativa na aula e contribuindo para o desempenho muito satisfatório na tarefa avaliativa.

4. 2. 1. 3 Tarefa Avaliativa – Energia Nuclear

A tarefa avaliativa sobre energia nuclear foi realizada na quarta aula na etapa 2. O desempenho da turma foi regular, conforme mostra o gráfico 9. A tarefa, cuja pontuação total era de 10 pontos, era composta de 4 questões, foi resolvida por 10 alunos e a média atingida pela turma foi de 6. Cada questão tinha o valor de 2,5 pontos.

Gráfico 9 – Resultados das questões da tarefa avaliativa sobre energia nuclear



Fonte: Elaborado pelo autor.

Questão 1

Marque a alternativa **INCORRETA** sobre o uso da Física Nuclear para fins pacíficos:

() É utilizada na agricultura para aumentar o tempo de conservação de alimentos.

() É utilizada na geração de energia elétrica, nas usinas nucleares.

(X) Usada na produção de armas nucleares.

() No tratamento de câncer são utilizadas técnicas e aparelhos desenvolvidos com os conhecimentos de Física Nuclear.

A questão 1 tratava dos usos pacíficos da Física Nuclear e o desempenho da turma foi satisfatório nessa questão. Foram 7 acertos e 3 erros, os erros foram distribuídos um em cada alternativa errada. Os três principais usos pacíficos estavam listados no material de aula, o que facilitava responder essa questão.

Questão 2

Marque verdadeiro (V) ou falso (F) nas afirmações abaixo sobre as reações nucleares (fissão e fusão nuclear):

() Na principal reação de fissão nuclear, o urânio é dividido em três outros elementos químicos.

() Na fusão nuclear os isótopos de hidrogênio se fundem para formar um átomo de hélio.

() A reação de fusão nuclear libera bem mais energia por quilograma do que uma reação de fissão nuclear.

() Na reação de fissão nuclear, o urânio fissionado é o urânio 238.

Assinale a alternativa com a sequência correta

() V, V, F, F

(X) F, V, V, F

() F, F, F, V

() F, V, V, V

Na questão 2 foi tratado sobre as reações nucleares, mais focado nos conceitos e processos da fissão e fusão nuclear. O desempenho nessa questão foi satisfatório, com 7 acertos. Demonstrando que foi bem compreendido o conteúdo. Os três erros foram distribuídos em duas alternativas, um aluno marcou "F, F, F, V" e dois marcaram "F, V, V, V".

Questão 3

Marque a alternativa CORRETA sobre o Reator Termonuclear Experimental Internacional (ITER):

() Os países que iniciaram o projeto, em 1992, foram: EUA, Índia, Brasil, Japão e Austrália.

(X) Maior empreendimento na busca de energia por meio da fusão nuclear.

() O objetivo é construir um reator de fissão nuclear mais eficiente.

() As instalações ficam no EUA e tem orçamento de 20 bilhões.

A questão 3 tratava sobre o projeto do Reator Termonuclear Experimental Internacional (ITER) e o desempenho dos alunos foi bom, com 6 acertos. Dos 4 erros, 3 alunos marcaram a alternativa “O objetivo é construir um reator de fissão nuclear mais eficiente” e 1 aluno marcou a alternativa “As instalações ficam no EUA e tem orçamento de 20 bilhões”. Por relato dos alunos na aula, esse assunto apresentou um maior grau de dificuldade, já demonstrado na leitura prévia do texto sobre fusão nuclear.

Questão 4

A fusão nuclear ainda não foi obtida de forma eficiente e autossuficiente.

Marque verdadeiro (V) ou falso (F) nas afirmações abaixo:

() Tokamak é o protótipo ideal para o uso pacífico da fusão nuclear na geração de energia.

() Há dois processos principais, em laboratório, para obter fusão nuclear: confinamento inercial e confinamento eletromagnético.

() O confinamento inercial é obtido por meio de feixes de LASER superpotentes.

() Para se obter a fusão nuclear é preciso temperatura mais alta que no núcleo do Sol, em torno de 50 milhões de graus Celsius.

Assinale a alternativa com a sequência correta:

() V, V, V, V

() F, F, F, V

(X) V, F, V, V

() V, F, F, V

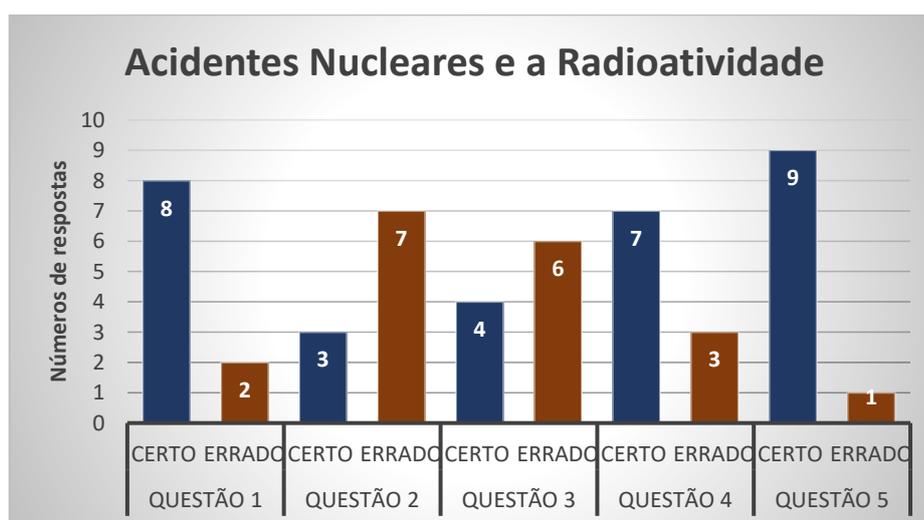
Na questão 4, foi tratado sobre a fusão nuclear em laboratório e produção de energia por esse meio. Nessa questão, o desempenho da turma foi baixo, com 4 acertos. Os 6 erros foram distribuídos nas três alternativas erradas, 2 alunos marcaram “V, V, V, V”, um aluno marcou “F, F, F, V” e três marcaram “V, F, F, V”. O

baixo desempenho pode estar relacionado ao fato de que os alunos não possuíam conhecimentos prévios sobre o assunto e relataram bastante dificuldade na compreensão do texto relacionado a esse conteúdo.

4. 2. 1. 4 Tarefa Avaliativa – Acidentes Nucleares e a Radioatividade

A tarefa avaliativa sobre os acidentes nucleares e a radioatividade foi realizada na sexta aula na etapa 2. O desempenho da turma foi regular, conforme mostra o gráfico 10. A tarefa, cuja pontuação total era de 10 pontos, era composta de 5 questões, 4 objetivas e uma discursiva, foi resolvida por 10 alunos e a média atingida pela turma foi de 6,2. Cada questão tinha o valor de 2 pontos.

Gráfico 10 – Resultados das questões da tarefa avaliativa sobre os acidentes nucleares e a radioatividade



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Questão 1

O acidente radioativo em Goiânia é um dos maiores acidentes fora das instalações de uma usina nuclear. Assinale a alternativa INCORRETA:

- () O acidente ocorreu com um aparelho de radioterapia.*
- () O elemento radioativo era o cézio 137, um pó brilhante que chamou a atenção das pessoas.*
- (X) A limpeza da área do acidente teve poucos rejeitos radioativos.*
- () O acidente ocorreu em 13 de setembro de 1987 mas, só 15 dias após, a comissão de Energia Nuclear tomou conhecimento do tamanho do acidente.*

A primeira questão tratou sobre o acidente radioativo em Goiânia. O desempenho da turma foi muito satisfatório, com 8 acertos. Os dois alunos que erraram marcaram a alternativa “O acidente ocorreu com um aparelho de radioterapia”.

Questão 2

Sobre a radioatividade, marque verdadeiro (V) ou falso (F) nas afirmações abaixo:

() A radioatividade é uma propriedade dos núcleos atômicos estáveis de emitirem espontaneamente radiação.

() A radiação podem ser partículas e/ou radiação eletromagnética.

() Antoine Henri Becquerel descobriu a radioatividade e Pierre Curie e Marie Curie desenvolveram estudos sobre a origem da radioatividade.

() Essas reações espontâneas são chamadas de desintegração radioativas, decaimento radioativo ou transmutação.

Assinale a alternativa com a sequência correta:

() F, F, F, V

() V, V, V, V

() V, F, F, V

(X) F, V, V, V

A questão 2 abordou a radioatividade e sua descoberta. O desempenho da turma foi muito baixo nessa questão, somente 3 alunos acertaram. Um aluno marcou a alternativa “F, F, F, V”, 2 alunos marcaram a alternativa “V, V, V, V”, e 4 alunos marcaram a alternativa “V, F, F, V”, totalizando 7 erros. Nessa questão, o baixo desempenho foi inesperado, pois nos questionários sobre os textos que abordavam esse assunto, os alunos tiveram um desempenho muito satisfatório.

Questão 3

Relacione as duas colunas

1ª Coluna

α - Decaimento alfa

β - Decaimento beta

γ - Decaimento gama

2ª Coluna

() Poder pequeno de penetração e grande de ionização

() Ocorre em núcleos com estados de alta energia.

- () Poder muito alto de penetração e baixo de ionização.
- () Ocorre em núcleos com excesso ou falta de nêutrons.
- () Ocorre no núcleo de elementos pesados.

Assinale a alternativa com a sequência correta da segunda coluna:

- () α , α , β , γ , β
- () β , γ , γ , α , α
- () γ , α , β , α , α
- (X) α , γ , γ , β , α

A terceira questão abordou os 3 tipos de decaimento radioativo/radiação. Nessa questão o desempenho da turma novamente foi baixo, somente 4 alunos acertaram. Dos alunos que erraram, 2 marcaram a alternativa “ α , α , β , γ , β ” e 4 marcaram a alternativa “ γ , α , β , α , α ”. Os alunos demonstraram bastante dificuldade em diferenciar os 3 tipos de radiação e suas características.

Questão 4

O decaimento beta pode ocorrer de três formas: Decaimento beta- menos, beta-mais e captura eletrônica. Marque a alternativa CORRETA abaixo:

- () Na captura eletrônica, um próton do núcleo pode capturar um elétron distantes do núcleo.
- (X) No decaimento beta-menos, um nêutron se transforma em um próton e emite um elétron e um antinêutrino.
- () No decaimento beta-mais, um próton se transforma em um pósitron e um neutrino.
- () O resultado da captura eletrônica é a substituição de um próton por um nêutron e um elétron

Na quarta questão foram abordadas as 3 formas de decaimento beta: Decaimento beta- menos, beta-mais e captura eletrônica. O desempenho da turma foi satisfatório nessa questão, 7 alunos acertaram. Os 3 alunos que erraram escolheram, respectivamente, uma das alternativas erradas.

Questão 5

Após o estudo que tivemos sobre a energia nuclear, você considera que se deve continuar utilizando-a ou não? Justifique sua resposta.

A questão 5 era discursiva, pedindo que os alunos defendessem ou não a utilização de energia nuclear, com base nos slides da aula, textos e vídeos utilizados.

5 alunos defenderam a utilização da energia nuclear, mas ressaltaram os perigos dessa fonte de energia. Abaixo algumas das respostas dos alunos:

Aluno 1: *“Sim, pois a energia nuclear apresenta vários aspectos positivos, sendo de fundamental importância em países que não possuem recursos naturais para a obtenção de energia. As usinas nucleares possibilitam maior independência energética para os países importadores de petróleo e gás. Não contribui para o efeito estufa.”*

Aluno 2: *“sim, pois ela é eficiente e pouco poluente, apesar dos acidentes já acontecidos, é seguro apostar na energia nuclear”.*

Aluno 3: *“Sim, pois a poluição atmosférica é muito menor do que em usinas onde a energia elétrica é produzida a partir de combustíveis fósseis (derivados do petróleo).”*

Respostas contrárias à utilização da energia nuclear foram descritas por 4 alunos. O principal argumento contrário estava relacionado ao grande risco de contaminação radioativa e aos acidentes nucleares. Foi ressaltado que deve-se buscar outras fontes de energia, especialmente renováveis. Abaixo algumas das respostas dos alunos:

Aluno 4: *“De acordo com o meu ponto de vista, a energia nuclear não é a melhor opção. Obviamente, ela possui suas vantagens, visto que não libera gases estufa responsáveis pelo aquecimento global, e tem grande disponibilidade do combustível. Porém, os riscos e desvantagens são devastadores, já que primeiramente a energia nuclear é mais cara, e o lixo nuclear radioativo deve ser armazenado em locais seguros e isolados, sem contar com o enorme risco de acidentes nucleares, como o ocorrido em Chernobyl. Então, já que existem outros recursos, não é viável continuar prolongando esses riscos, mas sim pensar, criar e aperfeiçoar energias renováveis e seguras.”*

Aluno 5: *“Não devemos continuar utilizando-a, pois, apesar de esta trazer algumas vantagens, como uma menor quantidade de poluição, ela pode ocasionar sérias catástrofes, como o acidente ocorrido em Chernobyl. Devemos ter em mente que há outros recursos que podem ser utilizados no lugar da energia nuclear que não possuem riscos tão agravantes quanto esta.”*

Aluno 6: *“Eu acredito que não, pois mesmo que ela ajude em diversas áreas ainda é muito perigosa e é possível que em algum momento aconteçam outros acidentes como o de Chernobyl, o qual deixou muitos mortos e sequelados.”*

As respostas tanto contrárias, como favoráveis, foram bem desenvolvidas, com argumentos para defender seu posicionamento. Percebeu-se que a maioria utilizou informações dos textos de divulgação científica utilizados. Um aluno não respondeu essa questão.

De modo geral, nas 4 primeiras questões os alunos tiveram um desempenho regular. O desempenho melhor ocorreu na questão que tratava sobre momentos históricos de grande importância.

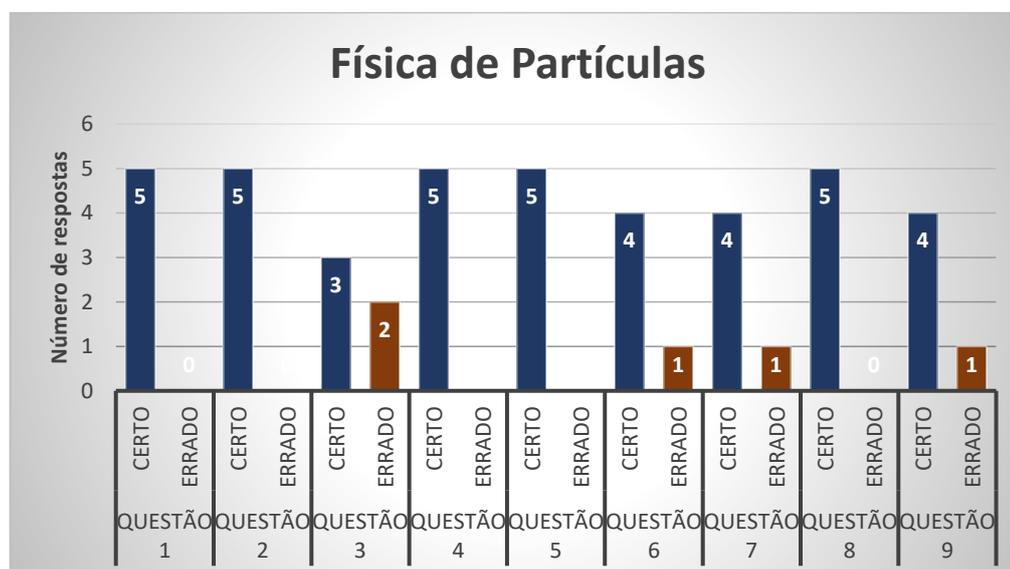
A última questão, que abordava a produção de energia em usinas nucleares, englobava assuntos das aulas 3 e 5 da etapa 2. Esses assuntos sempre despertaram bons questionamentos dos alunos e debates durante as aulas. Nas respostas dos alunos, para a questão 5, são observados muitos pontos que foram debatidos como: riscos de acidentes nucleares; regras de seguranças necessárias; eficiência na produção de energia; baixa produção de gases poluentes.

Silva e Cyrineu (2018) propõem a realização de debates sobre momentos históricos relacionados a descobertas e avanços da Física. Enquanto que na terceira competência, direcionada à área das Ciências da Natureza e suas Tecnologias, a BNCC (BRASIL, 2018) destaca a importância de debater os impactos dos avanços tecnológicos, proporcionados pela ciência, nas relações humanas. Por mais simples que tenham sido os debates durante as aulas, certamente tiveram grande impacto nos alunos.

4. 2. 1. 5 Tarefa Avaliativa – Física de Partículas

A tarefa avaliativa sobre Física de partículas – Modelo Padrão foi realizada na segunda aula na etapa 3 e foi desenvolvida por meio de um jogo no Kahoot!. Os alunos possuíam o tempo de 2 minutos para responder cada questão, por isso, as questões formuladas eram objetivas e bem diretas. O desempenho da turma foi muito satisfatório, conforme mostra o gráfico 11. A tarefa, cuja pontuação total era de 10 pontos, era composta de 9 questões, foi resolvida por 5 alunos e a média atingida pela turma foi de, aproximadamente, 8,9. Cada questão tinha o valor de, aproximadamente, 1,11 pontos.

Gráfico 11 – Resultado das questões da tarefa avaliativa sobre Física de partículas – Modelo Padrão



Fonte: Elaborado pelo autor.

Questão 1

Qual foi a primeira partícula a ser descoberta?

- Pósitron
- Próton
- Elétron
- Quarks

Na primeira questão, todos os alunos conseguiram acertá-la. Demonstrando boa compreensão do assunto e o tempo médio para responder foi de 33,73 s.

Questão 2

Qual é a partícula cuja descoberta teve a participação do físico brasileiro Cesar Lattes?

- Próton
- Méson π
- Bárions
- Mésons

Na questão 2, todos os alunos, novamente, acertaram, demonstrando um bom desempenho no conteúdo. O tempo médio para responder foi de 28,45 s.

Questão 3

Qual é o tipo de partícula elementar que só podem ser encontradas agrupadas?

- Quarks*
- Léptons*
- Mésons*
- Pósitrons*

Na questão 3, 3 alunos acertaram a resposta. Os dois que erraram, um marcou “Léptons” e outro marcou “Mésons”. A característica dos quarks de somente serem encontrados agrupados foi questionada por alunos na aula, relatando que tiveram dificuldade em compreender bem. O tempo médio para responder foi de 30,04 s.

Questão 4

Quais são os dois bárions mais conhecidos?

- Nêutron e Méson*
- Fóton e Pósitron*
- Elétron e Próton*
- Próton e Nêutron*

Na quarta questão, todos os alunos acertaram a resposta. O tempo médio para responder foi de 20,03 s.

Questão 5

Quais são as partículas que combinadas formam os mésons?

- Quark e Antiquark*
- Bárion e Antibárion*
- Próton e Anti-próton*
- Quark e Lépton*

Na questão 5, também todos os alunos acertaram, mostrando que compreenderam bem as possibilidades dos quarks se agruparem. O tempo médio para responder foi de 18,93 s.

Questão 6

No Modelo Padrão, como o elétron pode ser classificado?

- Bóson*
- Bárion*
- Lépton*
- Neutrino*

Na sexta questão, 4 alunos acertaram e o aluno que errou, marcou “Neutrino”. O tempo médio para responder foi de 23,44 s.

Questão 7

Qual é o bóson mediador que ainda não foi descoberto experimentalmente?

- Fóton*
- Bóson W*
- Quark*
- Gráviton*

Na sétima questão, 4 alunos acertaram e um errou, marcando a alternativa “Fóton”. O tempo médio para responder foi de 22,97 s.

Questão 8

Qual partícula, no Modelo Padrão, é responsável pela massa das outras partículas?

- Quark*
- Bóson de Higgs*
- Up*
- Bóson Z*

Nessa questão, todos os alunos acertaram a resposta, demonstrando ótimo entendimento do conteúdo. O tempo médio para responder foi 18,58 s.

Questão 9

Qual é a antipartícula mais conhecida?

- Antipróton*
- Pósitron*
- Antiquark*
- Antiméson*

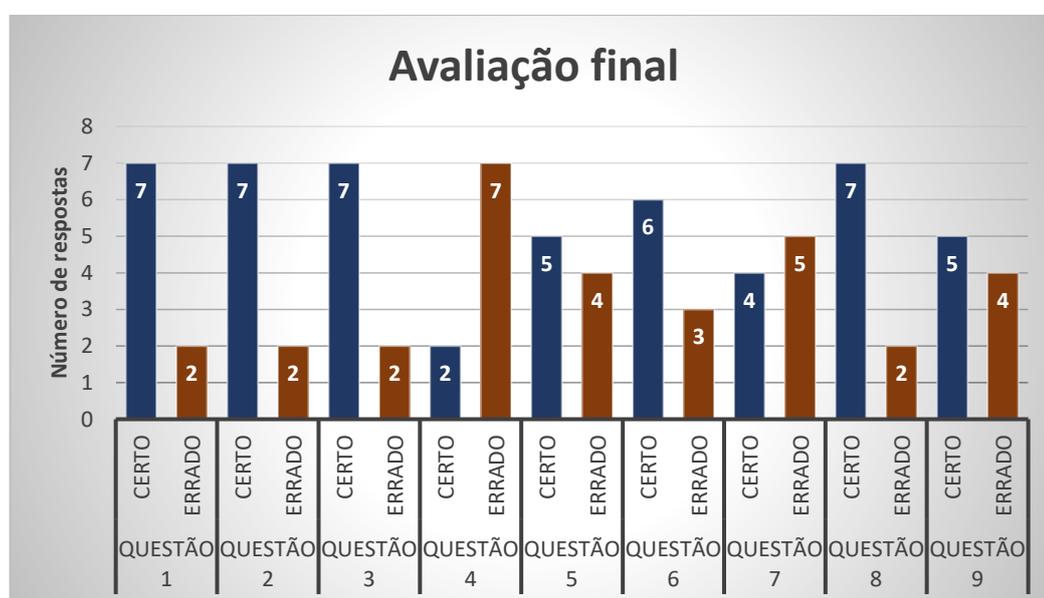
Na última questão, 4 alunos acertaram a resposta, e o que errou marcou a alternativa “Antipróton”. Os conteúdos relativos a essa questão e à anterior foram explicados na mesma aula em que foi realizado o jogo. Isso pode ter influenciado no bom desempenho. O tempo médio para responder foi de 13,33 s.

Os erros nessa tarefa, que foram poucos, provavelmente estão relacionados à falta de atenção durante a realização do jogo. A pressão pelo fato de o jogo ter um tempo máximo para responder as perguntas também pode ter influenciado, sendo relatado por alguns alunos.

4. 2. 2 Avaliação Final

A avaliação final, cuja pontuação total era de 10 pontos, contemplou todo o conteúdo estudado nas aulas da proposta. Foi realizada na segunda aula da etapa 4, último dia de aula da aplicação. A avaliação possuía 9 questões e foi respondida por 9 alunos. O desempenho da turma de modo geral foi regular, apresentando média de 6,33 pontos. Em algumas questões o desempenho foi inferior, conforme mostra o gráfico 12, o que será discutido a seguir. A questão 3 tinha valor de 2 pontos, por ser a única que envolvia o conteúdo inicial da etapa 2 (armas nucleares) e as demais questões tinham valor de 1 ponto, cada.

Gráfico 12 – Resultados das questões da avaliação final



Fonte: Elaborado pelo autor.

Questão 1

Marque verdadeiro (V) e falso (F) nas afirmações, abaixo, sobre o átomo de Bohr:

() Bohr corrigiu a instabilidade do átomo do modelo de Rutherford incorporando o conceito quântico de energia.

() O elétron pode ter valores variados de energia.

() Um elétron, quando permanece em uma órbitas permitida, não ganha nem perde energia, espontaneamente.

() O elétron pode ocupar órbitas circulares com qualquer valor de energia.

Marque a alternativa correta:

V, F, F, V.

V, F, V, F.

F, F, V, V.

F, V, V, V.

A primeira questão abordava um conteúdo da etapa 1, o átomo de Bohr. O desempenho da turma foi muito satisfatório, com 7 acertos, sendo um pouco inferior à questão 4 da tarefa avaliativa sobre os modelos atômicos, que contemplava esse tema. Os 2 alunos que erraram marcaram a alternativa “V, F, F, V”.

Questão 2

Qual das afirmações abaixo, é a CORRETA sobre o átomo de Schrödinger.

Orbitais são regiões (nuvens de probabilidade) em que não encontra-se elétrons.

No átomo de Schrödinger, o estado quântico do elétron é definido por quatro números quânticos.

A função de onda de Schrödinger descrevia perfeitamente todos os átomos dos elementos químicos.

Os números quânticos são: principal (n), secundário (l), magnético (m) e rotacional (s).

Na segunda questão foi abordado o átomo de Schrödinger. O desempenho da turma foi muito satisfatório, sendo superior à questão 6 da tarefa avaliativa sobre os modelos atômicos, que contemplavam esse tema. 7 alunos acertaram a resposta, os 2 que erraram marcaram a alternativa “A função de onda de Schrödinger descrevia perfeitamente todos os átomos dos elementos químicos”.

O conteúdo sobre os modelos atômicos foi muito bem compreendido pela turma, demonstrando isto tanto na tarefa avaliativa semanal (média 7,1 pontos) como na avaliação final (média 7,78 pontos – referente às questões 1 e 2).

Questão 3

Marque verdadeiro (V) ou falso (F) nas afirmações abaixo sobre fissão e fusão nuclear e as bombas atômicas (armas nucleares):

Os estudos e pesquisas sobre a fissão nuclear tiveram grandes avanços durante a Segunda Guerra Mundial.

A bomba de fissão nuclear, Little Boy, utilizava urânio na sua composição.

A bomba de fissão nuclear, Fat Man, utilizava plutônio na sua composição.

A bomba de fissão utilizava uma bomba de dinamite como início para a fissão.

As duas bombas atômicas utilizadas na Segunda Guerra Mundial, foram desenvolvidas e produzidas no projeto Manhattan.

Assinale a alternativa com a sequência correta:

V, F, V, F, F

V, F, F, V, V

V, F, F, F, V

V, V, V, F, V

Nessa questão, foi tratado sobre as bombas nucleares durante a segunda Guerra Mundial e a Física Nuclear nesse mesmo período. O desempenho da turma foi muito satisfatório, com 7 acertos nessa questão. Os 2 alunos que erraram marcaram, um a alternativa “V, F, V, F, F” e o outro a alternativa “V, F, F, F, V”. Em relação a esse conteúdo os alunos também conseguiram uma boa compreensão, obtendo um bom desempenho tanto nessa questão (média 7,78 pontos) como na tarefa avaliativa semanal (média 8,75 pontos).

Questão 4

Marque verdadeiro (V) ou falso (F) nas afirmações abaixo sobre as reações nucleares (fissão e fusão nuclear):

Na principal reação de fissão nuclear, o urânio é dividido em dois outros elementos químicos, nêutrons e energia.

Na fusão nuclear os isótopos de hidrogênio se fundem para formar um átomo de lítio.

A reação de fusão nuclear libera bem menos energia, por quilograma, do uma reação de fissão nuclear.

Na reação de fissão nuclear, o urânio fissionado é o urânio 235.

Na fusão nuclear, o deutério e o trítio se fundem e formam um átomo de hélio, libera um nêutron e energia.

Assinale a alternativa com a sequência correta:

V, F, F, V, V

F, V, V, F, V

F, F, F, V, F

F, V, V, V, V

A quarta questão abordava as duas reações nucleares, fissão e fusão nuclear. O desempenho nessa questão foi muito baixo, somente 2 alunos acertaram. Dos que erraram, 6 alunos marcaram a alternativa “F, F, F, V, F” e um aluno marcou a alternativa “F, V, V, V, V”. A maioria dos alunos classificaram a primeira e a última afirmação de forma errada, as quais tratavam das reações nucleares de fissão e fusão nuclear, mostrando que esse tema apresentou maior complexidade para a compreensão, apesar da boa participação deles em aula.

Questão 5

A fusão nuclear ainda não foi obtida de forma eficiente e autossuficiente e o Reator termonuclear experimental internacional (ITER) é o empreendimento mais promissor. Marque verdadeiro (V) ou falso (F) nas afirmações abaixo:

() Tokamak é o protótipo ideal para o uso militar da fissão nuclear na geração de energia.

() Há dois processos principais, em laboratório, para obter fusão nuclear: confinamento inercial e confinamento magnético.

() Para se obter a fusão nuclear é preciso temperatura mais alta que no núcleo do Sol, entorno de 50 milhões de graus Celsius.

() Comunidade Europeia, Coreia do Sul, China, Estados Unidos, Japão, Rússia iniciaram o projeto do ITER.

Assinale a alternativa com a sequência correta:

() V, V, V, V

(X) F, V, V, V

() V, F, V, V

() V, F, F, V

Na questão 5 foi abordado o projeto do Reator termonuclear experimental internacional (ITER), que busca a produção de energia por meio da fusão nuclear. O desempenho da turma foi regular, com 5 acertos e 4 erros. Dos erros, dois alunos marcaram a alternativa “V, V, V, V”, errando a classificação da primeira afirmativa, e os outros dois erros foram de alunos que marcaram a alternativa “V, F, F, V”, possivelmente por desatenção no momento de estudar e consultar o material de aula.

Em relação aos tópicos sobre a energia nuclear e as reações nucleares, contemplados nas questões 4 e 5, os alunos demonstraram maior dificuldade na avaliação final (média 3,89 pontos), em comparação à tarefa avaliativa semanal (média 6,0 pontos).

Questão 6

Marque a alternativa *INCORRETA* sobre os acidentes nucleares de Chernobyl, Goiânia e Fukushima.

O acidente em Goiânia ocorreu em um reator de pesquisa.

Em Goiânia, o elemento radioativo era o césio 137, um pó brilhante que chamou a atenção das pessoas.

O grande perigo em Fukushima era que os elementos radioativos escapassem do reator.

O acidente em Chernobyl foi o maior acidente nuclear da humanidade, com número real de vítimas desconhecido.

O tsunami decorrente do terremoto foi o principal fator do acidente de Fukushima.

Nessa questão foi tratado sobre os acidentes nucleares. O desempenho da turma foi satisfatório, com 6 acertos na questão. Dos 3 erros, um foi assinalado na alternativa “Em Goiânia, o elemento radioativo era o césio 137, um pó brilhante que chamou a atenção das pessoas” e dois na alternativa “O tsunami decorrente do terremoto foi o principal fator do acidente de Fukushima”. Esse tema foi muito comentado e debatido durante as aulas com os alunos, podendo ter contribuído para o bom desempenho nesta questão (média 6,67 pontos) e um ótimo desempenho questão semanal 1 sobre o tópico (média 8 pontos).

Questão 7

Sobre a radioatividade e os tipos de decaimentos radioativos, marque verdadeiro (V) ou falso (F) nas afirmações abaixo:

A radioatividade é uma propriedade dos núcleos atômicos estáveis de emitirem espontaneamente radiação.

Antoine Henri Becquerel descobriu a radioatividade e Pierre Curie e Marie Curie desenvolveram estudos sobre a origem da radioatividade.

No decaimento beta-menos, um nêutron se transforma em um próton e emite um elétron e um antineutrino.

Decaimento alfa ocorre no núcleo de elementos pesados.

Decaimento gama ocorre em núcleos com excesso ou falta de nêutrons.

Assinale a alternativa com a sequência correta:

F, F, F, V, F

V, V, V, V, V

V, F, F, V, F

F, V, V, V, F

A sétima questão abordava a radioatividade, sua descoberta e os decaimentos radioativos. O desempenho da turma foi baixo, somente 4 alunos acertaram. Dos 5 alunos que erraram, 1 marcou a alternativa “F, F, F, V, F” e 4 marcaram a alternativa “V, V, V, V, V”. A maioria dos alunos que erraram confundiram o decaimento gama com o beta e não souberam caracterizar o núcleo de elementos químicos radioativos. Os alunos tiveram mais dificuldade em compreender o conteúdo sobre radioatividade, o ficou demonstrado tanto pelo desempenho nessa questão (média 4,44 pontos) quanto nas questões 2 a 4 da tarefa avaliativa semanal sobre o tema (média 4,67 pontos).

Questão 8

Marque verdadeiro (V) ou falso (F) nas afirmações abaixo sobre as partículas elementares (férmions e bósons) do Modelo Padrão.

Os bósons são os mediadores das interações fundamentais.

O bóson de Higgs é responsável pela massa das outras partículas.

No Modelo Padrão, as partículas elementares, do tipo bósons, se dividem em quarks e léptons.

Elétron, múon e tau são os léptons sem carga elétrica.

Os quarks não podem ser observados isolados, só unidos, formando os hádrons.

Assinale a alternativa com a sequência correta:

V, F, V, V, V

F, F, V, V, F

V, V, F, F, V

V, F, V, F, F

Na oitava questão, foi abordado o Modelo Padrão. O desempenho da turma foi muito satisfatório, com 7 acertos. Os 2 erros correspondem, respectivamente, um em cada uma das primeiras alternativas. O desempenho foi satisfatório nessa questão assim como nas questões do jogo (tarefa semanal), mostrando que, apesar de ser um conteúdo desconhecido aos alunos, conseguiram compreendê-lo muito bem.

Questão 9

Quais das afirmações abaixo, sobre os aceleradores de partículas são corretas:

I - Os aceleradores de partículas só foram usados nos últimos anos.

II - Com os aceleradores de partículas, ocorreram descobertas de muitas partículas, algumas inéditas e outras que já eram previstas teoricamente.

III - Os primeiros indícios do bóson de Higgs foram identificados no acelerador LHC.

IV - Poucas partículas foram descobertas nos aceleradores de partículas.

Assinale a alternativa correta:

I e II;

I, III e IV;

II e III;

I, II e III.

A última questão abordava a importância dos aceleradores de partículas. O desempenho dos alunos foi regular, com 5 acertos. Os 4 erros foram assinalados nas 3 alternativas restantes. De forma geral, os alunos compreenderam bem o conteúdo sobre Física de partículas – Modelo Padrão.

Na avaliação final, percebeu-se que os conteúdos com maior enfoque na abordagem histórica da evolução e descobertas dos conceitos e modelos físicos, os alunos compreenderam melhor, resultando em um desempenho satisfatório na avaliação sobre modelos atômicos. Os tópicos que foram relacionados com o contexto histórico, armas nucleares e acidentes nucleares, tiveram resultados semelhantes, tanto no desempenho nas avaliações como na participação nas aulas. Desta forma, ressalta-se a importância de abordar os conteúdos sob a perspectiva histórica da Física, que muito autores citados defendem, como: Matthews (1995); Silva e Cyrineu (2018); Chicóira, Camargo e Toppel (2015); Fonseca e Camargo (2015); Moura e Silva (2014).

Quando se trabalha um conteúdo com maior grau de dificuldade, possivelmente de pouco conhecimento prévio dos alunos, Alves (2018) sugere uma abordagem focada, principalmente, nos conceitos básicos e principais, em nível introdutório. O conteúdo da etapa 3, como relatado pelos alunos, era desconhecido em quase sua integralidade. A abordagem conceitual ajudou na melhor compreensão e na aproximação dos alunos em relação ao conteúdo. Assim, mesmo constituindo o contato inicial dos alunos com o conteúdo de Física de partículas, durante as aulas do presente trabalho, o desempenho foi satisfatório.

O entendimento dos alunos não demonstrou-se satisfatório para todos os tópicos, como no caso da fusão nuclear e radioatividade. Alves (2018) destaca um

grande obstáculo na educação, a dificuldade de leitura e interpretação, que se torna um grande entrave na abordagem conceitual, o que também foi constatado no presente trabalho, principalmente em relação aos tópicos acima citados.

4. 2. 3 Autoavaliação dos Alunos e Avaliação da Proposta de Ensino

Nessa seção são apresentadas a autoavaliação e avaliação da proposta de ensino e do professor ministrante por parte dos alunos. De um total de 11 alunos ativos na turma, 8 realizaram esta tarefa. A seguir, são apresentadas as perguntas, as respectivas análises e algumas respostas dos alunos, a título de exemplificação.

1) *Qual(is) conteúdo(s) estudados despertou(aram) mais interesse e motivação em você? Justifique:*

Os conteúdos que os alunos mais citaram foram as armas nucleares e os acidentes nucleares, por serem parte da nossa história. Comentaram que, apesar de conhecerem esses assuntos, se interessaram pela forma que foram tratados e com as relações estabelecidas com a Física. Relataram sobre a importância desses conteúdos para vestibulares, concursos e pelo conhecimento histórico para a vida.

Outros conteúdos citados foram os modelos atômicos, em especial a evolução dos modelos. Também foi citado o Modelo Padrão, toda a busca por compreender a matéria e suas interações. De forma geral, os alunos relatam que se interessaram pelos conteúdos, em especial por não serem ministrados convencionalmente nas aulas.

Aluno 1: *“Todos os conteúdos agregaram de forma significativa, mas despertou-me mais interesse e motivação a questão da Física Nuclear, relacionada principalmente ao uso de armas nucleares em guerras, podendo mencionar os ataques nucleares em Hiroshima e Nagasaki. E também a questão dos acidentes nucleares, como os ocorridos em Chernobyl e Fukushima. Acredito que gostei mais dessa parte do conteúdo, pois ele trabalha com exemplos da nossa realidade, ou melhor da nossa história, e não somente com conceitos didáticos. Outra questão que despertou maior interesse foi relacionado a Física de Partículas, mais em específico ao Modelo Padrão, visto que é interessante saber quais são os critérios adotados para estabelecer essa teoria que busca explicar a natureza da matéria e de suas interações.”*

Aluno 2: *“Os modelos atômicos, pois me interessei bastante na forma que os modelos foram descobertos e como foram inovando com o passar do tempo.”*

Aluno 3: *“Eu tive mais interesse nos conteúdos relacionados a como funciona uma bomba atômica e os desastres que aconteceram com elementos radioativos, acho importante termos conhecimento sobre isso pois poderá ser usado por toda nossa vida, em vestibulares e em concursos e também é conhecimento histórico.”*

A partir das respostas dos alunos percebeu-se, que os conteúdos relacionados ao contexto histórico e à história da Física foram os de maior interesse, gerando bastante motivação nos alunos. A contextualização dos conteúdos é muito indicada tanto nos PCNEM (2000), quanto na BNCC (2018), que recomenda o destaque aos aspectos históricos, sociais, ambientais e culturais.

2) *Você considera que os conteúdos de Física Moderna e Contemporânea deveriam estar mais presentes nos currículos escolares? Por quê?*

Todos os alunos consideraram que os conteúdos de Física Moderna e Contemporânea deveriam estar mais presentes nos currículos. Relataram que os conteúdos foram muito interessantes de estudar, sendo relevantes para a formação dos estudantes, por permitirem conhecer os desenvolvimentos e descobertas mais recentes da ciência, em especial na Física.

A maioria dos alunos citaram a relação desses conhecimentos com o cotidiano e, novamente destacaram a importância de aprenderem esses conteúdos também para os vestibulares.

Aluno 1: *“Sim, pois a Física Moderna é constituída por conteúdos enriquecedores para a formação de um aluno, já que são temas que possuem uma vasta amplitude na sociedade e são muito pertinentes para a formação educacional do aprendiz.”*

Aluno 2: *“A Física Moderna e Contemporânea deveria sim estar mais presente nos currículos escolares, visto que é necessário que nós como alunos tenhamos mais aprendizado no que diz respeito aos estudos de conhecimentos científicos mais atuais. Além disso, seria uma alternativa de tornar as aulas de Física mais atrativas, já que permite o entendimento de fenômenos físicos que estão por trás de aparelhos presentes em nosso dia a dia.”*

Aluno 3: *“Sim, pois acho que é um conteúdo interessante a ser estudado.”*

3) *Dos recursos didáticos utilizados (vídeos, simulações e textos de divulgação científica), qual, em sua opinião, mais contribuiu para a sua aprendizagem? Por quê?*

Todos os recursos foram citados por algum aluno, como sendo de grande importância para sua aprendizagem. Três alunos citaram que os vídeos foram os que mais contribuíram para sua aprendizagem, pois as explicações contidas foram bem esclarecedoras e pertinentes. As simulações foram citadas por dois alunos, por ajudarem na compreensão dos conceitos e complementarem as explicações. Um aluno citou os textos de divulgação científica pois conseguiu compreender melhor os conteúdos através deles. Dois alunos citaram que todos os recursos foram de grande importância para a aprendizagem.

Aluno 1: *“Vídeos, porque na minha opinião ver uma boa explicação rende mais que atividades.”*

Aluno 2: *“Textos de divulgação científica, pois consegui compreender melhor.”*

Aluno 3: *“Dentre os recursos utilizados, o que mais me auxiliou e despertou o meu interesse foram as SIMULAÇÕES, já que com essas é possível entender além dos conceitos estipulados, é possível perceber como determinado fenômeno ocorre de fato.”*

Aluno 4: *“Todos, creio que cada um teve uma função muito importante na caminhada de entender e compreender os conteúdos em geral.”*

A utilização de recursos variados durante as aulas contribui para aproximar o aluno e motivá-lo. Os vídeos foram os mais citados pelos alunos, por facilitarem a compreensão dos conteúdos. Segundo Muchenski e Beilner (2015), os alunos, atualmente, compreendem bem a linguagem digital, o que influencia na preferência deles pelos vídeos.

4) *O que você achou da metodologia das aulas? Justifique:*

Teria alguma sugestão?

De forma geral todos os alunos gostaram da metodologia das aulas, por serem utilizados vários recursos, que auxiliavam na explicação, e as boas interações que ocorriam em aula. Nem todos os alunos deram alguma sugestão. As sugestões que foram colocadas foram muito pertinentes, relacionadas ao uso dos formulários e do jogo.

Aluno 1: *“Achei boa pois teve bastante explicação. Porém acho que poderia ter outros tipos de atividades além de formulários.”*

Aluno 2: *“Simplesmente excelente, visto que utilizava de diversos meios de ensino, procurando sempre diversificar, com o objetivo de descobrir qual a melhor*

maneira para a compreensão dos conteúdos por parte dos alunos. E se tenho alguma sugestão seria continue assim.”

Aluno: “Achei muito bom, como sugestão diria que o jogo apresentado pelo professor poderia ter sido jogado mais vezes.”

5) Durante as aulas, você percebeu um bom empenho e motivação por parte dos colegas e seu? Justifique:

Na opinião dos alunos, o empenho da turma foi satisfatório, com alguns alunos participando mais do que outros. Relataram que todos os alunos participaram das aulas dentro de sua necessidade e condição, pois quando algum aluno tinha dúvida perguntava em aula.

Em relação ao seu próprio empenho, alguns relataram que se empenharam em participar e esclarecer dúvidas nas aulas e outros admitiram que não se empenharam tanto quanto outros colegas. Também o “novo formato do ensino” foi lembrado por alguns alunos, os quais alegaram que, por se tratar de um ensino à distância, ter dificultado a participação dos alunos.

Aluno: “Percebi sim, porém um pouco mais de alguns de meus colegas, pois eles interagem muito mais que eu.”

Aluno 2: “Por parte dos colegas, apesar de grande parte da turma estar presente nas aulas, acredito que talvez poderiam ter interagido mais. E sobre o meu comportamento, dediquei-me ao máximo para o entendimento dos conteúdos, procurando sempre esclarecer qualquer dúvida pertinente. Sem contar que sempre realizei todas as atividades propostas. Sendo assim, acredito que meu empenho foi muito bom.”

Aluno 3: “Achei um empenho razoável, por conta da pandemia e do estudo ser a distancia.”

6) Como você avalia o desempenho do professor durante as aulas? Justifique:

Os alunos destacaram, no desempenho do professor, o interesse em ministrar uma boa aula e a disponibilidade em explicar, quando havia alguma dúvida. Citaram também o uso de vários recursos didáticos durante as aulas. Houve também uma sugestão de corrigir uma repetição que o professor utilizava em aula, o que foi muito válido, mostrando que os alunos estavam atentos.

Aluno 1: “O desempenho foi exemplar, visto que sempre buscava transmitir todo conteúdo possível e esclarecer da melhor forma possível, com diferentes metodologias e sempre muito compreensível com os alunos.”

Aluno 2: *“Como já havia mencionado, foi excelente, já que era notório a sua dedicação e empenho para que os alunos compreendessem os conteúdos estipulados, no qual o professor também procurava sempre auxiliar caso surgissem dúvidas. Dessa forma, só tenho que parabenizar.”*

Aluno 3: *“Achei a maneira de explicar muito boa, porém o professor tem um vício de falar “vamo dizê” e acredito que com um esforço poderia mudar isso.”*

4. 2. 4 Avaliação da Proposta de Ensino pela Professora Titular

Nessa seção é apresentada avaliação da proposta de ensino e do professor ministrante por parte da professora titular. São apresentadas as perguntas e as respostas registradas pela professora.

1) Você já conhecia as abordagens utilizadas (História e Filosofia da Ciência e abordagem conceitual) e os recursos didáticos baseados em materiais de divulgação científica? Já utilizou em suas aulas? Se sim, em quais aspectos ajudaram na melhoria das aulas?

Sim, já conhecia as abordagens utilizadas e os recursos didáticos baseados em materiais de divulgação científica. Acredito que, principalmente no Ensino Médio, é conveniente empregar este tipo de conteúdo visto que em breve os estudantes estarão também ingressando em um Ensino superior. É extremamente relevante que os alunos saibam que nestes “instrumentos” é possível confiar e, além disso, saibam onde encontrá-los.

2) Considera que os conteúdos de Física Moderna e Contemporânea têm importância no ensino e na vida dos alunos e deveriam estar mais presentes nos currículos escolares? Por quê?

Apesar de não ser contemplada na maioria dos planos de estudos, acredito que a Física Moderna e Contemporânea tem sim um potencial e uma grande relevância. Dado que nos deparamos com muitas “aplicações” deste conteúdo em nosso dia-a-dia, creio que seria extremamente significativo se estivesse inserido nas grades de conteúdos ratificando o quanto pode ser utilizada em benefício de todos e, também, o quanto prejudicial pode se apresentar.

3) Em relação à proposta de ensino desenvolvida, como avalia:

a) o empenho e a motivação dos alunos;

Penso que apesar da situação de pandemia que tem nos obrigado a desenvolver o ensino de forma remota, foi possível identificar um grande envolvimento por parte dos estudantes que participaram ativamente das aulas, se comprometendo com a leitura e devolutiva das atividades, participando e questionando durante as web conferências.

b) a aprendizagem dos alunos;

Certamente foi extremamente válido para todos a aprendizagem que foram capazes de construir. Percebe-se que muitos aprimoraram seus conhecimentos acerca do tema.

c) as aulas planejadas pelo professor, incluindo a metodologia (abordagens) e os recursos didáticos;

Particularmente gostei bastante da sistemática adotada pelo professor. Os slides estavam bem convidativos, as simulações foram chamativas e os textos bem informativos. Provavelmente em outra situação (que não a de pandemia), esta metodologia se tornaria ainda mais “eficaz”.

d) o desempenho do professor;

O professor demonstrou em todos os momentos segurança em relação aos temas que estava a explicar. Foi extremamente acessível e disponível aos estudantes, atendendo todos os questionamentos que emergiam durante o desenvolvimento das aulas.

4) Teria alguma consideração/sugestão em relação ao trabalho desenvolvido?

Acredito que poderiam ser contempladas algumas atividades em que o aluno fosse mais protagonista, menos passivo. Talvez algo em torno de trabalhos de pesquisa, seminários de socialização, sala de aula invertida ou outro.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo principal desenvolver uma metodologia de ensino sobre tópicos de Física Moderna e Contemporânea (FMC), sendo aplicável ao ensino médio, em escola pública. Essa principal meta foi atingida com a aplicação da proposta de ensino, detalhada na metodologia, sobre Física Atômica e Nuclear. A aplicação ocorreu na Escola Estadual de Ensino Médio Assunção, no município de Alto Feliz, com a turma do terceiro ano do ensino médio.

Ao longo do desenvolvimento deste trabalho verificou-se que o ensino da FMC é indicado nos principais documentos que regem a educação básica brasileira. Tanto os PCNEM (2000) recomendam, quanto a BNCC (2018) insere a FMC como obrigatória nos currículos de ensino médio. Os dois documentos, orientam que os conteúdos de FMC sejam trabalhados de forma contextualizada e destacam sua importância, por estarem presentes na história recente da humanidade e nos grandes avanços tecnológicos.

As práticas metodológicas identificadas para o ensino de FMC, em nível médio, foram duas: a abordagem sob perspectiva histórica e filosófica da ciência (HFC) e a abordagem conceitual. A abordagem HFC é indicada para o ensino médio por contribuir na contextualização dos tópicos de FMC e trazer uma nova visão da Física, ajudando na aproximação dos alunos em relação ao conteúdo. A abordagem conceitual é indicada aos tópicos de FMC por evitar o formalismo matemático avançado e os recursos didáticos, como vídeos e textos de divulgação científica, contribuem para uma melhor aplicação dessa abordagem.

Durante a aplicação da proposta de ensino sobre Física Atômica e Nuclear, foi possível perceber que os conteúdos trabalhados se mostraram relevantes para os alunos, por serem novos tópicos de uma área diferente das convencionais, a Física Moderna e Contemporânea, despertando-lhes o interesse. Nos relatos dos alunos, foi identificado que eles perceberam a importância desses conteúdos e a sua relação com vários momentos importantes da história e os avanços tecnológicos alcançados pela humanidade, conforme recomendam os PCNEM (2000) e a BNCC (2018). Os alunos também destacaram os estudos desta área para uma formação mais completa e enriquecedora, bem como para a realização de vestibulares e concursos.

As principais dificuldades percebidas em termos de compreensão de conteúdos, por parte dos alunos, foram relacionadas aos tópicos de fissão e fusão

nuclear e à radioatividade. Na fissão nuclear demonstraram dificuldade em compreender o processo da reação nuclear, assim como na fusão nuclear. Além disso, apresentaram limitações na compreensão do processo de “produção” de energia elétrica por meio da fusão nuclear. No tópico da radioatividade, as maiores dificuldades estavam relacionadas às diferenças entre cada tipo de decaimento e suas respectivas radiações.

Os alunos participaram de maneira muito positiva, em muitos momentos da aula, trazendo questionamentos e dúvidas muito relevantes e, de modo geral, apresentaram um desempenho satisfatório tanto nas aulas quanto nas atividades avaliativas. A abordagem HFC auxiliou na boa participação dos alunos, mesmo com o ensino remoto, pois os conteúdos que foram trabalhados mais enfaticamente nessa abordagem (modelos atômicos, armas nucleares e acidentes nucleares), tiveram os melhores desempenhos. Segundo os relatos dos alunos, foram esses os conteúdos que mais os interessaram e os motivaram, além de terem destacado que os recursos didáticos utilizados foram relevantes para despertar o interesse e promover a compreensão dos conteúdos estudados.

A dificuldade de leitura e interpretação de texto foram uma grande limitação da abordagem conceitual utilizada durante a aplicação da proposta. Os alunos apresentaram muita dificuldade de entender os textos mais extensos e complexos, além de apresentarem desempenho inferior nas questões mais elaboradas. O baixo desempenho em alguns tópicos também pode estar relacionado às limitações impostas pelo modelo de ensino remoto e à respectiva sistemática de avaliação escolar, utilizados no período de aplicação das aulas.

Apesar das dificuldades inerentes ao processo de ensino e aprendizagem, a abordagem metodológica aplicada auxiliou na introdução de conteúdos de FMC, particularmente de Física Atômica e Nuclear, sobre os quais os alunos apresentavam poucos conhecimentos prévios, instigando-os a se interessarem pelos tópicos estudados.

REFERÊNCIAS

- ABDALLA, Maria Cristina Batoni. O Discreto Charme das Partículas Elementares. **Física na Escola**, v. 6, n. 1, 2005. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol6/Num1/charme.pdf>. Acesso em: 06 jun. 2020.
- ALVES, Tiago Rafael de Almeida. **A física de aceleradores de partículas, o sol e as auroras – módulos didáticos de Física Moderna E Contemporânea no nível médio da educação básica**. 2018. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) - Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/198213>. Acesso em: 25 mar. 2020.
- ARMAS nucleares. [S. l.: s. n.], 27 set. 2016. 1 vídeo (10min 1s). Publicado pelo canal Nerdologia. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=mgaX6gd1F0E&t=4s>. Acesso em: 23 maio 2020.
- BOMBA atômica e armas nucleares. [S. l.: s. n.], 29 set. 2016. 1 vídeo (9min 30s). Publicado pelo canal Nerdologia. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=J9SAZ314yNg&t=413s>. Acesso em 23 maio 2020.
- BRASIL. Ministério da Educação, Secretaria da Educação Média e Tecnológica. **Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio**. Brasília/DF, 2002. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2020.
- BRASIL. Ministério da Educação, Secretaria da Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio**. Parte III. Brasília/DF, 2000. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/ciencian.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2020.
- BRASIL. Ministério da Educação, Secretaria da Educação Média e Tecnológica. **Base Nacional Comum Curricular: Educação é a Base**. Brasília/DF, 2018. Disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_sit e.pdf. Acesso em: 23 mar. 2020.
- BRENNAN Richard P. **GIGANTES DA FÍSICA**: Uma história da física moderna através de oito biografias. Tradução: Maria Luiza X. de A. Borges. Rio de Janeiro: Zahar, 2012. ISBN: 978-85-378-0599-2. E-book. Disponível em: http://www.pi.unir.br/uploads/76127300/arquivos/Gigantes_Da_Fisica___Uma_Historia_da_f_sica_moderna___Richard_Brennan_505556289.pdf. Acesso em: 12 set. 2020.
- CANATO JÚNIOR, Osvaldo. **Texto e contexto para o ensino de Física Moderna e Contemporânea na escola média**. 2003. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências - modalidade Física) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

Disponível em: https://teses.usp.br/teses/disponiveis/81/81131/tde-20102005-222603/publico/ocj_dissertacao.pdf. Acesso em: 28 mar. 2020.

CHAVES, Taniamara Vizzotto; MACHADO, Rodrigo Batista. Uma proposta para o ensino de Física com textos de divulgação científica. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 16, 2005, Rio de Janeiro. **O ensino no ano mundial da Física**. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Física, 2005. Disponível em: http://www.cienciamao.usp.br/dados/snef/_espacocienciadocolegiosa_1.trabalho.pdf. Acesso em: 29 abr. 2020.

CHERNOBYL e a lava radioativa. [S. l.: s. n.], 2 fev. 2017. 1 vídeo (8min 39s). Publicado pelo canal Nerdologia. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=3K8FpaITAF0>. Acesso em 08 ago.2020.

CHIARELLI, Rogério Avila. **Física Moderna e Contemporânea no ensino médio: É possível abordar conceitos de Mecânica Quântica?**. 2006. Dissertação (Mestrado em Física) Curso de Pós-Graduação em Física, Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/10023>. Acesso em: 13 abr. 2020.

CHICÓRA, Tatiele; CAMARGO, Sérgio; TOPPEL, Andressa. História e filosofia da ciência no ensino de Física Moderna. In: CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO, 12, 2015, Curitiba. **Formação de professores, complexidade e trabalho docente**. Curitiba: PUC-PR, 2015. Disponível em: https://educere.bruc.com.br/arquivo/pdf2015/22481_9958.pdf. Acesso em: 19 ab. 2020.

CIÊNCIA Hoje. In: CIÊNCIA Hoje. Disponível em: <https://cienciahoje.org.br/>. Acesso em: 23 maio 2020.

CORDEIRO, Marinês Domingues; PEDUZZI, Luiz O. Q. As conferências Nobel de Marie e Pierre Curie: a gênese da radioatividade no ensino. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 27, n. 3: p. 473-514, dez. 2010. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2010v27n3p473>. Acesso em: 12 abr. 2020.

COSTA, André Gustavo Cruz da. **Como ensinar Física Moderna no ensino médio: discussões e sugestões**. 2004. Monografia (Licenciatura Plana em Física) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2004. Disponível em: http://www.infis.ufu.br/infis_sys/pdf/ANDRE%20GUSTAVO%20CRUZ%20DA%20CO STA.pdf. Acesso em: 12 mar. 2020.

CUNHA, Wanderson Pereira da; JUNIOR, Ademar Paulo; SILVA, Weimar Castilho da. O uso de vídeos como ferramentas auxiliares no ensino de Física. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E EXTENSÃO, XIII. 2017. **Anais eletrônicos [...]**. Tocantins: Instituto Federal de Tocantins, 2017. Disponível em: <http://propi.ifto.edu.br/ocs/index.php/jice/8jice/paper/viewFile/8490/3812>. Acesso em: 30 maio 2020.

DIONÍSIO, Paulo Henrique. Física Quântica: de sua pré-história à discussão sobre o seu conteúdo essencial. **Cadernos IHU Idéias**, São Leopoldo, ano 2 - nº 22 - 2004.

Disponível em:

<http://www.ihu.unisinos.br/images/stories/cadernos/ideias/022cadernosihuideias.pdf>. Acesso em: 09 maio 2020.

DOMINGUINI, Lucas. Física moderna no Ensino Médio: com a palavra os autores dos livros didáticos do PNLEM. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 34, n. 2, 2502, 2012. Disponível em:

<https://www.scielo.br/pdf/rbef/v34n2/v34n2a13.pdf>. Acesso em: 12 mar. 2020.

FONSECA, Fernanda; CAMARGO, Sérgio. A abordagem histórico-filosófica da ciência no ensino de Física: uma quebra de paradigmas. In: CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO, 12, 2015, Curitiba. **Formação de professores, complexidade e trabalho docente**. Curitiba: PUC-PR, 2015. Disponível em: https://educere.bruc.com.br/arquivo/pdf2015/19490_8880.pdf. Acesso em: 19 abr. 2020.

GONÇALVES, Odair Dias; ALMEIDA, Ivan Pedro Salati de. A energia nuclear e seus usos na sociedade. *In: CIÊNCIA Hoje*. [Rio de Janeiro], 01 out. 2005a. Disponível em: <http://cienciahoje.org.br/artigo/a-energia-nuclear-e-seus-usos-na-sociedade/>. Acesso em: 23 maio 2020.

GONÇALVES, Odair Dias; ALMEIDA, Ivan Pedro Salati de. A energia nuclear e seus usos na sociedade. **Ciência Hoje**, n. 220, out. 2005b.

GRECA, Ileana Maria; HERSCOVITZ, Victoria Elnecave. **Textos de Apoio ao Professor de Física**. Porto Alegre: UFRGS, Instituto de Física, 2002. n.13:

Introdução à Mecânica Quântica notas de curso. Disponível em:

https://www.if.ufrgs.br/public/tapf/n13_2002_greca_herscovitz.pdf. Acesso em: 06 maio 2020.

GUERRA, Andreia; BRAGA, Marco; REIS, José Cláudio. Teoria da relatividade restrita e geral no programa de mecânica do ensino médio: uma possível abordagem. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 29, n. 4, p. 575-583, 2007. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/070304.pdf>. Acesso em: 23 abr. 2020.

GUIMARÃES, Jean Remy Davée. Japão: o impensável aconteceu. *In: CIÊNCIA Hoje*. [Rio de Janeiro], 18 mar. 2011. Disponível em:

<http://cienciahoje.org.br/coluna/japao-o-impensavel-aconteceu/>. Acesso em: 23 maio 2020.

JOSÉ, Wagner Duarte et al. Enem, temas estruturadores e conceitos unificadores no ensino de Física. **Revista Ensaio**, Belo Horizonte, v.16, n. 03, p. 171-188, 2014.

Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1983-21172014000300171&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 28 mar. 2020.

LEMOS, Nivaldo A. $E=mc^2$: Origem e Significado. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, vol. 23, nº. 1, março, 2001. Disponível em:

http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v23_3.pdf. Acesso em: 15 maio 2020.

MATTHEWS, Michael R. História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis v. 12, n.

3: p. 164-214, dez. 1995. Disponível em:
<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/7084>. Acesso em: 25 abr. 2020.

MELLO, A. D.; FIUZA, Luciana; GUERRA, Andreia. O uso de imagens como um caminho capaz de problematizar questões a respeito da natureza da ciência em torno ao tema energia nuclear. In: Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 9, 2013, Águas de Lindóia-SP. **Anais Eletrônicos [...]**. Águas de Lindóia, SP: Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências (ABRAPEC), 2013. Disponível em: <http://www.nutes.ufrj.br/abrapec/ixenpec/atas/resumos/R0250-1.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2020.

MELO, José Fernando de. **Tópicos de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio**: uma abordagem histórica e conceitual dos modelos atômicos. 2014. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2014. Disponível em: <http://tede.bc.uepb.edu.br/jspui/bitstream/tede/2299/2/PDF%20-%20Jos%C3%A9%20Fernando%20de%20Melo.pdf>. Acesso em: 03 maio 2020.

MENDES, Cleber de Freitas. **Natureza dual da matéria: proposta teórica da Física Moderna a ser aplicada ao aluno de ensino médio**. 2009. Monografia (Licenciatura em Física) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2009. Disponível em:
http://www.infis.ufu.br/infis_sys/pdf/CLEBER%20DE%20FREITAS%20MENDES.pdf. Acesso em: 10 maio 2020.

MODELO Padrão. In: WIKIPÉDIA, a enciclopédia livre. Disponível em:
https://pt.wikipedia.org/wiki/Modelo_Padr%C3%A3o. Acesso em: 22 maio 2020.

MORAIS, Angelita; GUERRA, Andreia. História e a filosofia da ciência: caminhos para a inserção de temas física moderna no estudo de energia na primeira série do Ensino Médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 35, n. 1, 1502, 2013. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1806-11172013000100018&script=sci_abstract&lng=pt. Acesso em: 23 abr. 2020.

MOREIRA, M. A. **Textos de Apoio ao Professor de Física**. Porto Alegre: UFRGS, Instituto de Física, 2009. v. 20, n.6: Breve introdução à Física e ao eletromagnetismo.

MOURA, Breno Arsoli; SILVA, Cibelle Celestino. Abordagem multicontextual da história da ciência: uma proposta para o ensino de conteúdos históricos na formação de professores. **Revista Brasileira de História da Ciência**, Rio de Janeiro, v. 7, n. 2, p. 336-348, jul | dez 2014. Disponível em:
https://www.sbh.org.br/arquivo/download?ID_ARQUIVO=1966. Acesso em: 25 abr. 2020.

MUCHENSKI, Fabio; BEILNER, Gregory. O uso de vídeos como recurso pedagógico para o ensino de Física: uma experiência do programa PIBID no Instituto Federal Catarinense – Campus Concórdia. **Revista Cadernos Acadêmicos**, Tubarão. v. 7, n. 1, p. 140-154 jan./jun, 2015. Disponível em:

http://www.portaldeperiodicos.unisul.br/index.php/Cadernos_Academicos/article/view/3083/2181. Acesso em: 30 maio 2020.

NISENBAUM, M. A. **Estrutura Atômica**. Rio de Janeiro: Puc-Rio. 2007. Disponível em:
http://www.quimica.ufpr.br/nunesgg/CQ108/Estrutura%20atomica/SL_estrutura_atomica.pdf. Acesso em: 06 maio 2020.

OLIVEIRA, Adilson de. A rosa de Fukushima. *In: CIÊNCIA Hoje*. [Rio de Janeiro], 15 abr. 2011. Disponível em: <http://cienciahoje.org.br/coluna/a-rosa-de-fukushima/>. Acesso em: 23 maio 2020.

OLIVEIRA, Ótom Anselmo de; FERNANDES, Joana D'arc Gomes. **Arquitetura atômica e molecular**. Natal (RN): EDUFRN – Editora da UFRN, 2006. v. 4: O modelo atômico atual e os números quânticos. Disponível em:
<https://docente.ifrn.edu.br/denilsonmaia/o-modelo-atomico-atual>. Acesso em: 13 jun. 2020.

OS PIORES desastres de energia nuclear do mundo. *In: POWER-Technology*. [S. l.], 2013. Disponível em: <https://www.power-technology.com/features/feature-world-worst-nuclear-power-disasters-chernobyl/>. Acesso em: 15 abr. 2020.

OSTERMANN, Fernanda. RICCI, Trieste S. F. Uma unidade didática conceitual sobre Mecânica Quântica na formação de professores de Física. *In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS*, 4, 2003, Bauru - SP. **Anais eletrônicos [...]**. Bauru - SP: Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências (ABRAPEC), 2003. Disponível em:
<http://www.abrapecnet.org.br/enpec/iv-enpec/Arquivos/Orais/ORAL182.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2020.

OSTERMANN, Fernanda. Um Texto para Professores do Ensino Médio sobre Partículas Elementares. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, vol. 21, no. 3, setembro, p. 415-436, 1999. Disponível em:
http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v21_415.pdf. Acesso em: 13 jun. 2020.

PALANDI, Joecir et al. **Física Nuclear**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2010. Disponível em: <http://coral.ufsm.br/gef/arquivos/fisinuc.pdf>. Acesso em: 12 maio 2020.

PAULO, Iramaia Jorge Cabral de; MOREIRA, Marco Antonio. Abordando conceitos fundamentais da Mecânica Quântica no nível médio. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte v. 4, n. 2, p. 63-73, 2004. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/4082/2646>. Acesso em 29 abr 2020.

PEREIRA, Alexsandro et al. Uma abordagem conceitual e fenomenológica dos postulados da Física Quântica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis v. 29, n. Especial 2: p. 831-863, out. 2012. Disponível em:
<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2012v29nesp2p831/23067>. Acesso em: 03 maio 2020.

PEREZ, José Rafael Boesso; CALUZI, João José. A divulgação científica e as distorções conceituais do invariante massa-energia relativístico. *In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS*, 4, 2003, Bauru-SP. **Anais eletrônicos [...]**. Bauru-SP: Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências (ABRAPEC), 2003. Disponível em: <http://abrapecnet.org.br/enpec/iv-enpec/painel/PNL012.pdf>. Acesso em: 29 abr. 2020.

PIMENTA, Jean Júnio Mendes et al. O bóson de Higgs. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 35, n. 2, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rbef/v35n2/06.pdf>. Acesso em: 22 maio 2020.

PINHEIRO, Lisiane Araújo, COSTA, Sayonara Salvador Cabral da, MOREIRA, Marco Antonio. **Textos de apoio ao professor de física**. Porto Alegre: UFRGS, Instituto de Física, 2011. v. 22, n. 6: Do átomo grego ao Modelo Padrão: os indivisíveis de hoje. Disponível em: https://www.if.ufrgs.br/public/tapf/v22_v6_pinheiro_costa_moreira.pdf. Acesso em: 05 set. 2020.

PORTO, C.M. e PORTO, M.B.D.S.M. Uma visão do espaço na mecânica newtoniana e na teoria da relatividade de Einstein. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 30, n. 1, 1603, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rbef/v30n1/a17v30n1.pdf>. Acesso em: 30 abr 2020.

RIBEIRO FILHO, Aurino. Os quanta e a Física moderna. *In: ROCHA, José Fernando M. (Org.). Origens e evolução das idéias da física*. Salvador: EDUFBA, 2011. p. 347-409. E-book.

ROBILOTTA, M. R. O cinza, o branco e o preto – da relevância da história da ciência no ensino da Física. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, 5 (Número Especial): p. 7-22, jun. 1988. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/10071>. Acesso em: 27 abr. 2020.

ROCHA, José Fernando Moura; MORENO, Roberto Rivelino de M. O átomo quântico. **Ciência Hoje**, 305, vol. 51, p. 58-59, julho 2013. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/280844971_O_atomo_quantico. Acesso em: 10 maio 2020.

SANTOS, Carlos Alberto dos. O vaivém da fusão nuclear. *In: CIÊNCIA Hoje*. [Rio de Janeiro], 29 jun. 2009. Disponível em: <http://cienciahoje.org.br/coluna/o-vaivem-da-fusao-nuclear/>. Acesso em: 23 maio 2020.

SANTOS, Carlos Alberto dos. Para apreciar a festa do LHC. *In: CIÊNCIA Hoje*. [Rio de Janeiro], 26 set. 2008. Disponível em: <http://cienciahoje.org.br/coluna/para-apreciar-a-festa-do-lhc/>. Acesso em: 23 maio 2020.

SILVA, André Coelho da; ALMEIDA, Maria José Pereira Monteiro de. Uma leitura de divulgação científica sobre Física Quântica no Ensino Médio. **Revista do EDICC (Encontro de Divulgação de Ciência e Cultura)**, Campinas, v. 1, out/2012. Disponível em: <http://revistas.iel.unicamp.br/index.php/edicc/article/view/2291>. Acesso em: 29 abr. 2020.

SILVA, André Coelho da; CYRINEU, Ana Amélia. História da ciência no ensino básico de Física: quais tópicos fazem parte dessa história?. **Rev. Int. de Form. de Professores (RIFP)**, Itapetininga, v. 3, n.1, p. 35-44, jan./mar., 2018.

SILVA, João Ricardo Neves da; FUSINATO, Polônia Altoé; LINO, Alex. A importância da abordagem conceitual no ensino de Física Moderna e Contemporânea no ensino médio: experiência em um curso introdutório de Física Quântica. **Revista Ciências&Ideias** Vol. 4, N. 2. jan/dez -2013. Disponível em: <https://revistascientificas.ifrj.edu.br/revista/index.php/reci/article/view/75>. Acesso em: 02 maio 2020.

SILVA, José Alves da; KAWAMURA, Maria Regina Dubeux. A natureza da luz: uma atividade com textos de divulgação científica em sala de aula. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis v. 18, n. 3: p. 316-339, ago. 2001. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6667>. Acesso em: 29 abr. 2020.

SILVEIRA, Fernando Lang da; PEDUZZI, Luiz O. Q. Três episódios de descoberta científica: da caricatura empirista a uma outra história. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis v. 23, n. 1: p. 26-52, abr. 2006. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6289/5822>. Acesso em: 12 set. 2020.

SMIRNOV, Andrei. Propriedades de Núcleos. *In*: SMIRNOV, Andrei (org). **Introdução à Física Nuclear e de Partículas Elementares**. São Cristóvão: Universidade Federal de Sergipe, CESAD, 2012. p. 7-20. Disponível em: https://www.cesadufs.com.br/ORBI/public/uploadCatalogo/14520803082016Introducao_a_Fisica_Nuclear_e_de_Partículas_Elementares_aula01.pdf. Acesso em: 12 maio 2020.

SOUZA, M. A. M. DANTAS, J. D. Fenomenologia nuclear: uma proposta conceitual para o ensino médio. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 27, n. 1: p. 136-158, abr. 2010. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2010v27n1p136>. Acesso em: 12 abr. 2020.

STEINKIRCH, Marina von. O Modelo Padrão. Instituto de Física da USP, São Paulo. (2020?). Disponível em: <http://www.astro.sunysb.edu/steinkirch/reviews/sm07.pdf>. Acesso em: 01 jul. 2020.

TAVARES, Odilon A. P.. Energia nuclear: ontem e hoje. *In*: CIÊNCIA Hoje. [Rio de Janeiro], 17 jan. 2013. Disponível em: <http://cienciahoje.org.br/artigo/energia-nuclear-ontem-e-hoje/>. Acesso em: 23 maio 2020.

TERRAZZAN, Eduardo Adolfo. 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, n. 3: p. 209-214, dez. 1992. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/7392/6785>. Acesso em: 03 maio 2020.

TIPLER, Paul A.; LLEWELLYN, Ralph A. **Física moderna**. Tradução e revisão técnica Ronaldo Sérgio de Biasi. - 6. ed. - Rio de Janeiro: LTC, 2017. E-book.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL (UFRGS). **Manual do candidato do concurso vestibular de 2019**. Porto Alegre, 2018. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/coperse/concurso-vestibular/anteriores/2019/concurso-vestibular-2019/ManualdoCandidatoCV2019pgina.pdf>. Acesso em: 28 mar. 2020.

VAŠČÁK, Vladimír. Física na escola - HTML5 (Física Animações/Simulações). Disponível em: <https://www.vascak.cz/physicsanimations.php?l=pt>. Acesso em: 23 maio 2020.

APÊNDICE A - PLANO DE AULA - MODELOS ATÔMICOS - ETAPA 1**PLANO DE AULA**

DADOS DE IDENTIFICAÇÃO

Nome da instituição: Escola Estadual de Ensino Médio Assunção

Nível: *Ensino Médio*

Componente curricular: *Física*

Carga horária: 2 períodos de 55 minutos cada

Série: 3^a

Data:

Professor(a): Régis Roberto Finimundi

TÍTULO:

Modelos Atômicos

OBJETIVO GERAL:

Compreender o desenvolvimento e a evolução dos modelos atômicos.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Conhecer os conceitos quânticos utilizados no desenvolvimento dos modelos atômicos de Bohr e de Schrödinger;
 - Analisar as principais mudanças nos modelos atômicos;
 - Entender a evolução histórica dos conceitos que influenciaram os principais modelos atômicos.
-

CONTEÚDO PROGRAMÁTICO:

- Modelo atômico de Dalton;
- Modelo atômico de Thomson;
- Modelo atômico de Rutherford;
- Modelo atômico de Bohr;
- Átomo de Schrödinger.

METODOLOGIA, RECURSOS DIDÁTICOS E DESENVOLVIMENTO DO CONTEÚDO:

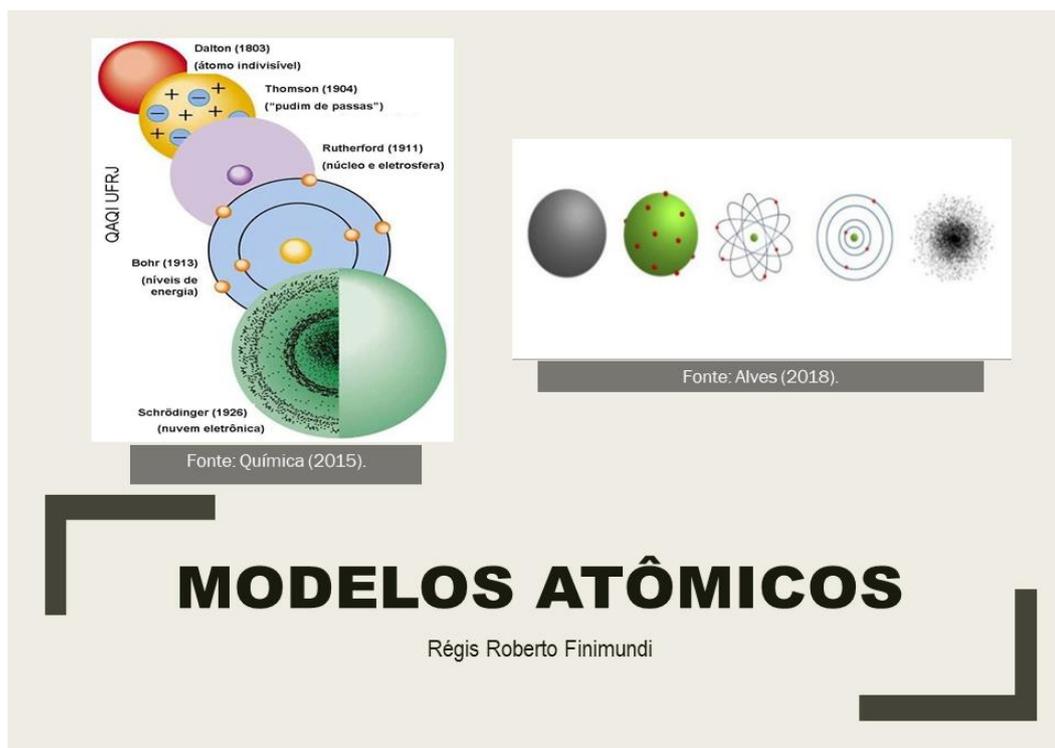
Materiais e recursos utilizados:

- Computador
- Google Meet (GOOGLE, 2017)
- Google Classroom (GOOGLE, 2015)
- Google Forms (GOOGLE, 2020?)
- Site de simulações Física na escola - HTML5 (Física Animações/Simulações) (VAŠČÁK, 2020?)

Os slides, utilizados nas aulas, bem como o link do site de simulações, serão disponibilizados para os alunos no Google Classroom (GOOGLE, 2015), anteriormente às aulas. A primeira aula será síncrona, ministrada por videoconferência, no Google Meet (GOOGLE, 2017). Na segunda aula será assíncrona, pelo Google Classroom, reservada para os alunos revisarem os conteúdos e realizarem a tarefa.

No início da primeira aula será apresentado um breve resumo histórico do modelo atômico da antiguidade e dos primeiros modelos atômicos científicos: de Dalton, Thomson e Rutherford. Como os alunos já estudaram esses modelos atômicos, em séries anteriores, este momento da aula terá o propósito de relembrar as principais características e diferenças entre os modelos, estimulando os alunos a participarem e contribuírem com esta revisão. Para este momento serão utilizados os três slides abaixo, apresentados, respectivamente, nas figuras 1 a 3.

Figura 1 – Modelos Atômicos



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 2 – Primeiro "modelo atômico" e modelo atômico de Dalton

Modelos Atômicos

| Primeiro "modelo atômico" | Modelo atômico de Dalton (bola de bilhar) |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ➤ Proposto por Demócrito de Abdera e Leucipo de Mileto, em 450 a. C.; ➤ Foram os primeiros a chamarem de átomo a menor partícula com massa; ➤ Tratava-se apenas de pensamento filosófico, sem base experimental, mas é muito próximo do modelo atômico de Dalton. | <ul style="list-style-type: none"> ➤ 1803 ➤ Esferas maciças e homogêneas; ➤ Indivisível e indestrutível. |



Fonte: Magalhães (2020).

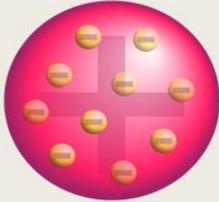
Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 3 – Modelo atômico de Thomson e de Rutherford

Modelos Atômicos

Modelo atômico de Thomson (pudim de passas)

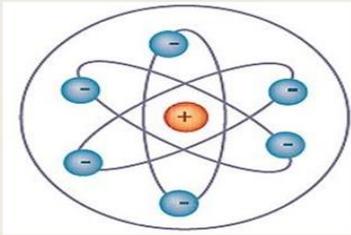
- 1904
- Descoberta do elétron e da radioatividade;
- Átomo é formado por:
- Esfera positiva e não maciça;
- Elétrons incrustados em seu interior.



Fonte: Modelo (2020).

Modelos atômico de Rutherford (modelo planetário)

- 1911
- Núcleo positivo – maior parte da massa;
- Elétrons orbitam o núcleo;
- Muitos espaços vazios.



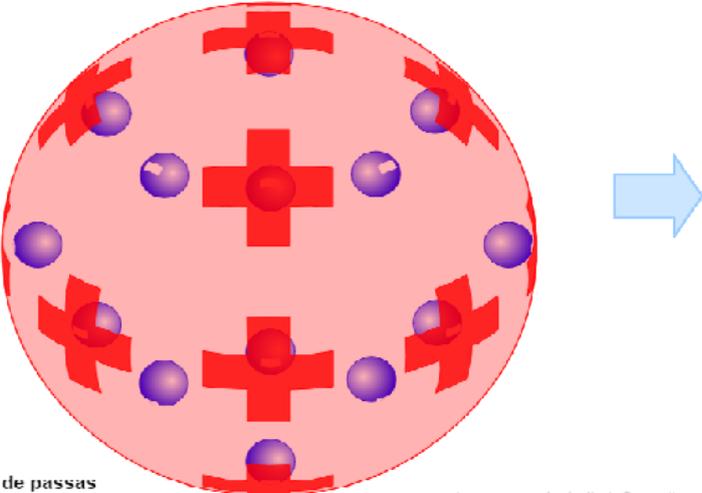
Fonte: Fontanailles (2013).

Fonte: Elaborada pelo autor.

Após a discussão dos slides será mostrado, no site de simulações Física na escola - HTML5 (Física Animações /Simulações) (VAŠČÁK, 2020?), o átomo segundo os modelos de Thomson e de Rutherford e simulações do experimento de Rutherford, conforme demonstram as figuras 4 a 7.

Figura 4 – Simulação do átomo, segundo o modelo de Thomson

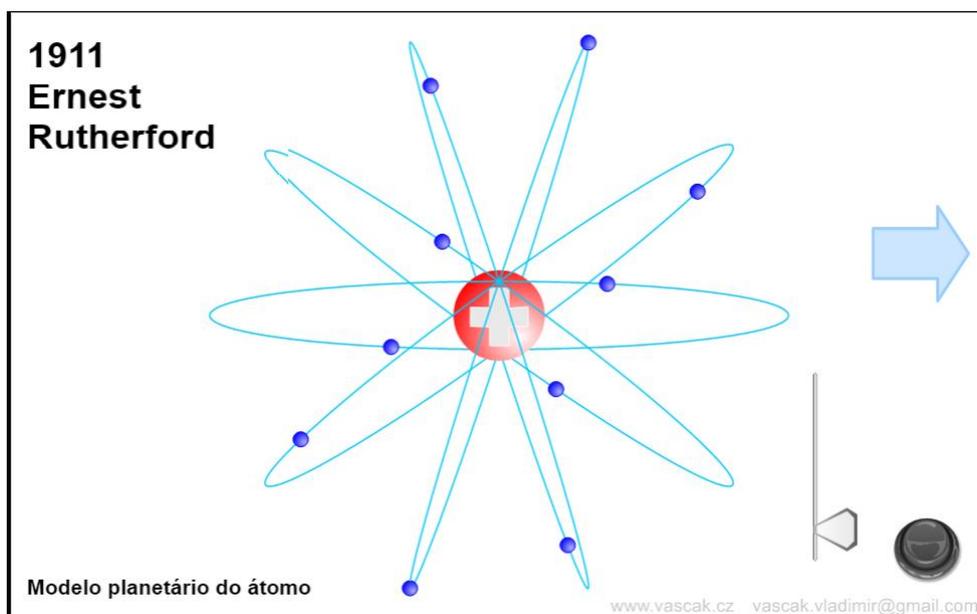
1897
Joseph
John
Thomson



Modelo do pudim de passas www.vascak.cz vascak.vladimir@gmail.com

Fonte: Vaščák (2020?).

Figura 5 – Simulação do átomo, segundo o modelo de Rutherford



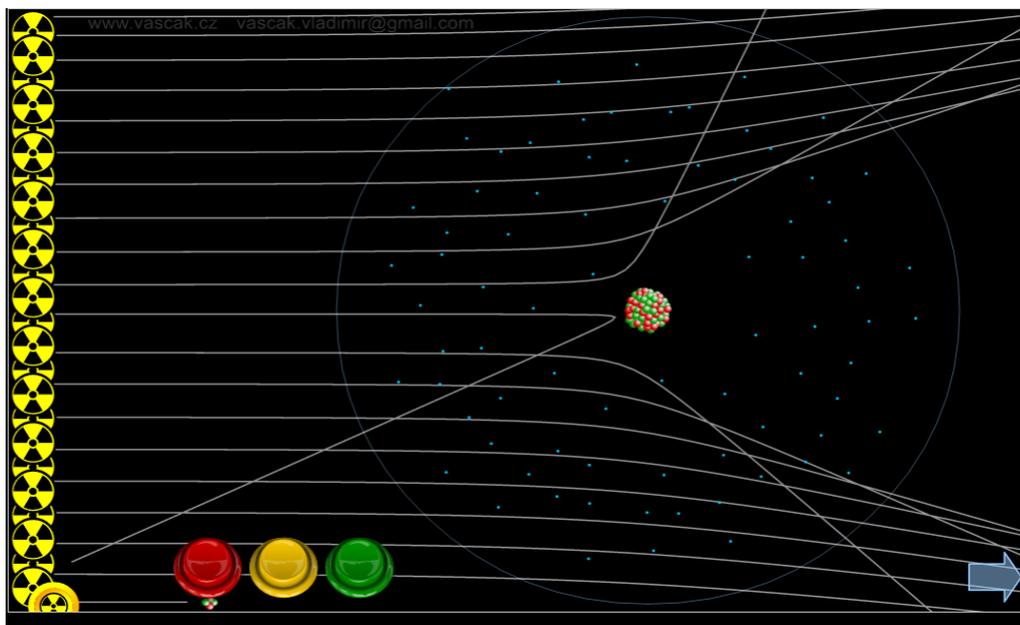
Fonte: Vaščák (2020?).

Figura 6 – Simulação do experimento de Rutherford - 1



Fonte: Vaščák (2020?).

Figura 7 – Simulação do experimento de Rutherford - 2



Fonte: Vaščák (2020?).

Em seguida, será apresentado e discutido o principal problema do modelo de Rutherford, conforme o slide apresentado na Figura 8.

Figura 8 – O problema do Modelo de Rutherford

Fonte: Modelo (2015).

Problema do Modelo de Rutherford

Pela Teoria Eletromagnética clássica:

- Os átomos seriam instáveis, pois os elétrons irradiariam energia e se moveriam em espirais até colidir com o núcleo.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Dando sequência, será analisado o átomo de Bohr. Inicialmente, serão apresentados alguns momentos da vida acadêmica de Niels Bohr, que foram importantes para o desenvolvimento de seu modelo. Após serão apresentados o conceito quântico de energia, a principal mudança do modelo em relação aos anteriores, e as principais características do átomo de Bohr, como mostram as figuras 9 a 12. Além disso, serão demonstradas simulações do átomo de Bohr, pelo site de simulações Física na escola - HTML5 (Física Animações /Simulações) (VAŠČÁK, 2020?), conforme mostram as figuras 13 e 14.

Figura 9 – Átomo de Bohr - 1



Átomo de Bohr

- Em 1911, Niels Bohr foi para a Inglaterra trabalhar no Laboratório de Thomson, mas acabou indo para a universidade em que Rutherford trabalhava (Manchester).
- Bohr corrigiu a instabilidade do átomo no modelo planetário. Apresentando o novo modelo em 1913.
- Incorporou o conceito quântico de energia.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 10 – Átomo de Bohr - 2

Átomo de Bohr

Conceito quântico de energia

- “Energia só pode ser emitida em determinados valores, múltiplos inteiros de um valor mínimo $h \cdot f$ ”

h – constante de Planck; f – frequência.

- Valor mínimo é chamado de *quantum*, onde o plural denomina-se *quanta*.

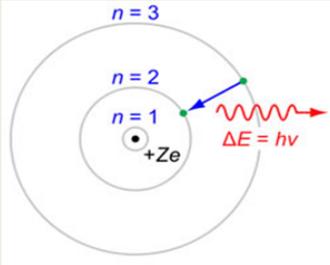


Fonte: Nasce (2020?).

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 11 – Átomo de Bohr - 3

Átomo de Bohr



Fonte: Nogueira (2013).



Fonte: Silva (2020?).

- O elétron ocupa apenas algumas órbitas circulares, com energia constante e definida;
- O elétron só pode ter valores determinados de energia, que correspondem às órbitas permitidas;
- Um elétron, quando permanece em uma dessas órbitas, não ganha nem perde energia, espontaneamente;
- Um elétron pode receber energia somente em pacotes: *quanta*;
- Um elétron, ao receber um *quantum* de energia, salta para uma órbita de maior energia, se perde, passa para uma órbita de menor energia;

Fonte: Elaborada pelo autor.

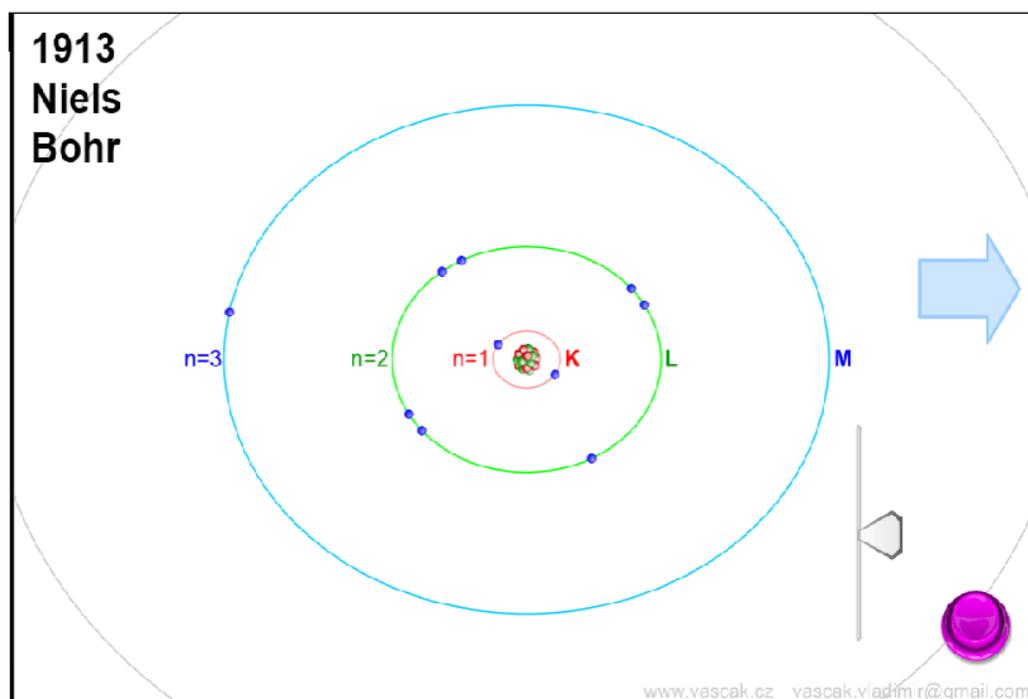
Figura 12 – Átomo de Bohr - 4

Átomo de Bohr

- O modelo de Bohr descrevia de maneira satisfatória o átomo de hidrogênio.
- Para os outros átomos haviam alguns problemas e contradições.
- Bohr determinou o princípio da correspondência, que pode ser definido da seguinte forma:
- “Quando qualquer mudança feita na Física Clássica, para descrever o comportamento em nível microscópico, for estendida ao mundo macroscópico, os resultados devem permanecer de acordo com as leis da Física Clássica.”

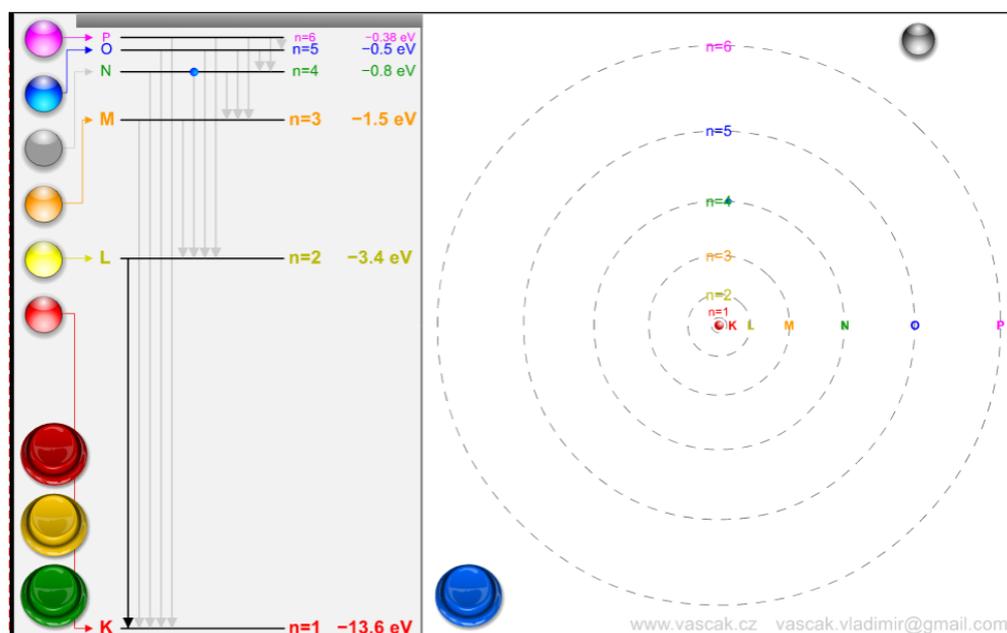
Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 13 – Simulação do átomo, segundo o modelo de Bohr



Fonte: Vaščák (2020?).

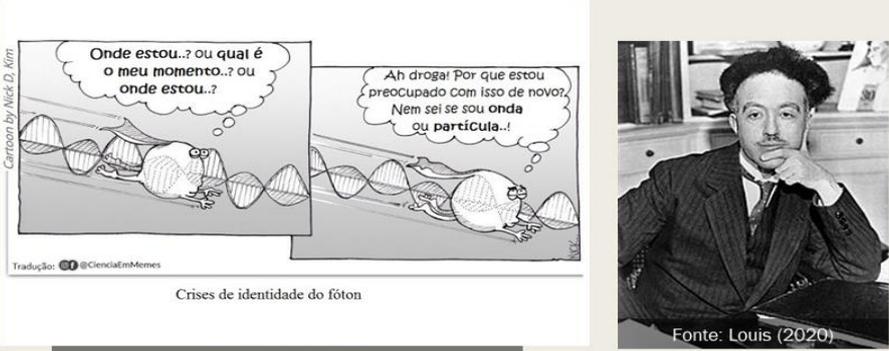
Figura 14 – Simulação do átomo, segundo o modelo de Bohr, com os níveis de energia (órbitas)



Fonte: Vaščák (2020?).

Como etapa final desta aula, serão apresentados os principais conceitos quânticos (dualidade onda-partícula e princípio da incerteza) e o conceito de probabilidade, que foram de grande importância para o desenvolvimento do modelo atômico quântico. Após, será apresentada a história da equação de onda de Schrödinger e sua importância. Por último, serão apresentadas as principais características do átomo de Schrödinger e uma simulação deste átomo, no site de simulações Física na escola - HTML5 (Física Animações /Simulações) (VAŠČÁK, 2020?), conforme mostram as figuras 15 a 25.

Figura 15 – Dualidade onda-partícula



Fonte: Tirinhas (2019)

Além do conceito quântico de energia, foi introduzidos outros conceitos:

- **Dualidade onda-partícula:** A matéria tem comportamento dual, tanto como onda quanto como partícula, como a luz, por exemplo.

Átomo de Schrödinger (Modelo atômico quântico)

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 16 - Princípio da Incerteza e Probabilidade



Fonte: Tirinhas (2019)

- **Princípio da Incerteza:** Não pode medir, simultaneamente, a posição e o momento linear com precisão, de partículas microscópicas.
- **Probabilidade:** A abordagem dos átomos passou a ter caráter probabilístico, as partículas são descritas por uma função de onda.

Átomo de Schrödinger (Modelo atômico quântico)

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 17 – Átomo de Schrödinger - 1

Átomo de Schrödinger (Modelo atômico quântico)

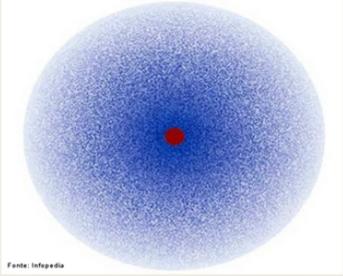
- Erwin Schrödinger iniciou estudos para desenvolver uma equação que envolvesse o comportamento dual da matéria. Ele apresentou uma equação de onda, em que sua solução era denominada função de onda.
- A partir dos estudos de Schrödinger sobre a equação de onda e de outros físicos e matemáticos (como, David Hilbert, Carl Eckart, Wolfgang Pauli) foi possível chegar a uma das mais desenvolvidas formulações matemáticas da Mecânica Quântica.



Fonte: Erwin... (2020)

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 18 – Átomo de Schrödinger - 2



Fonte: Infopedia

Fonte: Nuvem (2020?)

Átomo de Schrödinger (Modelo atômico quântico)

- Com isso, foi possível desenvolver o modelo mais avançado do átomo, o Modelo atômico quântico, conhecido também como Átomo de Schrödinger.
- Essa função de onda, descrevia perfeitamente o átomo de hidrogênio. Para os outros átomos, são necessárias algumas aproximações matemáticas.

Fonte: Elaborada pelo autor.

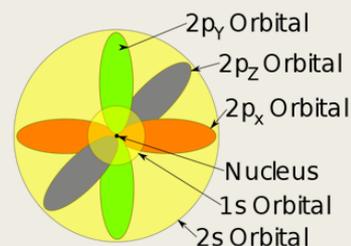
Figura 19 – Átomo de Schrödinger - Orbital - 1

Átomo de Schrödinger (Modelo atômico quântico)

- O conceito de órbitas no átomo de Bohr é substituído pelo conceito de **orbital**, regiões (nuvens de probabilidade) em que pode-se encontrar elétrons.

No átomo tem:

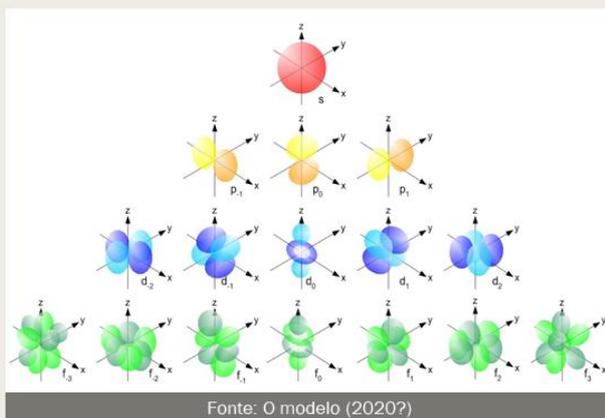
- Regiões permitidas (orbitais) – onde é provável encontrar elétrons.
- Regiões proibidas – onde não é provável encontrar elétrons.



Fonte: Modelo (2020?)

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 20 – Átomo de Schrödinger - Orbital - 2



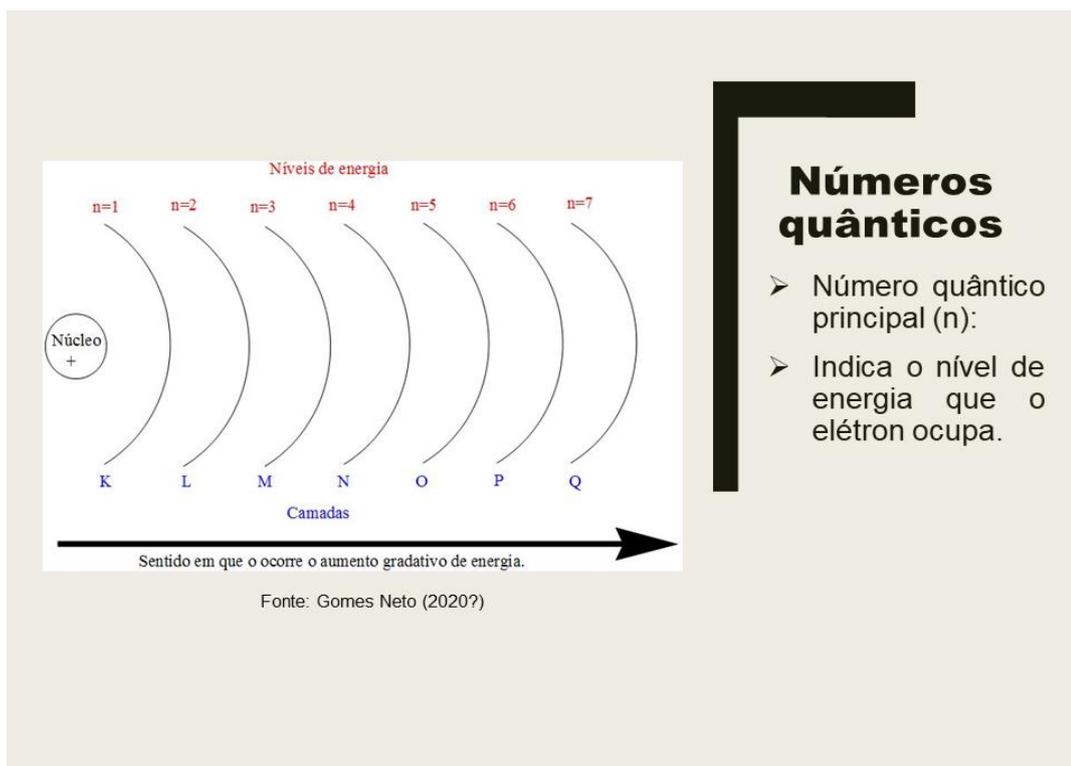
Fonte: O modelo (2020?)

Átomo de Schrödinger (Modelo atômico quântico)

- Os orbitais apresentam diferentes formatos e a ocupação do elétron, no orbital, depende do seu estado quântico.
- O estado quântico do elétron é definido por quatro números quânticos.

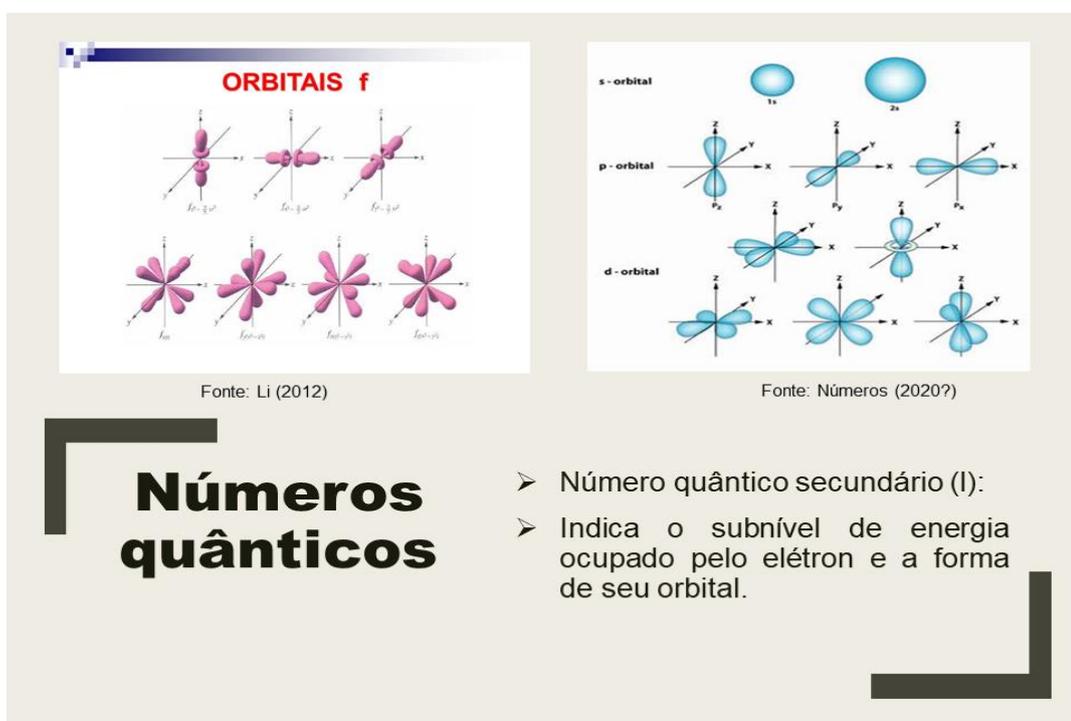
Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 21 – Número quântico principal



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 22 – Número quântico secundário



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 23 – Número quântico magnético

Subnível p
Possui três orbitais

Representação gráfica:

| | | |
|----|---|----|
| -1 | 0 | +1 |
|----|---|----|

Os valores para m podem ser -1, 0 ou +1.

Fonte: Fogaça (2020?b)

Subnível d
Possui 5 orbitais

Representação espacial:

| | | | | |
|----|----|---|----|----|
| -2 | -1 | 0 | +1 | +2 |
|----|----|---|----|----|

Valores possíveis para m = -2, -1, 0, +1 e +2

Subnível f
Possui 7 orbitais

Representação espacial:

| | | | | | | |
|----|----|----|---|----|----|----|
| -3 | -2 | -1 | 0 | +1 | +2 | +3 |
|----|----|----|---|----|----|----|

Valores possíveis para m = -3, -2, -1, 0, +1, +2 e +3

Fonte: Fogaça (2020?b)

Números quânticos

- Número quântico magnético (m):
- Indica em qual orbital do subnível o elétron se encontra;
- Indica a orientação do orbital no espaço.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 24 – Número quântico de spin

Números quânticos

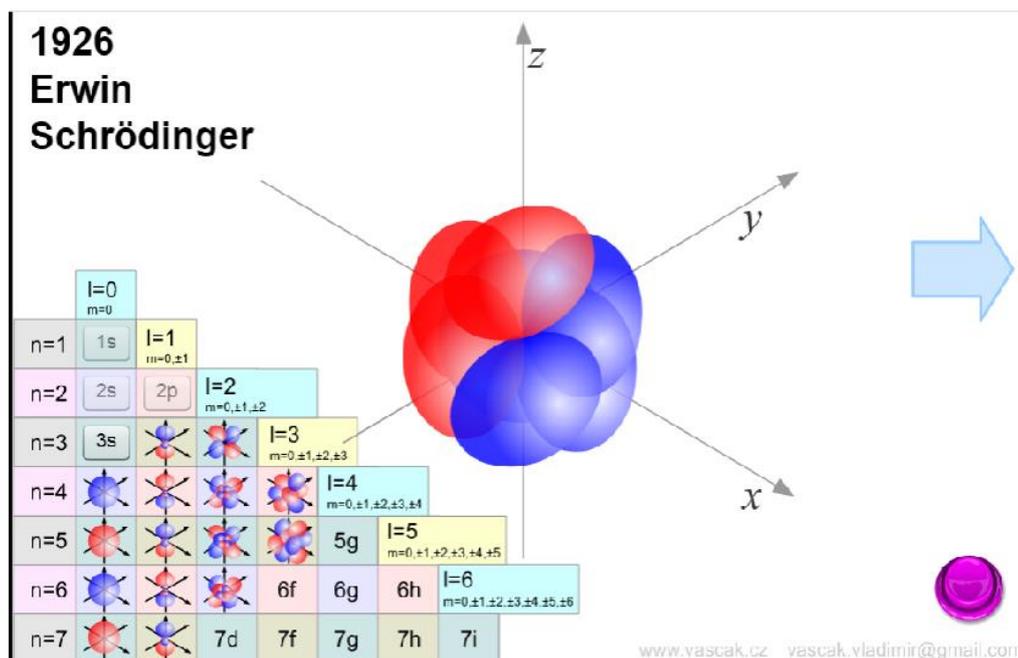
- Número quântico de spin (s):
- Indica o sentido de rotação do elétron.

S = -1/2 S = +1/2

Fonte: Gomes Neto (2020?)

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 25 – Simulação do átomo, segundo o modelo de Schrödinger



Fonte: Vaščák (2020?).

AVALIAÇÃO:

A avaliação da aprendizagem será verificada por meio da observação do comprometimento, atenção, participação na aula e através da realização de uma tarefa que será apresentada aos alunos no segundo período, para ser realizada até o final do mesmo. A tarefa consiste em responder às perguntas abaixo sobre o conteúdo desenvolvido em aula. As perguntas estarão num formulário do Google Forms (GOOGLE, 2020?), cujo o link será postado no Google Classroom (GOOGLE, 2015):

1 - Quais das afirmações abaixo, sobre o modelo atômico de Dalton, são verdadeiras:

I - Átomos são esferas maciças e homogêneas.

II - Os átomos são as menores partículas da matéria (indivisíveis) e indestrutíveis.

III - Os átomos são formados por prótons e elétrons.

IV - Conhecido como modelo de "bola de bilhar".

Assinale a alternativa correta:

() I e II;

() I, III e IV;

- I e III;
- I, II e IV.

2 - Assinale a alternativa correta sobre o modelo de Thomson:

- Os elétrons orbitam o núcleo positivo.
- O átomo é uma esfera maciça, indivisível e indestrutível.
- Átomo é formado por uma esfera positiva e com elétrons incrustados em seu interior.
- Os átomos têm muitos espaços vazios.

3 - Marque a alternativa que corresponde ao principal problema apresentado pelo modelo atômico de Rutherford:

- Os átomos seriam instáveis, pois os elétrons irradiariam energia e se moveriam em espirais até colidir com o núcleo.
- Os átomos seriam instáveis, pois os elétrons se desprenderiam do núcleo.
- Os átomos seriam estáveis e neutros.
- Nenhuma das alternativas.

4 - Marque verdadeiro (V) e falso (F) nas afirmações abaixo, sobre o átomo de Bohr:

- Bohr corrigiu a instabilidade do átomo do modelo de Rutherford incorporando o conceito quântico de energia.
- O elétron só pode ter valores determinados de energia, que correspondem aos orbitais.
- Um elétron, quando permanece em uma órbita permitida, não ganha nem perde energia, espontaneamente.
- O elétron ocupa apenas algumas órbitas circulares, com energia constante e definida.

Marque a alternativa correta:

- V, F, F, V.
- V, F, V, V.
- F, F, V, V.
- F, V, V, V.

5 - "Não se pode medir com precisão, simultaneamente, a posição e o momento linear de partículas microscópicas."

A afirmação acima se refere a qual conceito quântico estudado?

- Probabilidade.

() Conceito quântico de energia.

() Dualidade onda-partícula.

() Princípio da Incerteza.

6 - Marque verdadeiro (V) e falso (F) nas afirmações sobre os números quânticos:

() Número quântico principal indica o nível de energia que o elétron ocupa.

() Número quântico secundário indica o subnível de energia do elétron e a forma de seu orbital.

() Número quântico magnético indica o magnetismo dos elétrons.

() Número quântico de spin indica o sentido de translação do elétron.

Assinale a alternativa correta:

() V, V, F, F.

() V, F, F, F.

() F, V, V, V.

() V, V, V, V.

Gabarito

1) I, II, IV

2) Átomo é formado por uma esfera positiva e com elétrons incrustados em seu interior.

3) Os átomos seriam instáveis, pois os elétrons irradiariam energia e se moveriam em espirais até colidir com o núcleo.

4) V, F, V, V.

5) Princípio da Incerteza

6) V, V, F, F.

BIBLIOGRAFIAS

ALVES, Caio Abreu. Resumo da evolução dos modelos atômicos. *In*: MEDIUM. [S. l.], 2018. Disponível em: <https://medium.com/@caioabreualves/resumo-da-evolu%C3%A7%C3%A3o-dos-modelos-at%C3%B4micos-bdbf537247f1>. Acesso em: 25 jun. 2020.

ERWIN Schrodinger 1887-1961. *In*: ASTRONOO. [S. l.], 2013. Disponível em: <http://www.astronoo.com/pt/biografias/erwin-schrodinger.html>. Acesso em: 25 jun. 2020.

FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. Niels Böhr; *In: BRASIL Escola*. [S. I.], (2020?a) Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/niels-bohr.htm>. Acesso em: 25 jun. 2020.

FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. Os Quatro Números Quânticos. *In: MUNDO educação*. [S. I.], (2020?b). Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/quimica/os-quatro-numeros-quanticos.htm>. Acesso em: 10 jun. 2020.

FONSECA, Martha Reis Marques da. **Química Integral**. 2º grau: volume único. São Paulo: FTD, 1993. ISBN 85-322-0903-3.

FONTANAILLES, Gilvan. O Modelo Atômico de Rutherford. *In: QUÍMICA espetacular*. [S. I.], 2013. Disponível em: <http://espetacularquimica.blogspot.com/2013/02/modelo-atomico-de-rutherford.html?m=1>. Acesso em: 25 jun. 2020.

GOMES NETO, João. Número quântico. *In: INFOESCOLA*. [S. I.], (2020?). Disponível em: <https://www.infoescola.com/quimica/numeros-quanticos/>. Acesso em: 25 jun. 2020.

GOOGLE LLC. Google Classroom. 2015. Disponível em: <https://classroom.google.com/u/0/h>. Acesso em: 17 jul. 2020.

GOOGLE LLC. Google Forms. (2020?). Disponível em: <https://docs.google.com/forms/u/0/>. Acesso em: 04 ago. 2020.

GOOGLE LLC. Google Meet - Reuniões de vídeo seguras. 2017. Disponível em: <https://meet.google.com/> <https://meet.google.com/>. Acesso em: 17 jul. 2020.

LI, Nana. Átomos part 2. *In: QUÍMICA bacana!*. [S. I.], 2012. Disponível em: <http://quimicabakana.blogspot.com/2012/11/atomos-part-2.html>. Acesso em: 25 jun. 2020.

LOUIS de Broglie. *In: WIKIPÉDIA*, a enciclopédia livre. [S. I.], 2020. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Louis_de_Broglie. Acesso em: 25 jun. 2020.

MAGALHÃES, Lana. Modelo Atômico de Dalton. *In: TODA matéria*. [S. I.], 2020. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/modelo-atomico-de-dalton/>. Acesso em: 30 maio 2020.

MODELO atômico de Schrödinger: características, postulados. *In: MAESTROVIRTUALE*. [S. I.], (2020?). Disponível em: <https://maestrovirtuale.com/modelo-atomico-de-schrodinger-caracteristicas-postulados/>. Acesso em: 25 jun. 2020.

MODELO atômico de Thomson. *In: WIKIPÉDIA*, a enciclopédia livre. [S. I.], 2020. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Modelo_at%C3%B4mico_de_Thomson. Acesso em: 25 jun. 2020.

MODELOS atômicos. *In*: QUÍMICA. [S. I.], 2015. Disponível em: <http://quimicasemisterio.blogspot.com/2015/05/modelos-atomicos.html>. Acesso em: 25 jun. 2020.

NASCE o criador da teoria da física quântica Max Planck. *In*: HISTORY. [S. I.], (2020?). Disponível em: <https://br.historyplay.tv/hoje-na-historia/nasce-o-criador-da-teoria-da-fisica-quantica-max-planck>. Acesso em: 25 jun. 2020.

NIELS Bohr. *In*: WIKIPÉDIA, a enciclopédia livre. [S. I.], 2020. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Niels_Bohr. Acesso em: 25 jun. 2020.

NOGUEIRA, Salvador. Átomo de Bohr completa 100 anos. *In*: SOCIEDADE Brasileira de Física. [S. I.], 2013. Disponível em: http://www.sbfisica.org.br/v1/index.php?option=com_content&view=article&id=516:atomo-de-bohr-completa-100-anos&catid=151:destaque-em-fisica&Itemid=315. Acesso em: 25 jun. 2020.

NÚMEROS Quânticos: Principal, Secundário, Magnético e Spin. *In*: SLIDE player. [S. I.], (2020?). Disponível em: <https://slideplayer.com.br/slide/1830934/>. Acesso em: 25 jun. 2020.

NUVEM Eletrônica. *In*: DIA a dia educação. (Curitiba?), (2020?). Disponível em: <http://www.quimica.seed.pr.gov.br/modules/galeria/detalhe.php?foto=2064&evento=1>. Acesso em: 25 jun. 2020.

O MODELO de mecânica quântica do átomo. *In*: KHAN Academy. [S. I.], (2020?). Disponível em: <https://pt.khanacademy.org/science/physics/quantum-physics/quantum-numbers-and-orbitals/a/the-quantum-mechanical-model-of-the-atom>. Acesso em: 25 jun. 2020.

QUÍMICA Analítica Qualitativa Inorgânica UFRJ. **A evolução da concepção dos átomos**. (Rio de Janeiro), 13 abr. 2015. Facebook: @QualitativaInorgUfrj. Disponível em: <https://www.facebook.com/QualitativaInorgUfrj/photos/a-evolu%C3%A7%C3%A3o-da-concep%C3%A7%C3%A3o-dos-%C3%A1tomosquadro-resumoveja-como-evoluiu-a-partir-da-ide/1035780646451007/>. Acesso em: 25 jun. 2020.

SILVA, André Luis Silva da. Explicação em Bohr para o teste da chama. *In*: INFOESCOLA. [S. I.], (2020?). Disponível em: <https://www.infoescola.com/quimica/explicacao-em-bohr-para-o-teste-da-chama/>. Acesso em: 25 jun. 2020.

TIRINHAS para o ensino de Física: Modelos Atômicos. *In*: Arte da Física em Quadrinhos. [S. I.], 2019. Disponível em: <https://artedafisicapibid.blogspot.com/2014/12/colégio-estadual-barão-do-rio-branco-2.html>. Acesso em: 01 jul. 2020.

VÁLIO, Adriana Benetti Marques. **Ser protagonista**: Física, 3º ano: ensino médio. 3. ed. São Paulo: Edições SM, 2016. ISBN 978-85-418-1362-4.

VAŠČÁK, Vladimír. Física na escola - HTML5 (Física Animações/Simulações). (2020?). Disponível em: <https://www.vascak.cz/physicsanimations.php?l=pt>. Acesso em: 23 maio 2020.

WERNER Heisenberg. *In*: WIKIPÉDIA, a enciclopédia livre. [S. l.], 2020. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Werner_Heisenberg. Acesso em: 25 jun. 2020.

YAMAMOTO, Kazuhito. **Física para o ensino médio**, vol.3: Eletricidade e Física Moderna. 4. ed. São Paulo: Saraiva, 2016. ISBN 978-85-472-0578-2.

APÊNDICE B - PLANO DE AULA - FÍSICA NUCLEAR - ETAPA 2

PLANO DE AULA

DADOS DE IDENTIFICAÇÃO

Nome da instituição: Escola Estadual de Ensino Médio Assunção

Nível: *Ensino Médio*

Componente curricular: *Física*

Carga horária: 6 períodos de 55 minutos cada

Série: 3ª

Data:

Professor(a): Régis Roberto Finimundi

TÍTULO:

Física Nuclear

OBJETIVO GERAL:

Compreender a importância do desenvolvimento da Física Nuclear, suas implicações históricas e tecnológicas.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Conhecer as implicações históricas e políticas do desenvolvimento de armas nucleares;
 - Identificar os conceitos de Física Nuclear presentes no desenvolvimento de armas nucleares e na obtenção de energia nuclear;
 - Diferenciar as reações nucleares, fissão e fusão nuclear, e suas aplicações;
 - Analisar as consequências de acidentes nucleares;
 - Diferenciar os principais tipos de decaimentos radioativos.
-

CONTEÚDO PROGRAMÁTICO:

- Armas nucleares - Perspectiva histórica;

- Armas nucleares - conceitos científicos;
 - Reações nucleares - fissão e fusão nuclear;
 - Energia nuclear por fissão nuclear;
 - Busca por fusão nuclear controlada e auto suficiente;
 - Principais acidentes nucleares;
 - Radioatividade;
 - Decaimento radioativo e suas propriedades.
-

METODOLOGIA E RECURSOS DIDÁTICOS:

Materiais e recursos utilizados:

- Computador
- Google Meet (GOOGLE, 2017)
- Google Classroom (GOOGLE, 2015)
- Google Forms (GOOGLE, 2020?)
- Site de simulações Física na escola - HTML5 (Física Animações /Simulações) (VAŠČÁK, 2020?)
- Dois vídeos sobre armas nucleares e um vídeo sobre o acidente nuclear de Chernobyl
- Cinco textos de divulgação científica (em anexo a este plano)

Os slides, utilizados nas aulas, bem como os links dos sites de simulações, dos vídeos e dos textos de divulgação científica, serão disponibilizados para os alunos no Google Classroom (GOOGLE, 2015), anteriormente às aulas.

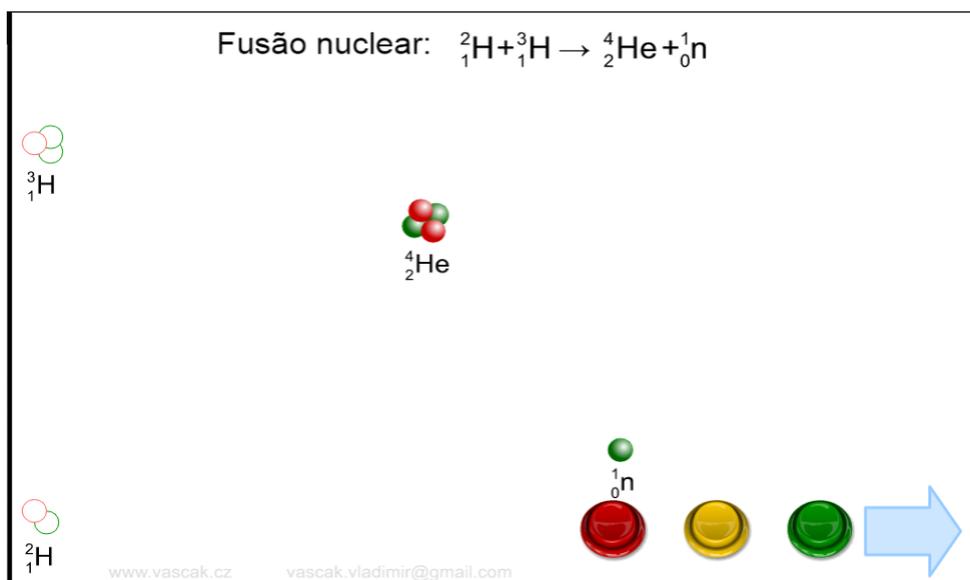
As aulas 1, 3 e 5 serão síncronas, ministradas por videoconferência, no Google Meet (GOOGLE, 2017). Já nas aulas 2, 4 e 6 serão assíncronas, pelo Google Classroom, reservadas para os alunos revisarem os conteúdos e realizarem a tarefa avaliativa de cada aula, conforme está detalhado na Avaliação deste plano de aula. Como tarefa preparatória para as aulas 3 e 4; 5 e 6, os alunos deverão ler os textos recomendados e responder às perguntas, disponíveis no Apêndice A₂ deste plano, sobre os mesmos antes do início da aula. Para isso, serão utilizados formulários do Google Forms (GOOGLE, 2020?), um por texto.

- 1º e 2º períodos

No início da aula será assistido o vídeo sobre armas nucleares, na perspectiva científica (BOMBA, 2016). O vídeo será mostrado durante a vídeo conferência, assim

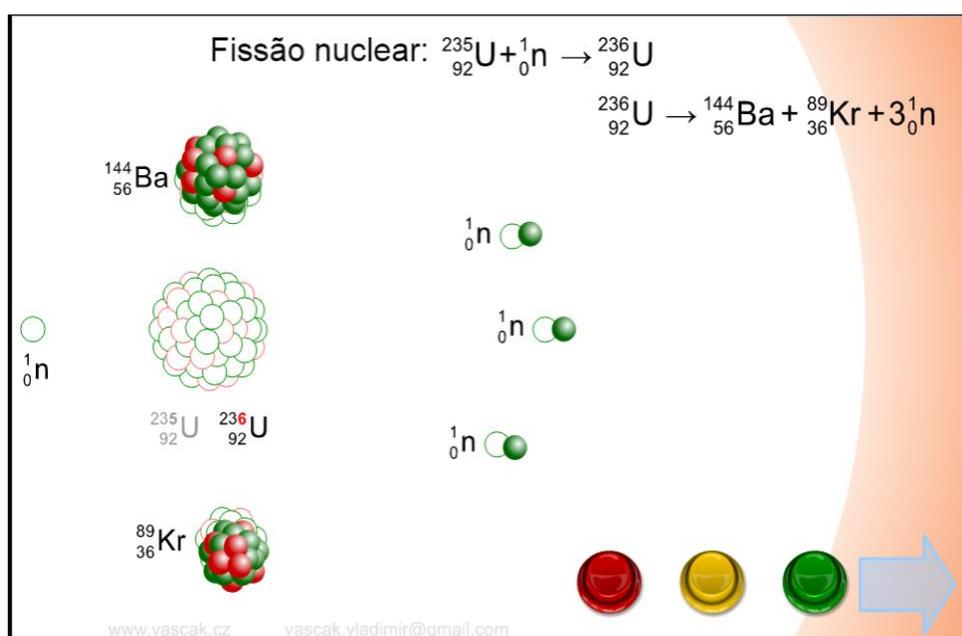
como os subsequentes. Após serão discutidos os conceitos de Física Nuclear envolvidos no desenvolvimento de armas nucleares, visualizando e comentando as simulações das reações nucleares, fissão e fusão nuclear, e da reação em cadeia da fissão nuclear, no site de simulações Física na escola - HTML5 (Física Animações /Simulações) (VAŠČÁK, 2020?), conforme representados nas figuras 1 a 3.

Figura 1 – Simulação de fusão nuclear



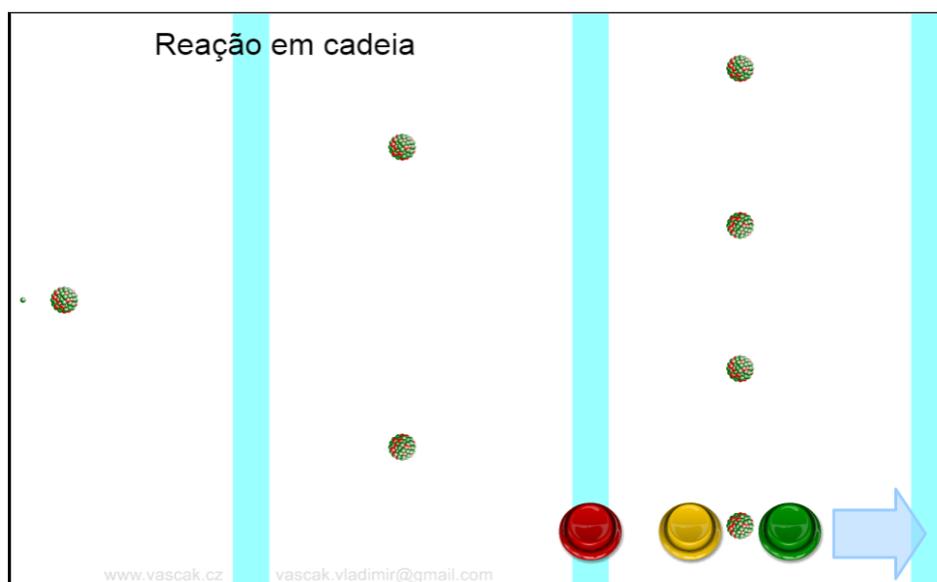
Fonte: Vaščák (2020?).

Figura 2 – Simulação de fissão nuclear



Fonte: Vaščák (2020?).

Figura 3 – Simulação de reação em cadeia da fissão nuclear



Fonte: Vaščák (2020?).

No momento seguinte, será assistido outro vídeo sobre armas nucleares, dessa vez será na perspectiva histórica (ARMAS, 2016). Após, serão discutidos alguns aspectos que foram apresentados no vídeo, como os dois ataques nucleares durante a Segunda Guerra Mundial. Por último, serão debatidos os argumentos em defesa da utilização das bombas atômicas e os contrários. Para auxiliar nestas discussões serão utilizados os slides das figuras 4 a 10.

Figura 4 – Física Nuclear



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 5 – Armas nucleares em guerras



Fonte: Baker (2017)

Fonte: No mundo (2019)

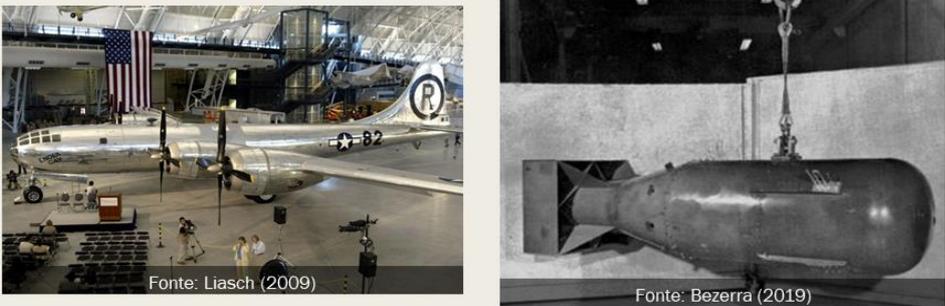
Fonte: Pinheiro (2020?)

Uso de Armas Nucleares em Guerras

- Foram utilizadas duas vezes em guerra – na Segunda Guerra Mundial;
- Contra duas cidades japonesas – Hiroshima e Nagasaki;
- Atualmente é proibido o uso de armas nucleares.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 6 – Ataque nuclear em Hiroshima -1



Fonte: Liasch (2009)

Fonte: Bezerra (2019)

Ataque nuclear – Hiroshima

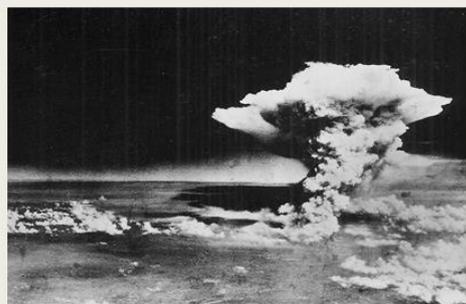
- 06 de agosto de 1945;
- Bomba de fissão nuclear – Urânio – “Little Boy”;
- Lançada pelo bombardeiro B-29 - Enola Gay.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 7 – Ataque nuclear em Hiroshima - 2



Fonte: Por que (2013)



Fonte: Deursen (2017)

Ataque nuclear – Hiroshima

- Explodiu a 570 metros do solo;
- Temperatura no centro da explosão chegou, em torno, de 300 mil graus Celsius;
- Formou uma imensa nuvem de fumaça na forma de cogumelo, com mais de 18 km de altura;
- Estimativas indicam que mais de 140 mil pessoas tenham morrido.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 8 – Ataque nuclear em Nagasaki - 1



Fonte: Bockscar (2018)



Fonte: Fat (2019)

Ataque nuclear – Nagasaki

- 09 de agosto de 1945;
- Bomba de fissão nuclear – Plutônio – “Fat Man”;
- Lançada pelo bombardeiro B-29 – Bockscar.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 9 – Ataque nuclear em Nagasaki - 2




Fonte: Bomba (2018) Fonte: Silva (2020?)

Ataque nuclear – Nagasaki

- Nagasaki, por ser localizada entre montanhas, impediu uma maior destruição;
- Mais de 40 mil pessoas morreram.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 10 – Argumentos em defesa do uso de armas nucleares e contrários

Ataques nucleares

Em defesa

- Invasão da Ilha principal do Japão seria uma missão muito difícil e mortal;
- O governo japonês negou a rendição dias antes. (PINTO, 2020?)



Fonte: A tragédia (2019)

Contrário

- Foi um ato terrorista e desnecessário;
- Matou milhares de civis japoneses, sem envolvimento militar;
- Interesse dos EUA em mostrar seu poder militar à URSS. (DEURSEN, 2017)



Fonte: Faber (2020?)

Fonte: Elaborada pelo autor.

- 3º e 4º períodos

Estas aulas serão iniciadas com a discussão sobre dois textos, lidos previamente pelos alunos, o primeiro é intitulado "A energia nuclear e seus usos na sociedade" (GONÇALVES; ALMEIDA, 2005a) (ANEXO A₂) e o segundo é o "Energia nuclear: ontem e hoje" (TAVARES, 2013) (ANEXO B₂). Os textos tratam da energia produzida por fissão nuclear. Para melhorar o debate serão apresentados slides com imagens e algumas informações sobre o assunto dos textos, apresentados nas figuras 11 a 16.

Figura 11 – Uso da Física Nuclear para fins pacíficos



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 12 – Primeiro reator nuclear



Fonte: Romanzoti (2013)

Fonte: Nova (2018)

Chicago Pile-1 – Primeiro reator nuclear

- O reator entrou em operação em 2 de dezembro de 1942.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 13 – Primeiros reatores para geração de eletricidade

Obninsk (Rússia)



Fonte: Primeira (2020)

Calder Hall (Reino Unido)

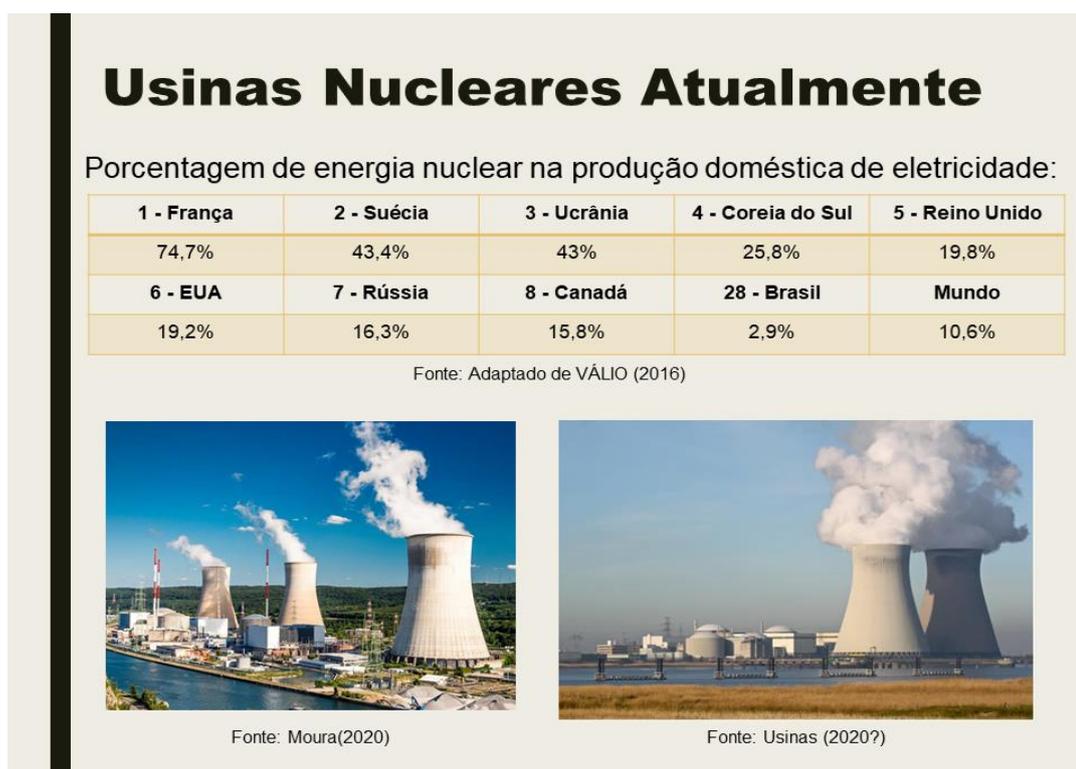


Fonte: A química (2016)

Primeiros reatores para geração de eletricidade

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 14 – Usinas nucleares atuais



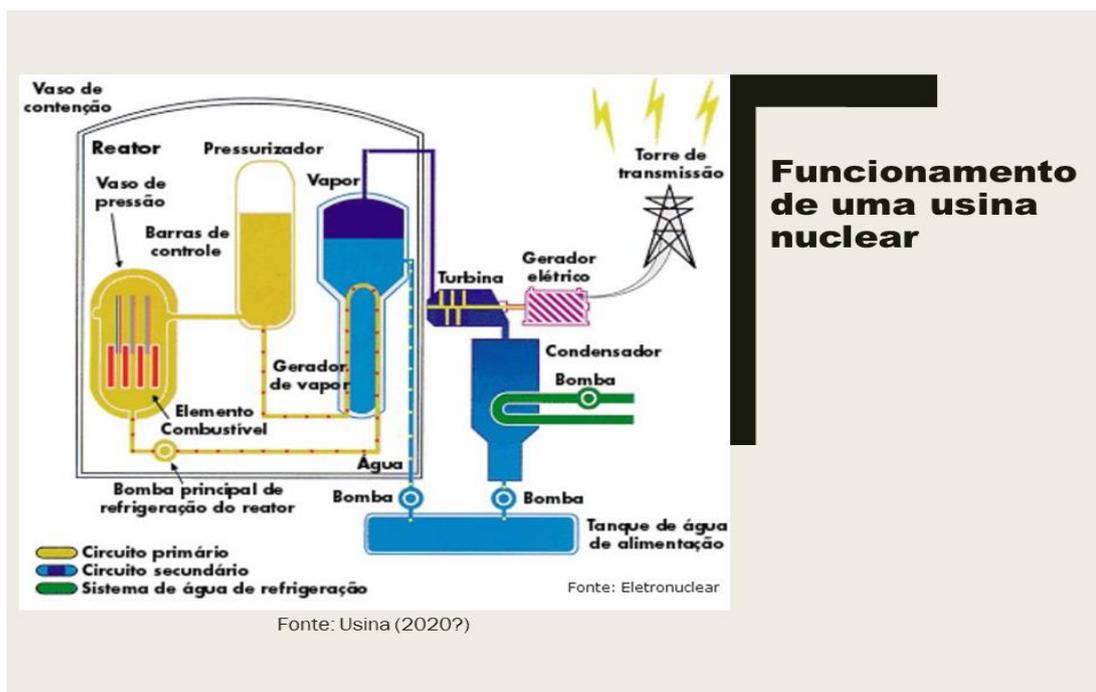
Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 15 – Usina nuclear no Brasil



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 16 – Funcionamento de uma usina nuclear



Fonte: Elaborada pelo autor.

Após será lembrado como ocorrem a fissão e fusão nuclear, com destaque à quantidade de energia liberada em cada reação. Esta diferença será mostrada utilizando como exemplo os slides das figuras 17 e 18.

Figura 17 – Energia liberada em reações nucleares - 1

Reações Nucleares

Fissão Nuclear

$${}_{92}^{235}\text{U} + n \rightarrow {}_{36}^{92}\text{Kr} + {}_{56}^{142}\text{Ba} + 2n + 179,4\text{MeV}$$

O valor da energia liberada é um valor aproximado (das duas reações)

Fonte: Fissão (2020?)

Fusão Nuclear

$${}_{1}^{2}\text{H} + {}_{1}^{3}\text{H} \rightarrow {}_{2}^{4}\text{He} + n + 17,2\text{MeV}$$

Fonte: Novaes (2019)

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 18 – Energia liberada em reações nucleares - 2



Fonte: Enriquecimento (2020)



Fonte: Pedrolo (2020?a)

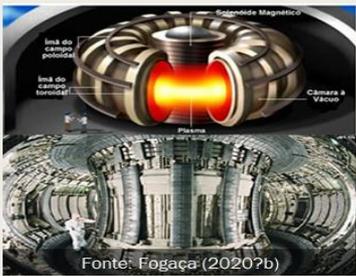
Reações Nucleares

- Massa atômica do Urânio 235: 235u.
- Massa atômica do deutério (hidrogênio 2): 2u.
- Massa atômica do trítio (hidrogênio 3): 3u.
- Em 1 kg de deutério e trítio tem muito mais átomos do que em 1 kg de Urânio.
- A reação de fusão nuclear libera bem mais energia por quilogramas do uma reação de fissão nuclear.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Por último, será debatido o texto, lido previamente pelos alunos, sobre a busca pela energia a partir da fusão nuclear, "O vaivém da fusão nuclear" (SANTOS, 2009) (ANEXO C₂). Para complementar o debate serão utilizados os slides apresentados nas figuras 19 a 21.

Figura 19 – Tokamak

Tokamak

- Foi inventado pelos físicos russos Andrei Sakharov e Igor Tamm para a obtenção de fusão termonuclear;
- Protótipo ideal para o uso pacífico desse processo;
- Foram instalados em todos os países industrializados.

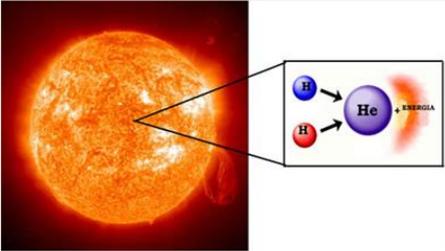
Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 20 – Fusão Nuclear

Fusão Nuclear

Nas Estrelas

- Ocorre no núcleo das estrelas;
- Alta temperatura e pressão.



Fonte: Fogaça (2020?b)

Controlada em laboratório

- Submeter a uma alta temperatura, maior que 50 milhões de graus Celsius;
- Confinamento inercial - obtido por meio de feixes de laser superpotentes;
- Confinamento magnético - sinônimo de tokamak.



Fonte: Pesquisadores (2020?)

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 21 – Reator Termonuclear Experimental Internacional

Reator Termonuclear Experimental Internacional (ITER)

- Comunidade Europeia, Coreia do Sul, China, Estados Unidos, Japão, Rússia iniciaram o projeto, em 1992.
- Maior empreendimento na busca de energia por meio da fusão nuclear.
- Orçamento superior a 20 bilhões de reais para os primeiros 30 anos.
- Objetivo é produzir energia em escala industrial.
- As instalações ficam na França.



Fonte: Conheça (2016)

Fonte: Elaborada pelo autor.

- 5º e 6º períodos

No primeiro momento, serão apresentados brevemente os quatro principais acidentes nucleares, apresentados no slide da figura 22.

Figura 22 – Principais acidentes nucleares



Fonte: Elaborada pelo autor.

Em seguida, será assistido e discutido um vídeo sobre o acidente nuclear de Chernobyl no Youtube, do canal Nerdologia (CHERNOBYL, 207). Para a discussão será utilizado o slide da figura 23.

Figura 23 – Acidente nuclear em Chernobyl



Fonte: Farinaccio (2019)

Fonte: Giron (2019)

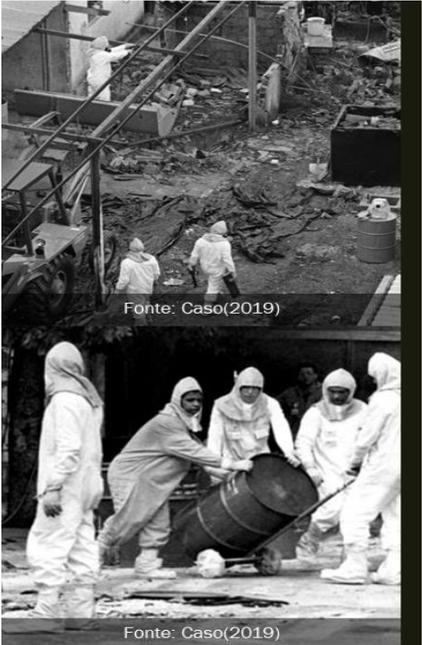
Acidente nuclear em Chernobyl

- 26 de maio de 1986;
- Maior acidente nuclear da humanidade;
- Número real de vítimas é desconhecido;
- A região é desabitada até hoje.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Após serão apresentadas algumas informações sobre o acidente radioativo em Goiânia, um dos maiores fora de uma usina nuclear, as quais constam no slide da figura 24.

Figura 24 – Acidente radioativo em Goiânia



Fonte: Caso(2019)

Fonte: Caso(2019)

Acidente radioativo em Goiânia

- 13 de setembro de 1987;
- Aparelho de radioterapia com césio-137 ativo;
- O césio-137 é um pó brilhante que chamou atenção das pessoas.
- 15 dias após, a Comissão de Energia Nuclear tomou conhecimento do tamanho do acidente;
- 6 mil toneladas de rejeitos radioativos.

Fonte: Elaborada pelo autor.

No momento seguinte, serão debatidos dois textos, lidos previamente pelos alunos, sobre o acidente nuclear mais recente, de grandes proporções, em Fukushima. O primeiro texto é o "Japão: o impensável aconteceu" (GUIMARÃES, 2011) (ANEXO D₂) e o segundo é o "A rosa de Fukushima" (OLIVEIRA, 2011) (ANEXO E₂) e será apresentado um slide com fotos do acidente, apresentado na figura 25.

Figura 25 – Acidente nuclear em Fukushima



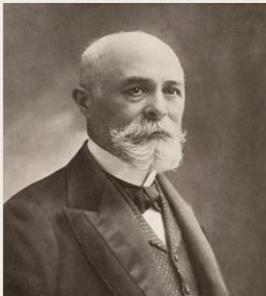
Acidente nuclear em Fukushima

- 11 de março de 2011;
- O tsunami decorrente do terremoto foi o principal fator;
- O grande perigo em Fukushima era que os elementos radioativos escapassem do reator.

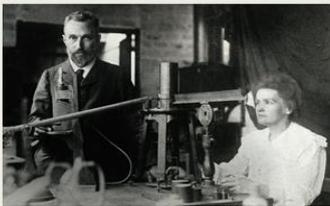
Fonte: Elaborada pelo autor.

Como nos acidentes nucleares, o principal problema é a grande emissão de radiação, por último serão apresentados e discutidos os slides das figuras 26 a 32, sobre a radioatividade de elementos químicos e os principais decaimentos radioativos. Será mostrada uma simulação sobre a capacidade de penetração das três principais radiações, alfa, beta e gama, no site de simulações Física na escola - HTML5 (Física Animações /Simulações) (VAŠČÁK, 2020?), conforme mostra a figura 33.

Figura 26 – Descoberta da radioatividade



Fonte: Antoine (2020)



Fonte: Verissimo (2018)

Descoberta de Radioatividade

- Radioatividade foi descoberta por Antoine Henri Becquerel em 1896 em sais de urânio;
- Na mesma época, Pierre Curie e Marie Curie desenvolveram estudos sobre a origem da radioatividade;
- Os três receberam o prêmio Nobel de Física de 1903.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 27 – Radioatividade



Fonte: Pedrolo (2020?b)



Fonte: Ferreira (2020?)

Radioatividade

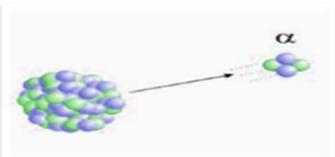
- Propriedade dos núcleos atômicos instáveis de emitirem espontaneamente radiação (partículas e radiações eletromagnéticas).
- Essas reações espontâneas são chamadas de desintegrações radioativas, decaimento radioativo ou transmutações.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 28 – Decaimento alfa

${}_Z^AX \rightarrow {}_2^4\alpha^{2+} + {}_{Z-2}^{A-4}Y$

Exemplo:
 ${}_{92}^{238}\text{U} \rightarrow {}_2^4\alpha^{2+} + {}_{90}^{234}\text{Th}$



Fonte: Fogaça (2020?c)

Tipos de decaimento radioativo

Decaimento Alfa (α)

- Emissão de partículas alfa – 2 prótons e 2 nêutrons;
- Ocorre no núcleo de elementos pesados – superiores ao do chumbo;
- Poder de penetração pequeno;
- Grande poder de ionização.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 29 – Tabela Periódica

Tabela Periódica dos Elementos

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|----------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|-----------------------|-------------------------|----------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | 18 |
| 1 | H 1,00794 Hidrogênio | | | | | | | | | | | | | | | | | He 4,002602 Hélio |
| 2 | Li 6,941 Lítio | Be 9,012182 Berílio | | | | | | | | | | | B 10,811 Boro | C 12,011 Carbono | N 14,007 Nitrogênio | O 15,999 Oxigênio | F 18,998 Fluor | Ne 20,180 Neônio |
| 3 | Na 22,990 Sódio | Mg 24,305 Magnésio | | | | | | | | | | | Al 26,982 Alumínio | Si 28,086 Silício | P 30,974 Fósforo | S 32,06 Enxofre | Cl 35,45 Cloro | Ar 39,948 Argônio |
| 4 | K 39,098 Potássio | Ca 40,078 Cálcio | Sc 44,956 Escândio | Ti 47,88 Titânio | V 50,942 Vanádio | Cr 52,00 Cromo | Mn 54,938 Manganês | Fe 55,845 Ferro | Co 58,933 Cobalto | Ni 58,69 Níquel | Cu 63,546 Cobre | Zn 65,38 Zinco | Ga 69,723 Gálio | Ge 72,63 Germânio | As 74,922 Ársenic | Se 78,96 Selênio | Br 79,904 Bromo | Kr 83,80 Criptônio |
| 5 | Rb 85,468 Rúbio | Sr 87,62 Estrôncio | Y 88,906 Ítrio | Zr 91,224 Zircônio | Nb 92,906 Níobio | Mo 95,94 Molibdênio | Tc 98,906 Técnetio | Ru 101,07 Ródio | Rh 102,905 Ródio | Pd 106,42 Paládio | Ag 107,868 Prata | Cd 112,411 Cádmio | In 114,818 Índio | Sn 118,710 Estanho | Sb 121,757 Antimônio | Te 127,60 Telúrio | I 126,905 Iodo | Xe 131,29 Xenônio |
| 6 | Cs 132,905 Césio | Ba 137,327 Bário | * Lantânio | Hf 178,49 Háfnio | Ta 180,948 Tântalo | W 183,84 Wolfrâmio | Re 186,207 Rênio | Os 190,23 Ósmio | Ir 192,222 Írídio | Pt 195,084 Platina | Au 196,967 Ouro | Hg 200,59 Mercúrio | Tl 204,38 Tlâmio | Pb 207,2 Chumbo | Bi 208,98 Bismuto | Po 209 Poloônio | At 210 Ástato | Rn 222 Radônio |
| 7 | Fr 223 Frâncio | Ra 226 Rádio | ** Atômica | Rf 261 Rifório | Db 262 Dubnônio | Sg 263 Seaborgônio | Bh 264 Bohrium | Hs 265 Hassium | Mt 266 Meitnônio | Ds 267 Darmstadtônio | Rg 268 Roentgenônio | Cn 269 Copernício | Nh 270 Nihônio | Fl 271 Fleróvio | Mc 272 Moscúvio | Lv 273 Livermório | Ts 274 Tenessônio | Og 284 Oganessônio |
| | Lantanídeos | | 57 La Lantânio | 58 Ce Cério | 59 Pr Praseodímio | 60 Nd Néodímio | 61 Pm Promécio | 62 Sm Samarco | 63 Eu Európio | 64 Gd Gadolínio | 65 Tb Terbópio | 66 Dy Díscio | 67 Ho Hólio | 68 Er Érbio | 69 Tm Tulmio | 70 Yb Ítrio | 71 Lu Lúteo | |
| | Actínios | | 89 Ac Actínio | 90 Th Tório | 91 Pa Protactínio | 92 U Urânio | 93 Np Néptúlio | 94 Pu Plutônio | 95 Am Americônio | 96 Cm Cúrio | 97 Bk Berkelônio | 98 Cf Califórnio | 99 Es Einsteinônio | 100 Fm Fermônio | 101 Md Mendelevônio | 102 No Nobelônio | 103 Lr Lawrencônio | |

Versão em Beta: [Ver notas da versão atual.](#)

Fonte: Curado (2019)

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 30 – Decaimento beta - 1

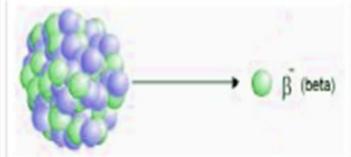
Tipos de decaimento radioativo

Decaimento beta (β)

- Emissão de partículas beta – elétrons ou pósitrons;
- Ocorre em núcleos com excesso ou falta de nêutrons;
- O poder de penetração é superior ao das partículas alfa;
- O poder de ionização é mais baixo que o das partículas alfa.

$${}_Z^AX \rightarrow {}_0^{-1}\beta + {}_{Z+1}^AY$$

Exemplo:

$${}_6^{14}\text{C} \rightarrow {}_0^{-1}\beta + {}_7^{14}\text{N}$$


Fonte: Fogaça (2020?c)

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 31 – Decaimento beta - 2

Decaimento beta (β)

Decaimento beta-menos: Quando um nêutron se transforma em um próton e emite um elétron e um antineutrino.

$$n \rightarrow p + e^{-} + \bar{\nu}_e$$

Decaimento beta-mais: Quando um próton se transforma em um nêutron e emite um pósitron e um neutrino.

$$p \rightarrow n + e^{+} + \nu_e$$

Decaimento beta-menos

Carbono-14 $\xrightarrow{\beta^{-}}$ Nitrogênio-14 + Antineutrino + Electron

6 prótons, 8 nêutrons \rightarrow 7 prótons, 7 nêutrons

Decaimento beta-mais

Carbono-10 $\xrightarrow{\beta^{+}}$ Boro-10 + Neutrino + Positron

6 prótons, 4 nêutrons \rightarrow 5 prótons, 5 nêutrons

Fonte: Abrantes (2020?)

Captura eletrônica: Um próton do núcleo pode capturar um elétron muito próximo do núcleo. O resultado é a substituição de um próton do núcleo por um nêutron e um neutrino

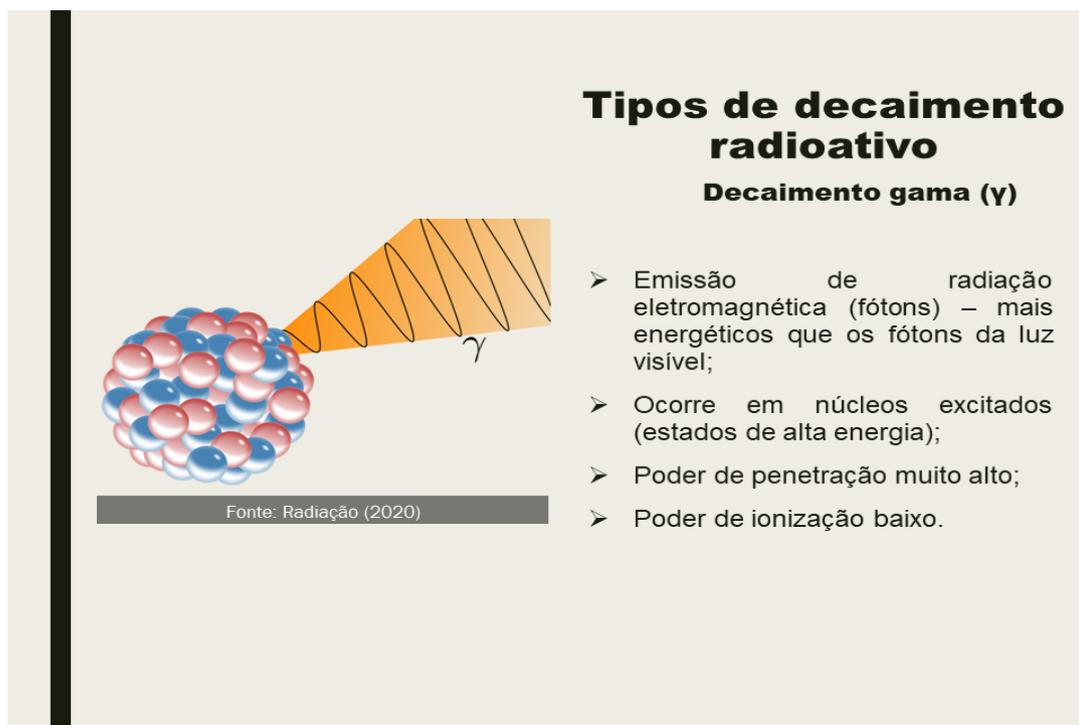
$$p + e^{-} \rightarrow n + \nu$$

Exemplo:

$${}_{23}^{48}\text{V} + e^{-} \rightarrow {}_{22}^{48}\text{Ti} + \nu$$

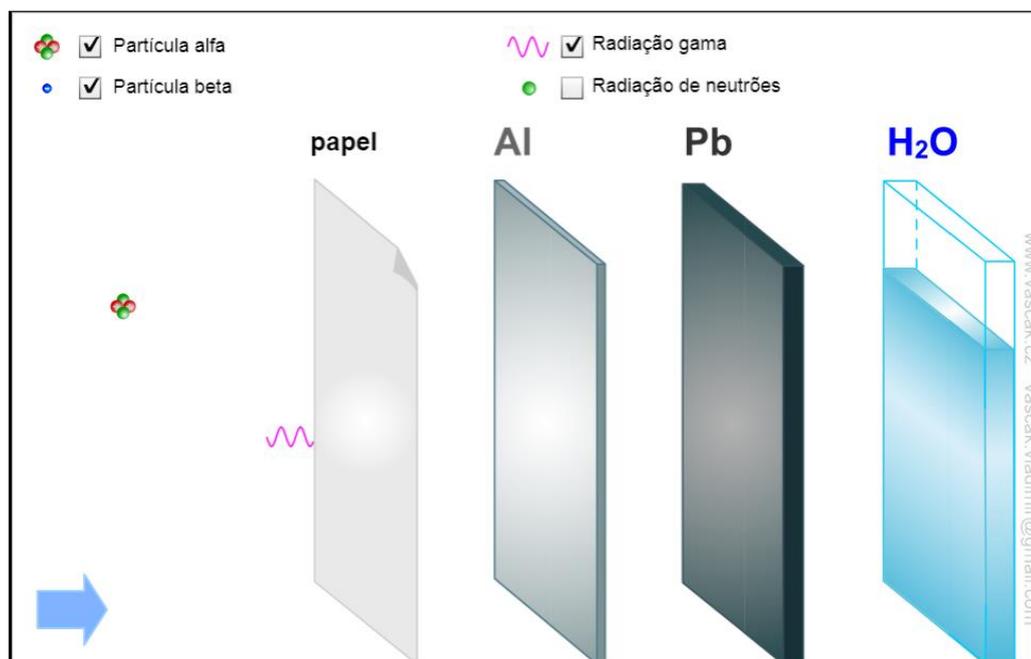
Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 32 – Decaimento gama



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 33 – Simulação do poder de penetração das radiações alfa, beta e gama



AValiação

A avaliação da aprendizagem será verificada por meio da observação do comprometimento, atenção, participação na aula e através da realização de uma tarefa a cada dois períodos, que será aplicada por meio de formulário do Google Forms (GOOGLE, 2020?).

A primeira tarefa será aplicada no segundo período de aula. A tarefa consiste em responder às perguntas abaixo sobre assunto da aula:

1) Marque verdadeiro (V) ou falso (F) nas afirmações sobre o projeto Manhattan:

Foi desenvolvido pelos EUA em parceria com a Alemanha.

Desenvolveu as duas bombas atômicas utilizadas na Segunda Guerra Mundial.

Desenvolveu armas químicas.

O projeto contava com os principais cientistas do mundo que eram liderados pelo físico Robert Oppenheimer.

Assinale a alternativa com a sequência correta:

F, F, F, V

V, V, V, V

F, V, F, V

V, V, F, F

2) Otto Hahn e Fritz Strassmann e Lise Meitner conseguiram fissurar átomos de urânio, em 1938. O que eles utilizavam para bombardear os átomos de urânio?

Hidrogênio

Nêutrons

Elétrons

Fótons

3) Marque verdadeiro (V) ou falso (F) nas afirmações abaixo sobre fissão e fusão nuclear e as bombas atômicas (armas nucleares):

Os estudos e pesquisas sobre a fissão nuclear tiveram grandes avanços durante a Segunda Guerra Mundial.

A bomba de fissão nuclear, Little Boy, utilizava urânio na sua composição.

A bomba de fissão nuclear, Fat Man, utilizava polônio na sua composição.

As bombas de fusão nuclear são mais fracas que as de fissão nuclear.

A bomba de fusão utilizava uma bomba de fissão como início para a fusão do hidrogênio.

Assinale a alternativa com a sequência correta:

- V, F, V, F, F
- V, F, F, V, V
- V, F, F, F, V
- V, V, F, F, V

4) Nas afirmativas abaixo, marque (D) se forem em defesa dos ataques nucleares durante a Segunda Guerra Mundial ou (C) se forem contrárias/críticas.

- Invasão da Ilha principal do Japão seria uma missão muito difícil e mortal;
- Matou milhares de civis japoneses, sem envolvimento militar;
- Interesse dos EUA em mostrar seu poder militar à URSS.
- O governo japonês negou a rendição dias antes.
- Foi um ato terrorista e desnecessário;

Assinale a alternativa com a sequência correta:

- D, C, C, C, C.
- D, C, D, C, C.
- C, D, C, D, C.
- D, C, C, D, C.

Gabarito

- 1) F, V, F, V.
- 2) Nêutrons.
- 3) V, V, F, F, V.
- 4) D, C, C, D, C.

A segunda tarefa será aplicada no quarto período de aula. A tarefa consiste em responder às perguntas abaixo sobre os avanços na Física Nuclear e sua utilização para a sociedade:

1) Marque a alternativa INCORRETA sobre o uso da Física Nuclear para fins pacíficos:

- É utilizada na agricultura para aumentar o tempo de conservação de alimentos.
- É utilizada na geração de energia elétrica, nas usinas nucleares.
- Usada na produção de armas nucleares.
- No tratamento de câncer são utilizadas técnicas e aparelhos desenvolvidos com os conhecimentos de Física Nuclear.

2) Marque verdadeiro (V) ou falso (F) nas afirmações abaixo sobre as reações nucleares (fissão e fusão nuclear):

() Na principal reação de fissão nuclear, o urânio é dividido em três outros elementos químicos.

() Na fusão nuclear os isótopos de hidrogênio se fundem para formar um átomo de hélio.

() A reação de fusão nuclear libera bem mais energia por quilograma do que uma reação de fissão nuclear.

() Na reação de fissão nuclear, o urânio fissionado é o urânio 238.

Assinale a alternativa com a sequência correta

() V, V, F, F

() F, V, V, F

() F, F, F, V

() F, V, V, V

3) Marque a alternativa CORRETA sobre o Reator Termonuclear Experimental Internacional (ITER):

() Os países que iniciaram o projeto, em 1992, foram: EUA, Índia, Brasil, Japão e Austrália.

() Maior empreendimento na busca de energia por meio da fusão nuclear.

() O objetivo é construir um reator de fissão nuclear mais eficiente.

() As instalações ficam no EUA e tem orçamento de 20 bilhões.

4) A fusão nuclear ainda não foi obtida de forma eficiente e autossuficiente.

Marque verdadeiro (V) ou falso (F) nas afirmações abaixo:

() Tokamak é o protótipo ideal para o uso pacífico da fusão nuclear na geração de energia.

() Há dois processos principais, em laboratório, para obter fusão nuclear: confinamento inercial e confinamento eletromagnético.

() O confinamento inercial é obtido por meio de feixes de LASER superpotentes.

() Para se obter a fusão nuclear é preciso temperatura mais alta que no núcleo do Sol, em torno de 50 milhões de graus Celsius.

Assinale a alternativa com a sequência correta:

() V, V, V, V

() F, F, F, V

V, F, V, V

V, F, F, V

Gabarito

1) Usada na produção de armas nucleares.

2) F, V, V, F.

3) Maior empreendimento na busca de energia por meio da fusão nuclear.

4) V, F, V, V.

A terceira tarefa será aplicada no sexto período de aula. A tarefa consiste em responder às perguntas abaixo sobre os acidentes nucleares e radioatividade:

1) O acidente radioativo em Goiânia é um dos maiores acidentes fora das instalações de uma usina nuclear. Assinale a alternativa INCORRETA:

O acidente ocorreu com um aparelho de radioterapia.

O elemento radioativo era o césio 137, um pó brilhante que chamou a atenção das pessoas.

A limpeza da área do acidente teve poucos rejeitos radioativos.

O acidente ocorreu em 13 de setembro de 1987 mas, só 15 dias após, a comissão de Energia Nuclear tomou conhecimento do tamanho do acidente.

2) Sobre a radioatividade, marque verdadeiro (V) ou falso (F) nas afirmações abaixo:

A radioatividade é uma propriedade dos núcleos atômicos estáveis de emitirem espontaneamente radiação.

A radiação podem ser partículas e/ou radiação eletromagnética.

Antoine Henri Becquerel descobriu a radioatividade e Pierre Curie e Marie Curie desenvolveram estudos sobre a origem da radioatividade.

Essas reações espontâneas são chamadas de desintegração radioativas, decaimento radioativo ou transmutação.

Assinale a alternativa com a sequência correta:

F, F, F, V

V, V, V, V

V, F, F, V

F, V, V, V

3) Relacione as duas colunas

1ª Coluna

- α - Decaimento alfa
- β - Decaimento beta
- γ - Decaimento gama

2ª Coluna

- Poder pequeno de penetração e grande de ionização
- Ocorre em núcleos com estados de alta energia.
- Poder muito alto de penetração e baixo de ionização.
- Ocorre em núcleos com excesso ou falta de nêutrons.
- Ocorre no núcleo de elementos pesados.

Assinale a alternativa com a sequência correta da segunda coluna:

- α , α , β , γ , β
- β , γ , γ , α , α
- γ , α , β , α , α
- α , γ , γ , β , α

4) O decaimento beta pode ocorrer de três formas: Decaimento beta- menos, beta-mais e captura eletrônica. Marque a alternativa CORRETA abaixo:

Na captura eletrônica, um próton do núcleo pode capturar um elétron distantes do núcleo.

No decaimento beta-menos, um nêutron se transforma em um próton e emite um elétron e um antinêutrino.

No decaimento beta-mais, um próton se transforma em um pósitron e um neutrino.

O resultado da captura eletrônica é a substituição de um próton por um nêutron e um elétron

5) Após o estudo que tivemos sobre a energia nuclear, você considera que deve-se continuar utilizando-a ou não? Justifique sua resposta.

Gabarito:

- 1) A limpeza da área do acidente teve poucos rejeitos radioativos.
 - 2) F, V, V, V.
 - 3) α , γ , γ , β , α
 - 4) No decaimento beta-menos, um nêutron se transforma em um próton e emite um elétron e um antinêutrino.
-

BIBLIOGRAFIAS

A QUÍMICA neste dia... *In*: CIÊNCIA em português. [S. I.], 2016. Disponível em: <https://cienciaemportugues.wordpress.com/2016/10/17/a-quimica-neste-dia/>. Acesso em: 29 jun. 2020.

A TRÁGICA história da família kamikaze. *In*: MDIG. [S. I.], 2019. Disponível em: <https://www.mdig.com.br/index.php?itemid=47895>. Acesso em: 29 jun. 2020.

ABRANTES, Matheus. O Que é um Neutrino e Qual a Sua Importância?. *In*: **Blog Cultura Sapiens**. [S. I.], (2020?). Disponível em: <http://culturasapiens.blogspot.com/2015/11/o-que-e-um-neutrino-e-qual-sua.html>. Acesso em: 01 jul. 2020.

ACIDENTE nuclear de Fukushima completa 5 anos e preocupa ecologistas. *In*: ABC do ABC. [S. I.], 2016. Disponível em: <https://www.abcdoabc.com.br/brasil-mundo/noticia/acidente-nuclear-fukushima-completa-5-anos-preocupa-ecologistas-36968>. Acesso em: 30 jun. 2020.

ANTOINE Henri Becquerel. *In*: WIKIPÉDIA, a enciclopédia livre. [S. I.], 2020. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Antoine_Henri_Becquerel. Acesso em: 30 jun. 2020.

ARMAS nucleares. [S. I.: s. n.], 27 set. 2016. 1 vídeo (10min 1s). Publicado pelo canal Nerdologia. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=mgaX6gd1F0E&t=4s>. Acesso em: 23 maio 2020.

BAKER (teste nuclear). *In*: WIKIPÉDIA, a enciclopédia livre. [S. I.], 2017. Disponível em: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Baker_\(teste_nuclear\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/Baker_(teste_nuclear)). Acesso em: 25 jun. 2020.

BEZERRA, Juliana. Bomba Atômica. *In*: TODA matéria. [S. I.], 2019. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/bomba-atomica/>. Acesso em: 29 jun. 2020.

BOCKSCAR. *In*: WIKIPÉDIA, a enciclopédia livre. [S. I.], 2018. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Bockscar>. Acesso em: 29 jun. 2020.

BOMBA atômica 'Fat Man' é lançada sobre Nagasaki, no Japão. *In*: OPINIÃO e notícia. [S. I.], 2018. Disponível em: <http://opinioenoticia.com.br/internacional/bomba-atomica-fat-man-e-lancada-sobre-nagasaki-no-japao/>. Acesso em: 29 jun. 2020.

BOMBA atômica e armas nucleares. [S. I.: s. n.], 29 set. 2016. 1 vídeo (9min 30s). Publicado pelo canal Nerdologia. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=J9SAZ314yNg&t=413s>. Acesso em 23 maio 2020.

CASO do Césio-137, em Goiânia, ainda gera consequências 32 anos depois. *In*: MEIONORTE.COM. [S. I.], 2019. Disponível em: <https://www.meionorte.com/blogs/memoria/caso-do-cesio-137-em-goiania-ainda-gera-consequencias-32-anos-depois-335825>. Acesso em: 30 jun. 2020.

CHERNOBYL e a lava radioativa. [S. l.: s. n.], 2 fev. 2017. 1 vídeo (8min 39s). Publicado pelo canal Nerdologia. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=3K8FpaITAF0>. Acesso em 08 ago.2020.

CONHEÇA o ITER, o projeto de energia mais ambicioso do mundo. *In: Blog ArcelorMittal*. [S. l.], 2016. Disponível em: <http://blog.arcelormittal.com.br/conheca-o-iter-o-projeto-de-energia-mais-ambicioso-do-mundo/>. Acesso em: 29 jun. 2020.

CURADO, Adriano. Tabela Periódica, o que é? Função, história, elementos, famílias. *In: CONHECIMENTO científico*. [S. l.], 2019. Disponível em: <https://conhecimentocientifico.r7.com/tabela-periodica/>. Acesso em: 30 jun. 2020.

DEURSEN, Felipe van. A bomba de Hiroshima foi um assassinato em massa desnecessário. *In: SUPER Interessante*. São Paulo, 2017. <https://super.abril.com.br/blog/contaoutra/a-bomba-de-hiroshima-foi-um-assassinato-em-massa-desnecessario/>. Acesso em: 02 jun. 2020.

ENERGIA gerada por fusão nuclear será utilizada a partir de 2030. *In: REVISTA Galileu*. [Rio de Janeiro], 2018. Disponível em: <https://revistagalileu.globo.com/Ciencia/noticia/2018/07/energia-gerada-por-fusao-nuclear-sera-utilizada-partir-de-2030.html>. Acesso em: 29 jun. 2020.

ENRIQUECIMENTO de urânio, como funciona?. *In: BETAEQ*. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://betaeq.com.br/index.php/2020/03/13/enriquecimento-de-uranio-como-funciona/>. Acesso em: 29 jun. 2020.

FABER, Marcos Emílio Ekman. A Guerra Fria: Origens. *In: HISTÓRIA livre*. [S. l.], (2020?). Disponível em: http://www.historylivre.com/contemporanea/guerrafria_origem.htm. Acesso em: 29 jun. 2020.

FARINACCIO, Rafael. Chernobyl: afinal, o que causou o pior acidente nuclear da História?. *In: TECMUNDO*. [S. l.], 2019. Disponível em: <https://www.tecmundo.com.br/ciencia/141908-chernobyl-causou-o-pior-acidente-nuclear-historia.htm>. Acesso em: 30 jun. 2020.

FAT Man. *In: WIKIPÉDIA*, a enciclopédia livre. [S. l.], 2019. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Fat_Man. Acesso em: 29 jun. 2020.

FERREIRA, Victor Ricardo. Radioatividade. *In: BRASIL Escola*. [S. l.], (2020?). Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/radioatividade.htm>. Acesso em: 30 jun. 2020.

FISSÃO nuclear. *In: SCIENCEOPEDIA*. [S. l.], (2020?). Disponível em: <https://www.scienceopedia.in/2019/01/nuclear-fission-chain-reaction-atom-bomb-nuclear-reactors.html>. Acesso em: 29 jun. 2020.

FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. Fusão Nuclear. *In: Brasil Escola*. [S. l.], (2020?b) Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/fusao-nuclear.htm>. Acesso em: 29 jun. 2020

FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. Radioatividade na Agricultura. *In: MUNDO educação*. [S. I.], (2020?a). Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/quimica/radioatividade-na-agricultura.htm>. Acesso em: 29 jun. 2020.

FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. Radiações alfa, beta e gama. *In: ALUNOS online*. [S. I.], (2020?c). Disponível em: <https://alunosonline.uol.com.br/quimica/radiacoes-alfa-beta-gama.html>. Acesso em: 30 jun. 2020.

FORNI, João José. Three Mile Island e o derretimento da credibilidade. *In: COMUNICAÇÃO e crise*. [S. I.], 2011. Disponível em: <http://www.comunicacaoecrise.com/site/index.php/artigos/429-three-mile-island-e-o-derretimento-da-credibilidade>. Acesso em: 29 jun. 2020.

GIRON, Luís Antônio. Chernobil revelada. *In: ISTOÉ*. [S. I.], 2019. Disponível em: <https://istoe.com.br/chernobil-revelada/>. Acesso em: 01 jul. 2020.

GONÇALVES, Odair Dias; ALMEIDA, Ivan Pedro Salati de. A energia nuclear e seus usos na sociedade. *In: CIÊNCIA Hoje*. [Rio de Janeiro], 01 out. 2005. Disponível em: <http://cienciahoje.org.br/artigo/a-energia-nuclear-e-seus-usos-na-sociedade/>. Acesso em: 23 maio 2020.

GOOGLE LLC. Google Classroom. 2015. Disponível em: <https://classroom.google.com/u/0/h>. Acesso em: 17 jul. 2020.

GOOGLE LLC. Google Forms. (2020?). Disponível em: <https://docs.google.com/forms/u/0/>. Acesso em: 04 ago. 2020.

GOOGLE LLC. Google Meet - Reuniões de vídeo seguras. 2017. Disponível em: <https://meet.google.com/>. Acesso em: 17 jul. 2020.

GOVERNO japonês e Tepco terão que pagar mais indenizações por Fukushima. *In: MUNDO-NIPO*. [S. I.], 2019. Disponível em: <https://mundo-nipo.com/noticias-2/20/02/2019/governo-japones-e-tepco-terao-que-pagar-mais-indenizacoes-por-fukushima/>. Acesso em: 29 jun. 2020.

GUIMARÃES, Jean Remy Davée. Japão: o impensável aconteceu. *In: CIÊNCIA Hoje*. [Rio de Janeiro], 18 mar. 2011. Disponível em: <http://cienciahoje.org.br/coluna/japao-o-impensavel-aconteceu/>. Acesso em: 23 maio 2020.

HELERBROCK, Rafael. Física Nuclear. *In: BRASIL escola*. [S. I.], (2020?). Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/fisica-nuclear.htm>. Acesso em: 25 jun. 2020.

LIASCH, Jonas. Enola Gay: o avião que lançou a bomba atômica em Hiroshima. *In: CULTURA aeronáutica*. [S. I.], 2009. Disponível em: <http://culturaaeronautica.blogspot.com/2009/06/enola-gay-o-aviao-que-lancou-bomba.html>. Acesso em: 29 jun. 2020.

- MANCINI, Natália. Tudo o que você precisa saber sobre radioterapia. *In: REVISTA Abrale On-line*. [S. I.], 2020. Disponível em: <https://www.abrale.org.br/revista-online/tudo-o-que-voce-precisa-saber-sobre-radioterapia/>. Acesso em: 29 jun. 2020.
- MASILI, Gustavo Santos; ESTEVES Rodrigo José Gomes Alay. Usina Nuclear. *In: UNICAMP*. [Campinas], (2020?). Disponível em: <http://www.fem.unicamp.br/~em313/paginas/nuclear/nuclear.htm>. Acesso em: 29 jun. 2020.
- MESQUITA, João Lara. Desastre de Fukushima não contaminou só o Pacífico. *In: MAR sem fim*. [S. I.], 2019. Disponível em: <https://marsemfim.com.br/desastre-de-fukushima-e-o-oceano-pacifico/>. Acesso em: 30 jun. 2020.
- MOURA, Kaíque. Além de Chernobyl: tudo que você precisa saber sobre usinas nucleares. *In: ENGENHARIA 360*. [S. I.], 2020. Disponível em: <https://engenharia360.com/tudo-sobre-usinas-nucleares/>. Acesso em: 29 jun. 2020.
- MULLER, Fabricio. “Vozes de Tchernóbil”, de Svetlana Aleksíévitch. *In: FABRICIO Muller*. [S. I.], 2017. Disponível em: <https://fabriciomuller.com.br/wp/?p=3372>. Acesso em: 29 jun. 2020.
- NO MUNDO, 9 países possuem armas nucleares. Saiba quais e o tamanho do arsenal de cada um deles. **Gazeta do Povo**, Curitiba, 15 maio 2019. Disponível em: <https://www.gazetadopovo.com.br/mundo/no-mundo-9-paises-possuem-armas-nucleares-saiba-quais-e-o-tamanho-do-arsenal-de-cada-um-deles/>. Acesso em: 25 jun. 2020.
- NOVA biografia do ‘pai da era nuclear’, Enrico Fermi. *In: OPINIÃO e notícia*. [S. I.], 2018. Disponível em: <http://opinioenoticia.com.br/noticia/nova-biografia-fala-da-vida-do-pai-da-era-nuclear-enrico-fermi/>. Acesso em: 29 jun. 2020.
- NOVAES, Felipe. Fusão nuclear. *In: AULAS de Física - Felipe Novaes*. [S. I.], 2019. Disponível em: http://aulasdefisicafelipe.blogspot.com/2008/10/5-fuso-nuclear_30.html. Acesso em: 29 jun. 2020.
- OLIVEIRA, Adilson de. A rosa de Fukushima. *In: CIÊNCIA Hoje*. [Rio de Janeiro], 15 abr. 2011. Disponível em: <http://cienciahoje.org.br/coluna/a-rosa-de-fukushima/>. Acesso em: 23 maio 2020.
- PEDROLO, Caroline. Hidrogênio. *In: INFOESCOLA*. [S. I.], (2020?a). Disponível em: <https://www.infoescola.com/elementos-quimicos/hidrogenio/>. Acesso em: 29 jun. 2020.
- PEDROLO, Caroline. Radioatividade. *In: INFOESCOLA*. [S. I.], (2020?b). Disponível em: <https://www.infoescola.com/quimica/radioatividade/>. Acesso em: 30 jun. 2020.
- PESQUISADORES próximos de realizar a fusão nuclear em laboratório. *In: MAKE It Clear Brasil*. [S. I.], (2020?). Disponível em: <https://makeitclearbr.wordpress.com/2013/09/24/pesquisadores-proximos-de-realizar-a-fusao-nuclear-em-laboratorio/>. Acesso em: 29 jun. 2020.

PINHEIRO, Juliana. Armas Nucleares. *In*: COLA da Web. [S. I.], (2020?). Disponível em: <https://www.coladaweb.com/quimica/quimica-nuclear/armas-nucleares>. Acesso em: 29 jun. 2020.

PINTO Tales. Hiroshima e Nagasaki, bombas e terror. *In*: HISTÓRIA do Mundo. (2020?). Disponível em: <https://www.historiadomundo.com.br/idade-contemporanea/hiroshima-e-nagasaki-bombas-e-terror.htm>. Acesso em: 03 jun. 2020.

POR QUE os EUA bombardearam Hiroshima?. *In*: PRAGMATISMO político. [S. I.], 2013. Disponível em: <https://www.pragmatismopolitico.com.br/2013/08/por-que-os-eua-bombardearam-hiroshima.html>. Acesso em: 29 jun. 2020.

PRIMEIRA usina nuclear. *In*: SCIENCEBLOGS Ciência, Cultura, Política. https://www.blogs.unicamp.br/massacritica/2009/07/07/primeira_usina_nuclear/. Acesso em: 04 jun. 2020.

RADIAÇÃO gama. *In*: WIKIPÉDIA, a enciclopédia livre. [S. I.], 2020. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Radia%C3%A7%C3%A3o_gama. Acesso em: 30 jun. 2020.

RICARDO, Sérgio. Brasil tenta retomar programa nuclear; isso é um erro. **Diário do Rio.com**, Rio de Janeiro, 22 out. 2019. Disponível em: <https://diariodorio.com/sergio-ricardo-brasil-tenta-retomar-programa-nuclear-isso-e-um-erro/>. Acesso em: 29 jun. 2020.

ROMANZOTI, Natasha. O nascimento da era atômica: série de fotos mostra o primeiro reator nuclear feito pelo homem. *In*: HYPESCIENCE. [S. I.], 2013. Disponível em: <https://hypescience.com/o-nascimento-da-era-atmica-serie-de-fotos-mostra-o-primeiro-reator-nuclear-feito-pelo-homem/>. Acesso em: 29 jun. 2020.

SANTOS, Carlos Alberto dos. O vaivém da fusão nuclear. *In*: CIÊNCIA Hoje. [Rio de Janeiro], 29 jun. 2009. Disponível em: <http://cienciahoje.org.br/coluna/o-vaivem-da-fusao-nuclear/>. Acesso em: 23 maio 2020.

SILVA, Daniel Neves. Bombas atômicas em Hiroshima e Nagasaki. *In*: Brasil Escola. [S. I.], (2020?). Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/historiag/bombas-atomicas-hiroshima-nagasaki.htm>. Acesso em: 29 jun. 2020.

TAVARES, Odilon A. P. Energia nuclear: ontem e hoje. *In*: CIÊNCIA Hoje. [Rio de Janeiro], 17 jan. 2013. Disponível em: <http://cienciahoje.org.br/artigo/energia-nuclear-ontem-e-hoje/>. Acesso em: 23 maio 2020.

USINA nuclear. *In*: TODA matéria. [S. I.], (2020?). Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/usina-nuclear/>. Acesso em: 29 jun. 2020.

USINAS Nucleares. *In*: NÚCLEWIKI. [S. I.], (2020?). Disponível em: <https://sites.google.com/site/nuclewiki/usinas-nucleares>. Acesso em: 29 jun. 2020.

VÁLIO, Adriana Benetti Marques. **Ser protagonista**: Física, 3º ano: ensino médio. 3. ed. São Paulo: Edições SM, 2016. ISBN 978-85-418-1362-4.

VAŠČÁK, Vladimír. Física na escola - HTML5 (Física Animações/Simulações). Disponível em: <https://www.vascak.cz/physicsanimations.php?l=pt>. Acesso em: 23 maio 2020.

VEJA fotos da época do acidente com o céσιο-137 em Goiânia. *In*: G1. [S. l.], 2012. Disponível em: <http://g1.globo.com/goias/fotos/2012/09/veja-fotos-da-epoca-do-acidente-com-o-cesio-137-em-goiania.html>. Acesso em: 29 jun. 2020.

VERÍSSIMO, Suzana. O casal Curie. *In*: SUPER Interessante. [S. l.], 2018. Disponível em: <https://super.abril.com.br/historia/o-casal-curie/>. Acesso em: 30 jun. 2020.

YAMAMOTO, Kazuhito. **Física para o ensino médio**, vol.3: Eletricidade e Física Moderna. 4. ed. São Paulo: Saraiva, 2016. ISBN 978-85-472-0578-2.

ANEXOS DO PLANO DE AULA – ETAPA 2

ANEXO A₂ - ENERGIA NUCLEAR E SEUS USOS NA SOCIEDADE

Toda tecnologia avançada pode ser usada para fins pacíficos ou bélicos. Isso ocorre com a eletrônica, a nanotecnologia, a biologia, a engenharia genética e também com a energia nuclear. Todos esses conhecimentos podem ser aplicados – e são – na guerra, mas também podem contribuir para melhorar bastante a qualidade de vida da população.

A energia nuclear – ao se tornar conhecida pelas bombas lançadas em 1945 sobre as cidades japonesas de Hiroshima e Nagasaki, bem como pelos acidentes ocorridos com reatores nos Estados Unidos e na Ucrânia – ganhou um estigma que até hoje prejudica uma discussão ponderada sobre os riscos e os benefícios advindos dessa tecnologia.

No entanto, inúmeras atividades presentes em nosso dia-a-dia empregam, direta ou indiretamente e de modo seguro, as radiações nucleares. Por exemplo, as técnicas nucleares têm sido anualmente responsáveis pela cura ou prevenção do câncer em milhões de pessoas. A energia elétrica produzida em reatores nucleares gera quase 20% desse tipo de energia no mundo e é uma das áreas que mais se preocupam com a segurança, o que levou, nos últimos anos, vários países a optar por essa tecnologia. Além da área de saúde e da geração de eletricidade, a energia nuclear tem sido amplamente empregada no meio ambiente, na indústria e na pesquisa. Neste artigo, o leitor vai conhecer vários exemplos de seus benefícios para a sociedade.

O núcleo do átomo

Todos os materiais são formados por um número limitado de átomos, que, por sua vez, são caracterizados pela carga elétrica de seu núcleo e simbolizados pela letra Z. Em física, a descrição adequada do átomo para a compreensão de um determinado fenômeno depende do contexto considerado. Para os objetivos deste artigo, restritos às aplicações da energia nuclear, podemos considerar o núcleo como composto de prótons, com carga elétrica positiva, e nêutrons, sem carga. Ambos são denominados genericamente núcleons. A letra Z que caracteriza cada um dos átomos, naturais ou artificiais, representa o número de prótons no núcleo.

A maior parte da massa do átomo está concentrada em seu núcleo, que é muito pequeno (10^{-12} cm a 10^{-13} cm). Prótons e nêutrons têm massa aproximadamente igual, da ordem de $1,67 \times 10^{-24}$ gramas, e são caracterizados por parâmetros específicos (números quânticos) definidos pela mecânica quântica, teoria que lida com os fenômenos na escala atômica e molecular.

Os prótons, por terem a mesma carga, se repelem fortemente devido à força eletrostática. Isso tenderia a fazer com essas partículas se afastassem umas das outras, o que inviabilizaria o modelo. Mas, como os núcleos existem, podemos concluir que deve existir uma força de natureza diferente da força eletromagnética ou da força gravitacional – e muito mais intensa que estas – que mantém os núcleos coesos.

Quanto maior a energia de ligação média (soma de todos os valores das energias de ligação dividida pelo número de partículas), maior a força de coesão do núcleo. Este artigo irá tratar da energia nuclear, que está relacionada a essa força, bem como de seus usos na sociedade.

Odair Dias Gonçalves e Ivan Pedro Salati de Almeida
Comissão Nacional de Energia Nuclear (RJ).

ANEXO B₂ – ENERGIA NUCLEAR: ONTEM E HOJE

Em uma placa, na parede de uma velha estrutura que imita um castelo medieval, na Universidade de Chicago (EUA), lê-se: “O homem conseguiu aqui com êxito a primeira reação em cadeia autossustentada e desse modo deu início à liberação controlada da energia nuclear”.

Tais dizeres marcam a entrada em funcionamento do primeiro reator nuclear da história, montado secretamente por um pequeno grupo de cientistas, em uma quadra para jogo com raquetes, sob as arquibancadas do estádio de atletismo daquela universidade. Era um espaço modesto: 18 m de comprimento, 9 m de largura e 8 m de altura. A equipe trabalhava freneticamente, sob a liderança do físico italiano Enrico Fermi (1901-1954).

O reator consistia de um empilhamento de blocos de grafite, embebidos de óxido de urânio, bem como pequenas barras de urânio metálico. Havia uma piada corrente entre os cientistas: “Se as pessoas pudessem ver o que estamos fazendo com seu 1,5 milhão de dólares, pensariam que somos doidos; se soubessem por que estamos fazendo isso, teriam certeza de que somos doidos”.

A Segunda Guerra Mundial estava em curso. Em dezembro de 1941, os japoneses haviam atacado e destruído a base naval norte-americana de Pearl Harbor, no Havaí, levando os EUA a entrarem no conflito. Fermi e equipe sabiam que seu trabalho tornaria possível o desenvolvimento de armas nucleares.

Após cerca de um mês de montagem, o reator entrou em operação em 2 de dezembro de 1942. Aqueles homens foram os primeiros a presenciar a matéria transformar-se em energia de maneira firme, estável, uniforme e controlada – como eles queriam. Foram os primeiros 200 W – suficientes para sustentar apenas duas ou três lâmpadas caseiras – vindos da fissão (quebra) dos núcleos de urânio, em uma reação em cadeia e autossustentada. Três anos e meio antes, o físico de origem alemã Albert Einstein (1879-1955) havia dito: “Pela primeira vez na história, o homem usará energia que não aquela proveniente do Sol”.

Guerra e paz

O sucesso do primeiro reator nuclear pode ser comparável em importância à descoberta do fogo, à invenção da máquina a vapor, do automóvel ou avião ou, mais modernamente, à difusão da internet pelo mundo – afinal, tornou possível usar a enorme quantidade de energia armazenada no núcleo atômico.

As circunstâncias daquele momento fizeram com que essa energia fosse primeiramente empregada na guerra, com a produção de três bombas atômicas – duas lançadas sobre o Japão, em agosto de 1945, pondo fim ao conflito. Mas, terminada a ‘guerra quente’ – e iniciada a Guerra Fria –, os reatores nucleares, já a partir de 1950, passaram a ser construídos com propósitos pacíficos.

Mais potentes e tecnologicamente avançadas, essas máquinas começaram a produzir diversos elementos radioativos (molibdênio e iodo, por exemplo) que eram incorporados em quantidades adequadas a produtos farmacêuticos (radiofármacos), que passaram a ser usados na medicina nuclear para diagnóstico e tratamento de doenças.

Na década de 1950, surgiram vários reatores para gerar eletricidade, trazendo bem-estar e conforto às populações. O pioneiro foi Obninsk (Rússia), em 1954, e, dois anos depois, Calder Hall (Reino Unido), primeira usina nuclear de larga escala, que funcionou por 50 anos.

Ainda em 1954, foi lançado ao mar o primeiro submarino com propulsão nuclear, o Nautilus, dos EUA. Pouco depois, vieram navios como o Savannah (EUA, 1962) e o Otto Hahn (Alemanha, 1964) – este último era capaz de navegar impressionantes 40 mil km com apenas 2 kg de urânio-235.

A reação brasileira

O Brasil reagiu a esses fatos. Aqui, foram criados, a partir de 1949, institutos e centros de pesquisa voltados fundamentalmente para as questões nucleares. Nessas instituições, tiveram lugar a construção e operação dos primeiros reatores nucleares do país, voltados tanto para a produção de radiofármacos quanto para a pesquisa e formação de pessoal especializado.

Em 1957, o primeiro reator nuclear da América Latina, o IEA-R1, entrou em operação no então Instituto de Energia Atômica (IEA) – atualmente, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (Ipen) na Universidade de São Paulo.

Em 1960, começou a funcionar o reator Triga Mark-1, no então Instituto de Pesquisas Radioativas (IPR) – hoje, Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN) –, na Universidade Federal de Minas Gerais. Cinco anos depois, foi a vez, no *campus* da Universidade Federal do Rio de Janeiro, do primeiro reator de pesquisa totalmente construído por empresa brasileira, o Argonauta, no Instituto de Engenharia Nuclear (IEN).

Em 1988, o Brasil inaugurou seu primeiro reator nuclear genuinamente nacional, o Ipen/MB-01, resultado de parceria entre pesquisadores do Ipen e da Marinha do Brasil. O objetivo primordial daquela máquina, além da pesquisa, é formar recursos humanos.

Atualmente, o Brasil conta com duas unidades nucleares de grande porte para geração de eletricidade: Angra I, em funcionamento há 30 anos, e Angra II, a partir de 2000. Também localizado em Angra dos Reis (RJ), o reator Angra III, em construção, está previsto para entrar em funcionamento em 2016.

Odilon A. P. Tavares

Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas

ANEXO C₂ - O VAIVÉM DA FUSÃO NUCLEAR

De tempos em tempos, a imprensa noticia algo sobre a fusão nuclear. Nos anos 1950, o mundo ficou abismado com a bomba de hidrogênio produzida nos Estados Unidos. Foi o primeiro uso prático da fusão nuclear, um fenômeno cuja explicação detalhada e cuja associação à produção de energia nas estrelas valeram ao físico Hans Bethe (1906-2005) o Prêmio Nobel de Física de 1967.

No final dos anos 1960, a grande notícia foi o desenvolvimento do tokamak, acrônimo da expressão russa *toroidal'naya kamera v magnitnykh katushkakh*, que significa câmara toroidal com bobinas magnéticas. Esse equipamento foi inventado pelos físicos russos Andrei Sakharov (1921-1989) e Igor Tamm (1895-1971) para a obtenção de fusão termonuclear e logo foi transformado em protótipo ideal para o uso pacífico desse processo.

Rapidamente a “tokamakmania” espalhou-se pelo mundo. Tokamaks foram instalados em todos os países industrializados. No Brasil, a Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), a Universidade de São Paulo (USP) e o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe) seguiram a moda. Mas as pesquisas não tiveram muito impacto nos meios de comunicação de massa.

Em 1989, Martin Fleischmann, professor de química da Universidade de Southampton (Inglaterra), e Stanley Pons, professor de química da Universidade de Utah (EUA), publicaram um artigo que gerou enorme controvérsia na comunidade científica internacional e que relatava a descoberta de um fenômeno, logo denominado fusão a frio. O título do trabalho era: Fusão nuclear de dêuteron eletroquimicamente induzida. De vez em quando, aparece um novo artigo sobre o tema, mas poucos cientistas levam a sério..

A fusão nuclear voltou a ser assunto para o grande público em 1992, quando a Comunidade Europeia, a Coreia do Sul, a China, os Estados Unidos, o Japão e a Rússia decidiram construir o Reator Termonuclear Experimental Internacional (Iter, na sigla inglesa). Na verdade, esse projeto teve origem em uma colaboração entre os Estados Unidos e a União Soviética iniciada em 1985. Em 2006, a Índia também passou a fazer parte do grupo.

O Iter é considerado o último passo em direção ao teste final de exequibilidade da fusão nuclear em escala industrial, conhecido como Demo. Depois desse teste,

deverão surgir instalações industriais que permitirão a realização desse processo em larga escala.

Entre os países em desenvolvimento considerados grandes potências econômicas (Brasil, Rússia, Índia e China), apenas o Brasil não participa desse empreendimento internacional. Mas, segundo notícia recentemente publicada no Jornal da Ciência, o ministro da Ciência e Tecnologia, Sergio Rezende, está em negociação para celebrar um acordo com a Comunidade Europeia da Energia Atômica (Euratom), por meio do qual cientistas brasileiros poderão trabalhar em laboratórios europeus nessa área.

No início deste ano, o tema da fusão nuclear veio novamente à baila porque todo o projeto Iter está sendo redimensionado, com objetivos menos ambiciosos e cronograma mais dilatado. Embora o princípio da fusão nuclear seja estonteantemente simples, sua utilização em artefatos industriais é muito mais complexa do que se imaginava.

A origem da energia do universo

Com exceção da energia escura, cuja origem ainda é um mistério, virtualmente toda a energia do universo surge em processos de fusão nuclear. No Sol e em outras estrelas, isso ocorre por meio de uma reação em cadeia que se inicia com a fusão de dois prótons, que gera um dêuteron (núcleo do deutério, um isótopo do hidrogênio), um elétron e um neutrino, responsável pela liberação de energia. O dêuteron contém um próton e um nêutron. Portanto, além de liberar energia (por meio do neutrino), essa reação origina o nêutron e o elétron.

Depois, o dêuteron combina-se com outro próton para formar o hélio-3 (composto por dois prótons e um nêutron), que, por sua vez, se junta a outro hélio-3 para formar o hélio-4 (composto por dois prótons e dois nêutrons) e dois prótons. As combinações continuam a ocorrer sucessivamente, até que se formem todos os elementos químicos.

Algumas dessas reações são corriqueiramente reproduzidas em laboratório. Entre todas as possibilidades, a que apresenta maior potencial de aproveitamento energético é a que envolve o dêuteron (D) e o trítio (T), que contém um próton e dois nêutrons. O problema é dominar essa tecnologia de modo que o balanço energético seja positivo em quantidade apreciável. Isto é, a energia gasta para produzir a reação deve ser menor do que a energia liberada.

Em todas essas reações, a energia liberada pode ser calculada a partir da famosa equação de Einstein: $E = mc^2$. Por exemplo: a massa do dêuteron é menor do que a soma das massas do próton e do nêutron. Essa massa que “falta” é transformada em energia. Na reação entre o dêuteron e o trítio, a energia liberada é de aproximadamente 17,6 MeV (milhões de elétron-volts). O elétron-volt é a energia adquirida por um elétron quando acelerado por uma diferença de potencial de 1 volt.

Fusão nuclear em laboratório

Para produzir reações de fusão nuclear, a providência inicial é fazer com que os núcleos fiquem o mais próximo possível uns dos outros e submetê-los a uma alta temperatura. No interior das estrelas, a proximidade é obtida por causa das altas pressões resultantes dos enormes campos gravitacionais ali existentes.

Nos laboratórios terrestres, existem algumas alternativas para manter os núcleos próximos, em temperaturas muito superiores àquela existente no interior do Sol. Entre essas alternativas destacam-se o confinamento magnético e o confinamento inercial, sendo a primeira a que tem despertado o maior interesse da comunidade científica. Não discutiremos aqui o confinamento inercial, diremos apenas que ele é obtido por meio de feixes de *laser* superpotentes.

O confinamento magnético é hoje sinônimo de tokamak. Esse equipamento consiste em um toroide metálico, em volta do qual várias bobinas condutoras são dispostas. Nos equipamentos modernos, essas bobinas são confeccionadas com materiais supercondutores, para produzir campos magnéticos mais intensos com menor consumo de energia.

Quando correntes elétricas circulam nessas bobinas, campos magnéticos são produzidos na direção do toroide. Por isso, são conhecidos como campos toroidais. No interior do toroide, uma mistura de deutério e trítio é aquecida até que se transforme em plasma, formado por íons positivos e elétrons. Se a temperatura for suficientemente alta, maior do que 50 milhões de graus centígrados, é possível que o plasma formado contenha apenas dêuterons, trítions (núcleos de trítio) e elétrons.

Um campo elétrico toroidal, produzido com um transformador, acelera íons e elétrons em sentidos contrários. Se existisse apenas esse campo elétrico, íons e elétrons terminariam por entrar em contato com as paredes do toroide, resfriando o plasma e se afastando da condição que permite a fusão nuclear.

Por isso, uma complexa configuração de campos magnéticos, sendo o campo toroidal já mencionado o mais importante, faz com que íons e elétrons sigam

trajetórias helicoidais em torno do eixo do toroide. Daí vem a expressão confinamento magnético. O plasma fica confinado em uma pequena região em torno do eixo do toroide. Essas condições tornam possível a fusão nuclear.

Desafio internacional

É simples assim. Mas atravessar a porta que separa um pequeno experimento de uma instalação industrial é um desafio extraordinário. Depois que muitos laboratórios aceitaram o desafio, perceberam que só um empreendimento internacional seria capaz de suplantá-lo. Foi assim que surgiu o Iter, com orçamento superior a 20 bilhões de Reais para os primeiros 30 anos. Depois de uma acirrada disputa com a Espanha e o Japão, a França acabou convencendo os membros do consórcio de que suas instalações em Cadarache eram as mais apropriadas para abrigar o reator.

As frequentes alterações de cronograma e previsões orçamentárias dão uma boa ideia das dificuldades técnicas do empreendimento. Quando o local do reator foi decidido, em 2006, a previsão era de que ele entrasse em operação em 2020. Mas, dois anos depois, essa previsão passou para 2025. O orçamento foi reavaliado e aumentado em 30%, mas há quem esteja pensando que ele será duplicado. A necessidade de novas configurações de campos magnéticos e de proteção contra abalos sísmicos são alguns dos fatores responsáveis por esse acréscimo no orçamento.

Por causa de tudo isso, o reator será construído com uma configuração esquelética, apenas com equipamentos para a realização dos experimentos básicos. Na reunião do conselho do Iter, realizada nos dias 17 e 18 deste mês no Japão, ficou decidido que os primeiros experimentos com plasma deverão ocorrer em 2018 e que a primeira operação com deutério e trítio deverá ser realizada em 2026.

Até chegar ao estágio industrial, dificuldades técnicas que não podem ser investigadas pelo Iter terão que ser superadas. Um exemplo é o fato de a reação entre deutério e trítio produzir nêutrons com energia de cerca de 14 milhões de elétron-volts. Nos curtos ciclos de operação do Iter isso não é um problema, mas, em regime de uso contínuo de uma planta industrial, a interação desses nêutrons com a parede do toroide poderá ter consequências catastróficas.

A grande dificuldade é que ainda não há sequer instalações experimentais para testar materiais desenvolvidos para resistir a esse fluxo de nêutrons. Assim, paralelamente aos experimentos com o Iter, será montada no Japão uma instalação

com esse objetivo, denominada instalação internacional para irradiação de materiais para fusão (IFMIF, na sigla em inglês).

Se todas as dificuldades tecnológicas, sobretudo aquelas relacionadas com o aproveitamento e a distribuição da energia, forem superadas no devido tempo, espera-se que a construção do Demo (o último experimento rumo à obtenção da fusão nuclear em escala industrial) tenha início em 2025 e que em 2035 ele entre em operação. Considerando as estimativas mais otimistas, as instalações industriais capazes de realizar a fusão nuclear só devem entrar em operação por volta de 2050. É esperar para ver...

Carlos Alberto dos Santos

Colunista da CH On-line

Professor aposentado pelo Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul

ANEXO D₂ - JAPÃO: O IMPENSÁVEL ACONTECEU

A tripla tragédia japonesa expõe cruamente o custo das apostas que fazemos enquanto espécie e civilização. Para gerar toda a energia que desejamos, convivemos com riscos, qualquer que seja a opção: carvão, gás, óleo, hidroeletricidade, eólica, solar, nuclear, todas elas envolvem riscos que podem ser medidos ou calculados com precisão cada vez maior.

A percepção do risco, no entanto, pertence a outra esfera, subjetiva e inacessível aos engenheiros e toxicologistas, e tem pouca relação com o risco real. A disparidade entre essas esferas – o risco de um lado e sua percepção do outro – aumenta conforme a complexidade da tecnologia ou prática.

Nesse quesito, a tecnologia nuclear é campeã. É complicado explicar a radioatividade, natural ou artificial, que nenhum de nossos sentidos é capaz de perceber.

Para saber se estou contaminado, preciso achar um técnico que tenha um detector apropriado, em boas condições de funcionamento, que saiba usá-lo e interpretar os sinais cabalísticos que emite, e ainda entender o que esse técnico me diz e, finalmente, confiar no seu veredito. É pedir muito, especialmente em se tratando de algo que não vejo, sinto ou percebo.

Para piorar, as emissões radioativas podem ser radiações, como o raio gama, de natureza semelhante à da luz, mas invisível e de energia muito superior, ou fluxos de partículas, como alfa ou beta, que têm massa e carga elétrica. Raios gama podem viajar de uma galáxia a outra, alfa são detidos por uma folha de papel e beta não viajam mais que alguns metros no ar. Os elementos radioativos podem ainda emitir combinações de radiações diferentes.

Em caso de exposição a uma fonte externa ao corpo, naturalmente as radiações gama serão motivo de maior preocupação que as demais devido ao seu maior alcance. Porém, em caso de contaminação interna por inalação ou ingestão de ar, alimentos e água contaminados, as emissões alfa e beta causarão mais danos do que as gama, por irradiarem diretamente nossos tecidos internos.

Falhas de comunicação

Os detectores portáteis que vemos no noticiário sobre a crise nuclear no Japão medem a taxa de exposição à radiação. Portanto, só percebem as emissões que chegam até eles e medem a dose de radiação por exposição externa.

Se houver emissores alfa na atmosfera, que podem levar à inalação de doses elevadas dessas partículas, esses detectores são incapazes de estimá-las. Para detectá-las são necessários equipamentos e cálculos bem mais complexos.

Em condições normais de operação, reatores nucleares emitem pequenas quantidades de elementos radioativos cujo inventário é mantido com grande zelo e alimenta modelos matemáticos que calculam, em tempo quase real, as doses externas e internas por qualquer via de exposição, em qualquer direção e a distâncias de até 50 km. Por que calcular e não medir? Porque as doses são baixas demais para serem medidas diretamente, mesmo por detectores de elevada sensibilidade.

A tragédia nuclear japonesa expõe, também com muita cruza, o custo da escolha feita pela indústria nuclear de não buscar uma política eficiente de comunicação de riscos.

A energia nuclear foi apresentada ao mundo de forma brusca e, sobretudo brutal, em 1945, quando as bombas atômicas lançadas sobre Hiroshima e Nagasaki mataram cerca de 200 mil civis, e nunca se recuperou plenamente desse trauma de infância. É mais um dos muitos elementos dessa tragédia sua ocorrência no mesmo país que sofreu o único ataque nuclear registrado na história.

O problema é que, se por um lado é difícil comunicar riscos em geral e riscos nucleares em particular, não fazê-lo acaba justificando e amplificando a desconfiança e paranoia. Radiações invisíveis, destruição em massa, opacidade, segredo: quantas dimensões simbólicas conspirando para o aumento e distorção da percepção de risco?

No caso da tragédia japonesa, o autismo das autoridades locais só aumenta a angústia e o medo. O governo japonês e a empresa privada que opera o complexo nuclear não dizem quase nada do que queremos saber.

A Agência Internacional de Energia Atômica e o governo norte-americano acabam sendo os porta-vozes improvisados que, como os oráculos da Antiguidade, interpretam e traduzem os poucos sinais emitidos.

Diferente mas semelhante

Dessa vez não houve guerra ou crasso erro humano como no acidente de Chernobyl. A tragédia foi provocada pela improvável combinação de um terremoto de alta intensidade, seguido de um *tsunami* de proporções bíblicas.

Mas, ironicamente, na sequência de eventos que levaram ao desastre, o acontecimento decisivo envolveu os elementos menos complexos ou de tecnologia

mais simples do complexo nuclear: uma simples pane de geradores. Isso mesmo, um motor a explosão que faz girar um dínamo e gera eletricidade, como a força muscular do ciclista move o pequeno dínamo que alimenta o farolete da bicicleta.

No caso de uma central nucleoeleétrica, naturalmente, o dínamo é enorme, algo equivalente a várias locomotivas juntas. Sem os geradores, não havia energia para bombear a água que resfria os reatores, levando ao derretimento das varetas de combustível do núcleo do reator, superaquecimento e explosões.

As últimas foram violentas o bastante para danificar a espessa contenção de concreto onde fica alojado o núcleo do reator e, por isso, está havendo vazamento para a atmosfera de produtos radioativos que normalmente ficam confinados nas pastilhas de combustível ou na atmosfera interna do reator.

No caso de Chernobyl, o incêndio resultante do superaquecimento espalhou material radioativo por toda a Europa porque o reator não possuía contenção hermética como a quase totalidade das centrais nucleares em operação hoje, incluindo as do Japão. O acidente que estamos presenciando é, portanto, muito mais surpreendente que o de Chernobyl.

Mas o autismo oficial nos dois acidentes foi muito semelhante. No caso de Chernobyl, o acidente foi descoberto pelos operadores de centrais nucleares suecas, que não acreditaram no que seus sistemas de monitoração *on-line* de radiação lhes indicavam insistentemente, a saber, a presença no ar de elementos radioativos artificiais que só poderiam provir de vazamento grave de instalação radioativa.

Mas não havia problemas nas centrais suecas, finlandesas ou alemãs, tendo todas elas detectado as mesmas anomalias. A direção dos ventos apontava para uma origem a leste, mas a Rússia insistiu em negar a verdade durante algum tempo. Naquele remoto ano de 1986 nem existia a internet, mas faxes e telefonemas acabaram colocando a Rússia na parede.

Ficamos sabendo há pouco de mais uma explosão na central de Fukushima pela televisão, uma hora antes do primeiro-ministro japonês.

E somos bombardeados pela mídia com os pacotes de informação sobre o tema que nos haviam sido sonegados até aqui, num tratamento de choque que só aumenta a confusão, inclusive por conta das numerosas incorreções e confusões dos textos disponíveis.

Mas o pior é não saber a real dimensão da contaminação nem o que esperar para os próximos dias. Quem sabe não diz. A nós, que não sabemos, mas

desconfiamos, resta rezar para que os esforços heroicos de um pequeno grupo de técnicos japoneses deem resultado.

E que, enquanto isso, o vento continue soprando para o mar.

Jean Remy Davée Guimarães

Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho

Universidade Federal do Rio de Janeiro

ANEXO E₂ - A ROSA DE FUKUSHIMA

No dia 11 de março de 2011 ocorreu no Japão um dos mais fortes terremotos já registrados. Pelo fato de o epicentro do tremor ter sido no oceano, formou-se um tsunami que atingiu a costa norte do país, aumentando ainda mais a devastação. A pior consequência de todos esses eventos foi o acidente nuclear nos reatores que ficam na cidade de Fukushima. Devido ao tremor de terra, estes foram desligados.

Contudo, quando se desliga um reator nuclear, ele não para de funcionar imediatamente, pois as reações nucleares continuam acontecendo. É necessário resfriá-lo para que ele cesse de operar. Para isso são utilizados geradores de energia elétrica, que acionam o sistema de refrigeração. Mas o tsunami decorrente do terremoto acabou por destruir os geradores e abalar os prédios onde estavam os reatores, impedindo o seu resfriamento e causando todos os problemas de contaminação radioativa que os japoneses estão vivenciando.

Nos reatores nucleares, que funcionam em alta temperatura, átomos de urânio têm o seu núcleo 'quebrado'. Esse processo, chamado fissão nuclear, foi descoberto por Otto Hahn (1879-1968), Lise Meitner (1878-1968) e Fritz Strassmann (1902-1980) em 1938.

Nele, um nêutron com alta energia colide com o núcleo de urânio, levando a sua quebra e à formação de um átomo de criptônio e um de bário. Com mais três nêutrons produzidos na colisão, gera-se uma reação em cadeia. Em 1942, foi produzida pelo físico italiano Enrico Fermi (1901-1954) a primeira reação nuclear em cadeia controlada.

Se o reator nuclear não é resfriado, os nêutrons produzidos nas reações continuam tendo alta energia, devido à alta temperatura. Somente quando ele é resfriado totalmente o processo cessa.

A massa combinada dos fragmentos da fissão é menor do que a massa do átomo original de urânio. A diferença entre uma e outra é convertida em energia pela famosa equação de Einstein $E = mc^2$, na qual 'm' é a massa faltante e 'c' é a velocidade da luz.

Como 'c' é um número muito grande (3×10^8 m/s), uma pequena quantidade de massa pode gerar uma grande quantidade de energia. Uma reação de quebra de um núcleo de urânio libera mais de 6 milhões de vezes mais energia do que a liberada por molécula em uma explosão de TNT – explosivos convencionais.

Quando se faz uma reação em cadeia não controlada, em que todos os átomos de urânio se fissionam, tem-se uma explosão nuclear, como aquelas que aconteceram também no Japão em 1945, em Hiroshima e Nagasaki. No caso dos reatores nucleares em Fukushima, é altamente improvável que isso ocorra devido à quantidade e ao isótopo de urânio utilizado.

Por dentro da radioatividade

Os produtos das reações de fissão nuclear geram átomos instáveis que decaem espontaneamente, ou seja, também são ‘quebrados’, gerando radioatividade. Esse fenômeno foi descoberto por Antoine Henri Becquerel (1852-1908) em 1896 em sais de urânio.

Praticamente na mesma época, o casal Pierre Curie (1859-1906) e Marie Curie (1867-1934) desenvolveu estudos para explicar a origem da radioatividade. O casal Curie e Becquerel receberam o prêmio Nobel de Física de 1903 por essa descoberta.

A radioatividade é resultante do processo de transformação do núcleo atômico. O núcleo é composto por prótons, que têm carga elétrica positiva, e por nêutrons, que não têm carga elétrica. Devido às cargas positivas dos prótons, existe uma forte força de repulsão atuando nessa região – pois cargas iguais se repelem.

Para contrabalancear esse efeito, existe a força nuclear forte, que atua tanto sobre os prótons quanto nos nêutrons. Por exemplo, o átomo de urânio, que é o elemento com maior núcleo atômico, tem 92 prótons e 143 nêutrons, na sua forma mais abundante.

Todos os elementos com mais de 82 prótons – quantidade correspondente ao átomo de chumbo – são radioativos. Existem outros materiais com menos prótons que também são instáveis, mas apenas alguns dos seus isótopos – átomos com número igual de prótons e diferente de nêutrons.

Um dos isótopos do cobalto, por exemplo, que possui um nêutron a mais do que o mais abundante na natureza, decai e se transforma em um átomo de níquel. O que ocorre nesses casos é que os átomos com maior número de nêutrons se tornam instáveis, levando à desintegração de seu núcleo.

Quando o urânio começa a se desintegrar, ele se transforma em tório – que tem 90 prótons no seu núcleo –, emitindo uma partícula alfa, que corresponde a dois prótons e dois nêutrons, exatamente a composição do núcleo do átomo de hélio. Ao emitir essa partícula, o núcleo também libera radiação de alta energia, os chamados raios gama. Essa radiação é que se torna letal, pois consegue penetrar em nosso

organismo e pode desestruturar o núcleo das células. Essa desestruturação celular, por sua vez, pode levar ao aparecimento de câncer.

Os perigos reais

Dessa maneira, o grande perigo em Fukushima é que os elementos radioativos escapem do reator e contaminem tudo ao seu redor, pois este fica continuamente emitindo radiação de alta energia, altamente perigosa.

A contaminação radioativa é diferente da irradiação. Uma contaminação, radioativa ou não, caracteriza-se pela presença indesejável de um material em determinado local, onde este não deveria estar. A irradiação é a exposição de um objeto ou um corpo à radiação. Ela ocorre a uma distância determinada, sem necessidade de um contato direto com o material radioativo. Irradiar, portanto, não significa contaminar. No entanto, o local onde ocorre contaminação com material radioativo vai ser irradiado continuamente.

Os perigos da manipulação de materiais radioativos ou a utilização da energia nuclear, como vimos, são muito grandes. Mesmo com todas as preocupações e medidas de segurança, há sempre o risco de acidentes, como este que aconteceu no Japão e outros que ocorreram anteriormente na antiga União Soviética e nos Estados Unidos.

O Brasil já teve problemas de contaminação de materiais radioativos, como o acidente que aconteceu em Goiânia em 1987, quando algumas gramas de césio-137 vazaram de um equipamento radioterapêutico e causaram várias mortes (leia matéria sobre os impactos do acidente ainda hoje).

Vinicius de Moraes, em uma de suas belas poesias, lembra-nos da explosão da bomba atômica em Hiroshima e Nagasaki e de suas consequências, sugerindo que a explosão nuclear forma no céu uma espécie de flor.

Em seus versos:

Mas, oh, não se esqueçam/ Da rosa da rosa/ Da rosa de Hiroshima/ A rosa hereditária/ A rosa radioativa/ Estúpida e inválida/ A rosa com cirrose/ A anti-rosa atômica/ Sem cor sem perfume/ Sem rosa, sem nada.

Em Fukushima, não houve explosão atômica, mas levará um bom tempo para que as rosas voltem a florescer naquele lugar.

Adilson de Oliveira

Departamento de Física - Universidade Federal de São Carlos

APÊNDICE DO PLANO DE AULA – ETAPA 2**APÊNDICE A₂ – QUESTÕES SOBRE OS TEXTOS DE DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA**

Questionário prévio – 3º e 4º períodos

Questões sobre o texto "A energia nuclear e seus usos na sociedade" (GONÇALVES E ALMEIDA, 2005)

1) "Toda tecnologia avançada pode ser usada para fins pacíficos ou bélicos. Isso ocorre com a eletrônica, a nanotecnologia, a biologia, a engenharia genética e também com a energia nuclear." (GONÇALVES E ALMEIDA, 2005). Marque verdadeiro (V) ou falso (F) nas afirmações, abaixo, sobre a energia nuclear.

Os acidentes ocorridos com reatores nos Estados Unidos e na Ucrânia não prejudicaram uma discussão ponderada sobre os riscos e os benefícios advindos dessa tecnologia.

Inúmeras atividades presentes em nosso dia-a-dia empregam, direta ou indiretamente e de modo seguro, as radiações nucleares.

As técnicas nucleares têm sido anualmente responsáveis pela cura ou prevenção do câncer em milhões de pessoas.

A energia elétrica produzida em reatores nucleares gera quase 20% desse tipo de energia no mundo e é uma das áreas que menos se preocupam com a segurança.

Além da área de saúde e da geração de eletricidade, a energia nuclear tem sido amplamente empregada no meio ambiente, na indústria e na pesquisa.

Assinale a alternativa com a sequência correta:

F, F, V, V, F

V, V, F, V, F

F, V, V, F, V

F, V, F, F, V

2) Marque a alternativa INCORRETA sobre o núcleo atômico.

Podemos considerar o núcleo como composto de prótons, com carga elétrica positiva, e nêutrons, sem carga. Ambos são denominados genericamente núcleons.

A letra Z que caracteriza cada um dos átomos, naturais ou artificiais, representa o número de prótons no núcleo.

A maior parte da massa do átomo está concentrada em seu núcleo, que é muito pequeno (10^{-12} cm a 10^{-13} cm).

() Os prótons, por terem carga diferentes, se repelem fortemente devido à força eletrostática. Isso tenderia a fazer com essas partículas se afastassem umas das outras, o que inviabilizaria o modelo.

Gabarito:

1) F, V, V, F, V

2) Os prótons, por terem carga diferentes, se repelem fortemente devido à força eletrostática. Isso tenderia a fazer com essas partículas se afastassem umas das outras, o que inviabilizaria o modelo

Questões sobre o texto "Energia nuclear: ontem e hoje" (TAVARES, 2013)

1) Marque a alternativa CORRETA sobre o primeiro reator nuclear da história.

() O primeiro reator nuclear da história teve seu projeto desenvolvido com total conhecimento da população.

() O pequeno grupo de cientistas liderados pelo físico italiano Enrico Fermi trabalharam em um grande laboratório da época.

() O reator consistia de um empilhamento de blocos de grafite, embebidos de óxido de urânio, bem como pequenas barras de urânio metálico.

() A equipe de cientistas responsáveis não tinha conhecimento que seus trabalhos tornaria possível o desenvolvimento de armas nucleares.

2) "As circunstâncias daquele momento fizeram com que essa energia fosse primeiramente empregada na guerra, com a produção de três bombas atômicas – duas lançadas sobre o Japão, em agosto de 1945, pondo fim ao conflito." (TAVARES, 2013). Marque verdadeiro (V) ou falso (F) nas afirmações abaixo sobre o início da geração de energia nuclear.

() Os reatores nucleares, a partir de 1950, passaram a ser construídos com propósitos pacíficos.

() Na década de 1950, surgiram vários reatores para gerar eletricidade. O pioneiro foi Obminsk (Rússia), em 1954, e, dois anos depois, Calder Hall (Reino Unido), primeira usina nuclear de larga escala, que funcionou por 50 anos.

() Em 1954, foi lançado ao mar o primeiro submarino com propulsão nuclear, o Nautilus, dos EUA.

() Mais potentes e tecnologicamente avançadas, essas máquinas começaram a produzir diversos elementos radioativos que foram usados na medicina nuclear para diagnóstico e tratamento de doenças.

Assinale a alternativa com a sequência correta:

V, F, F, V

V, V, V, F

V, V, V, V

F, F, F, V

3) Assinale a alternativa INCORRETA sobre a energia nuclear no Brasil.

No Brasil foram criados, a partir de 1949, institutos e centros de pesquisa voltados fundamentalmente para as questões nucleares.

Em 1957, o primeiro reator nuclear da América Latina, o IEA-R1, entrou em operação na Universidade de São Paulo

Em 1988, o Brasil inaugurou seu primeiro reator nuclear genuinamente nacional, o Ipen/MB-01, resultado de parceria entre pesquisadores do Ipen e da Marinha do Brasil.

Os primeiros reatores nucleares do país eram voltados tanto para a produção de radiofármacos como para geração energia nuclear.

Atualmente, o Brasil conta com duas unidades nucleares de grande porte para geração de eletricidade.

Gabarito:

1) O reator consistia de um empilhamento de blocos de grafite, embebidos de óxido de urânio, bem como pequenas barras de urânio metálico.

2) V, V, V, V

3) Os primeiros reatores nucleares do país eram voltados tanto para a produção de radiofármacos como para geração energia nuclear.

Questões sobre o texto "O vaivém da fusão nuclear" (SANTOS, 2009).

1) Marque a afirmação INCORRETA sobre o processo de fusão nuclear em laboratório (confinamento magnético):

Nos laboratórios terrestres, existem algumas alternativas para manter os núcleos próximos. A alternativa que mais despertou interesse da comunidade científica é o confinamento magnético.

O confinamento magnético é hoje sinônimo de tokamak. Esse equipamento consiste em um toroide metálico, em volta do qual várias bobinas condutoras são dispostas.

No interior do toroide, uma mistura de deutério e trítio é aquecida até que se transforme em plasma, formado por íons positivos e elétrons.

() O plasma fica confinado em todas as laterais do toroide possibilitando a fusão nuclear.

2) "Com exceção da energia escura, cuja origem ainda é um mistério, virtualmente toda a energia do universo surge em processos de fusão nuclear." (SANTOS, 2009). Marque verdadeiro (V) ou falso (F) nas alternativas abaixo:

() No Sol e em outras estrelas, a fusão nuclear inicia pela fusão de dois prótons, que gera um dêuteron (núcleo do deutério, um isótopo do hidrogênio), um elétron e um neutrino, responsável pela liberação de energia.

() Depois, o dêuteron combina-se com outro próton para formar o hélio-3 (composto por dois prótons e um nêutron), que, por sua vez, se junta a outro hélio-3 para formar o hélio-4 (composto por dois prótons e dois nêutrons) e dois prótons. As combinações continuam a ocorrer sucessivamente, até que se formem todos os elementos químicos.

() Em todas essas reações, a energia liberada pode ser calculada a partir da famosa equação de Einstein: $E = mc^2$

() A massa do dêuteron é maior do que a soma das massas do próton e do nêutron. Essa massa que "falta" é transformada em energia.

Assinale a alternativa com sequência correta:

() V, V, V, F

() V, F, V, V

() F, F, F, V

() V, F, V, F

3) "A fusão nuclear voltou a ser assunto para o grande público em 1992, quando a Comunidade Europeia, a Coreia do Sul, a China, os Estados Unidos, o Japão e a Rússia decidiram construir o Reator Termonuclear Experimental Internacional (Iter, na sigla inglesa)." (SANTOS, 2009). Marque verdadeiro (V) ou falso (F) nas afirmações abaixo sobre o ITER.

() O ITER é considerado o último passo em direção ao teste final de exequibilidade da fusão nuclear em escala industrial, conhecido como Demo. Depois desse teste, deverão surgir instalações industriais que permitirão a realização desse processo em larga escala.

() O princípio da fusão nuclear é estonteantemente simples e sua utilização em artefatos industriais é muito mais simples do que se imaginava.

() Até o processo de fusão nuclear chegar ao estágio industrial, muitas dificuldades técnicas terão que ser superadas, que podem ter consequências catastróficas.

() O ITER surgiu depois que muitos laboratórios aceitaram o desafio da busca pela fusão nuclear, mas perceberam que só um empreendimento internacional seria capaz de suplantá-lo.

Assinale a alternativa com a sequência correta:

() V, V, F, F

() F, F, V, F

() V, V, F, V

() V, F, V, V

Gabarito:

1) O plasma fica confinado em todas as laterais do toroide possibilitando a fusão nuclear.

2) V, V, V, F

3) V, F, V, V

Questionário prévio – 5º e 6º períodos

Questões sobre o texto "Japão: o impensável aconteceu" (GUIMARÃES, 2011).

1) Na geração de energia por tecnologia nuclear, o principal problema e perigo é a radioatividade. Nas afirmações abaixo marque verdadeiro (V) ou falso (F):

() Para saber se está contaminado um exame simples é o suficiente.

() Nenhum de nossos sentidos é capaz de perceber a radioatividade, natural ou artificial.

() As emissões radioativas podem ser radiações como o raio gama, de natureza semelhante à da luz, mas invisível e de energia muito superior, ou fluxos de partículas, como alfa ou beta, que têm massa e carga elétrica.

() Em caso de exposição a uma fonte externa ao corpo, as radiações gama não serão motivo de maior preocupação.

() Em caso de contaminação interna por inalação ou ingestão de ar, alimentos e água contaminados, as emissões alfa e beta causarão mais danos do que as gama.

Assinale a sequência correta:

() V, V, F, V, F

() F, F, V, F, V

() F, V, F, V, V

() F, V, V, F, V

2) Os acidentes de Chernobyl e de Fukushima tem grandes diferenças. Assinale a alternativa abaixo que NÃO indica uma diferença entre os acidentes.

() Em Fukushima não houve guerra ou crasso erro humano como no acidente de Chernobyl, mas sim a improvável combinação de um terremoto de alta intensidade, seguido de um tsunami de proporções bíblicas.

() Em Chernobyl o reator não possuía contenção hermética, já em Fukushima os reatores possuíam.

() A Agência Internacional de Energia Atômica e o governo norte-americano foram os porta-vozes improvisados que interpretam e traduzem os poucos sinais emitidos pelas autoridades responsáveis.

() Na época do acidente de Chernobyl demorou para as informações chegarem ao mundo todo, já no acidente de Fukushima foi muito mais rápido.

3) Marque a alternativa que conta a principal semelhança entre os acidentes de Chernobyl e de Fukushima.

() O problema é que, se por um lado é difícil comunicar riscos em geral e riscos nucleares em particular, não fazê-lo acaba justificando e amplificando a desconfiança e paranoia.

() Para detectar emissores alfa na atmosfera são necessários equipamentos e cálculos muito complexos.

() As últimas explosões foram violentas o bastante para danificar a espessa contenção de concreto onde fica alojado o núcleo do reator e provocar vazamento para a atmosfera de produtos radioativos.

() As atitudes erradas e equivocadas das autoridades responsáveis nos dois acidentes foram muito semelhantes.

Gabarito:

1) F, V, V, F, V

2) A Agência Internacional de Energia Atômica e o governo norte-americano foram os porta-vozes improvisados que interpretam e traduzem os poucos sinais emitidos pelas autoridades responsáveis.

3) As atitudes erradas e equivocadas das autoridades responsáveis nos dois acidentes foram muito semelhantes.

Questões sobre o texto "A rosa de Fukushima" (OLIVEIRA, 2011)

1) O maior perigo em Fukushima foi a contaminação radioativa. Nas afirmações abaixo marque verdadeiro (V) ou falso (F).

O reator da usina de Fukushima emitia radiação de alta energia, altamente perigosa.

A contaminação radioativa é igual a irradiação.

Os perigos da manipulação de materiais radioativos ou a utilização da energia nuclear não são muitos.

A irradiação é a exposição de um objeto ou um corpo à radiação. Ela ocorre a uma distância determinada, sem necessidade de um contato direto com o material radioativo.

Marque a alternativa com a sequência correta:

V, V, V, F

V, F, F, V

F, F, V, F

F, F, V, V

2) "No dia 11 de março de 2011 ocorreu no Japão um dos mais fortes terremotos já registrados. Pelo fato de o epicentro do tremor ter sido no oceano, formou-se um tsunami que atingiu a costa norte do país, aumentando ainda mais a devastação. A pior consequência de todos esses eventos foi o acidente nuclear nos reatores que ficam na cidade de Fukushima. Devido ao tremor de terra, estes foram desligados." (OLIVEIRA, 2011). Marque a alternativa abaixo que NÃO está relacionada ao que aconteceu nos reatores da usina nuclear de Fukushima.

Quando se desliga um reator nuclear, ele não para de funcionar imediatamente, pois as reações nucleares continuam acontecendo. É necessário resfriá-lo para que ele cesse de operar.

Quando se faz uma reação em cadeia não controlada, em que todos os átomos de urânio se fissionam, tem-se uma explosão nuclear.

Se o reator nuclear não é resfriado, os nêutrons produzidos nas reações continuam tendo alta energia, devido à alta temperatura.

Os reatores são resfriados por um sistema de refrigeração, que tiveram seus próprios geradores de energia elétrica danificados, com isso, impedindo o seu resfriamento e causando todos os problemas de contaminação radioativa.

3) A radioatividade foi descoberta por Antoine Henri Becquerel e o casal Curie desenvolveram estudo sobre a origem da radioatividade. Marque verdadeiro (V) ou falso (F) nas alternativas abaixo:

() A radioatividade é resultante do processo de transformação do núcleo atômico.

() Todos os elementos com mais de 82 prótons (átomo de chumbo) não são radioativos.

() Os raios gama podem ser letais, pois consegue penetrar em nosso organismo e pode desestruturar o núcleo das células. Essa desestruturação celular, por sua vez, pode levar ao aparecimento de câncer.

() Quando o urânio começa a se desintegrar, ele se transforma em tório emitindo uma partícula beta, que corresponde a dois prótons e dois elétrons.

Assinale a alternativa com a sequência correta:

() F, F, V, F

() F, V, F, F

() V, F, V, F

() V, V, V, F

Gabarito:

1) V, F, F, V

2) Quando se faz uma reação em cadeia não controlada, em que todos os átomos de urânio se fissionam, tem-se uma explosão nuclear.

3) V, F, V, F

APÊNDICE C - PLANO DE AULA - FÍSICA DE PARTÍCULAS - ETAPA 3**PLANO DE AULA**

DADOS DE IDENTIFICAÇÃO

Nome da instituição: Escola Estadual de Ensino Médio Assunção

Nível: *Ensino Médio*

Componente curricular: *Física*

Carga horária: 2 períodos de 55 minutos cada

Série: 3^a

Data:

Professor(a): Régis Roberto Finimundi

TÍTULO:

Física de Partículas – Modelo Padrão

OBJETIVO GERAL:

Compreender a evolução do entendimento estrutura da matéria.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Analisar a cronologia das descobertas de partículas;
 - Entender a importância dos aceleradores de partículas;
 - Compreender os princípios da estrutura da matéria pelo Modelo Padrão.
-

CONTEÚDO PROGRAMÁTICO:

- Primeiras partículas descobertas;
 - Aceleradores de partículas;
 - Modelo Padrão;
 - Antipartículas.
-

METODOLOGIA E RECURSOS DIDÁTICOS:

Materiais e recursos utilizados:

- Computador
- Google Meet (GOOGLE, 2017)
- Google Classroom (GOOGLE, 2015)
- Google Forms (GOOGLE, 2020?)
- Kahoot! (KAHOOT!, 2012?)
- Um texto de divulgação científica (em anexo a este plano)

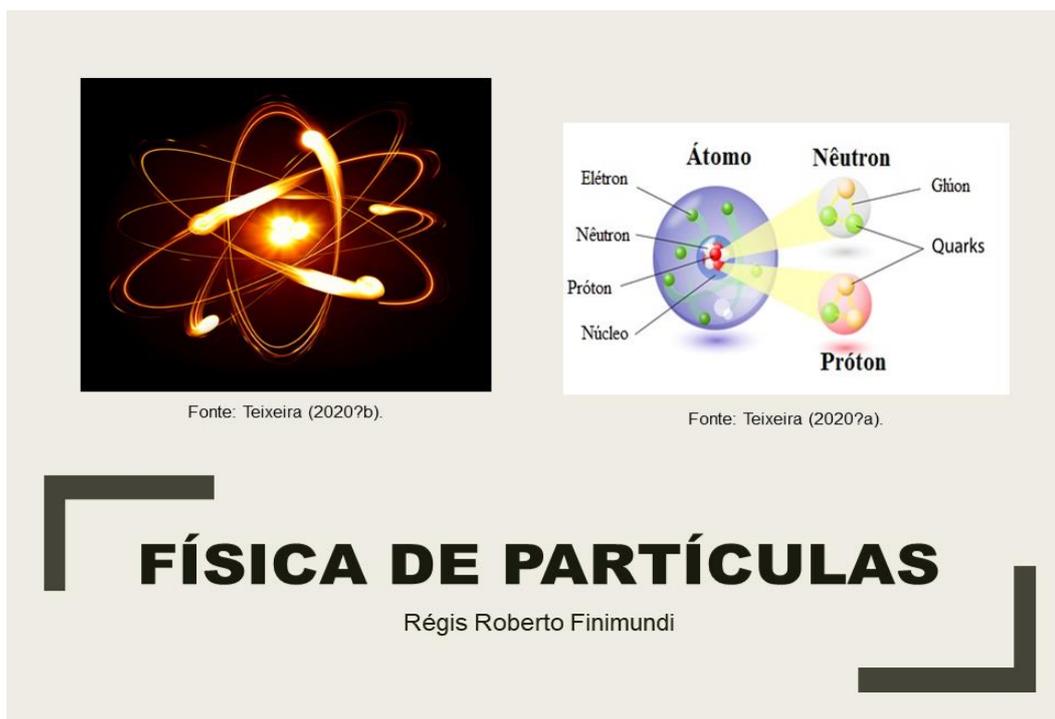
Os slides, utilizados nas aulas, bem como o link do texto de divulgação científica, serão disponibilizados para os alunos pelo Google Classroom (GOOGLE, 2015), anteriormente às aulas.

A primeira aula será ministrada por videoconferência, no Google Meet (GOOGLE, 2017). Os alunos deverão que ler o texto anteriormente às aulas e responder às perguntas sobre ele, disponíveis no Apêndice A₃ deste plano. Para isso, será utilizado um formulário do Google Forms (GOOGLE, 2020?).

O texto de divulgação científica, "Para apreciar a festa do LHC" (SANTOS, 2008), será discutido durante toda a aula. Serão utilizados slides para complementar o conteúdo já lido no texto.

No início na aula, serão apresentadas as primeiras partículas descobertas, a importância dos aceleradores de partículas e um destaque à partícula méson π , que teve participação de um físico brasileiro na descoberta experimental. Os slides estão apresentados nas figuras 1 a 5.

Figura 1 – Física de partículas



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 2 – Primeiras partículas

O diagrama superior mostra um núcleo central contendo nêutrons e prótons, com elétrons orbitando. O diagrama inferior mostra uma partícula elementar em movimento, com uma trajetória curva e uma onda associada.

Fonte: Fogaça (2020?).

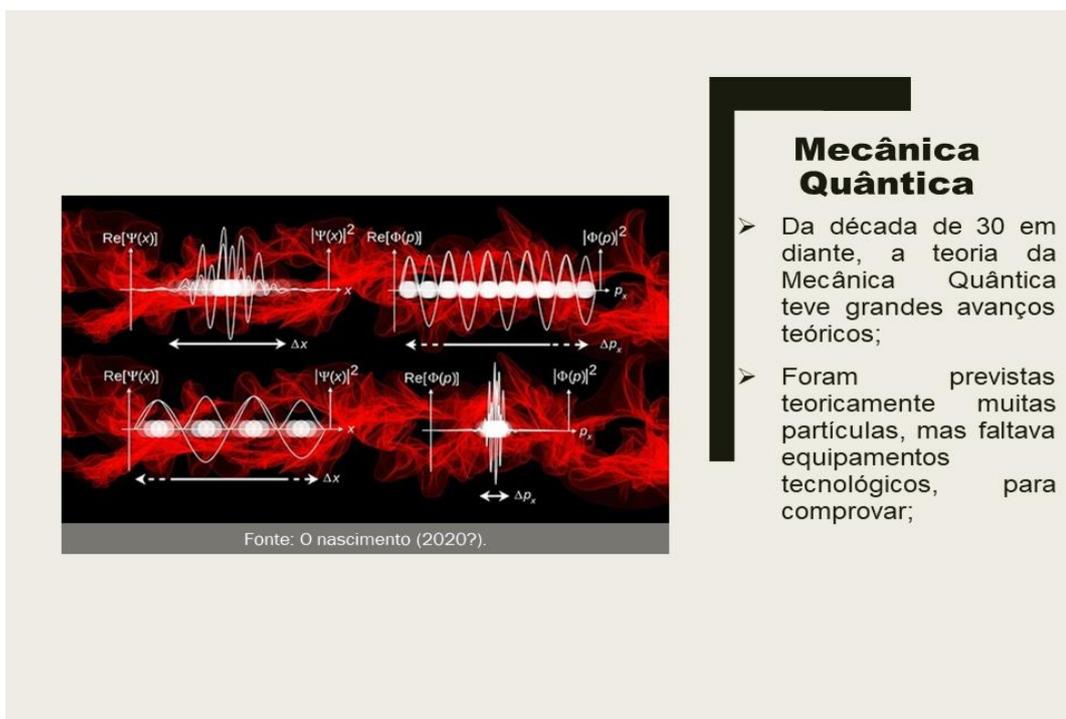
Fonte: Cerqueira (2020?).

Primeiras partículas

- Elétron – descoberto por Thomson, em 1897 – primeira partícula elementar;
- Fóton – proposto por Einstein, em 1905, descoberto em 1923 no experimento do efeito Compton;
- Próton – descoberto por Rutherford, em 1919;
- Nêutron – descoberto por J. Chadwick, em 1932;
- Pósitron – descoberto por Carl Anderson, em 1932 – primeira antipartícula.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 3 – Mecânica Quântica



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 4 – Aceleradores de partículas

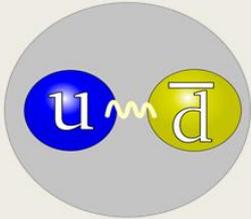
Aceleradores de Partículas

- A partir da metade do século XX, iniciou a construção e utilização de aceleradores de partículas, por serem muito potentes.
- Com isso, ocorreu a descoberta de muitas partículas, algumas inéditas e outras que já eram previstas teoricamente.

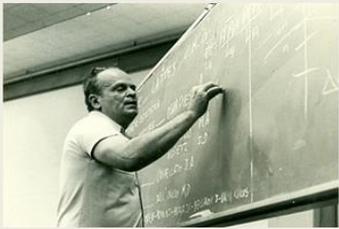
Fonte: Caires (2019).

Fonte: Müller (2018).

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 5 – Méson π 

Fonte: Píon (2019).



Fonte: César (2020?).

Méson π (píon)

- A partícula foi prevista pelo físico japonês Hideki Yukawa, em 1934;
- Foi descoberta experimentalmente em 1947, por um grupo de cientistas;
- No grupo, entre os principais físicos, estava um brasileiro, César Lattes.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Posteriormente, será estudada a principal teoria da Física de partículas, o Modelo Padrão. Serão explicados os dois grupos de partículas elementares do tipo férmions, subdivididos em quarks e léptons, e os bósons. Também serão apresentados os hádrons, que se dividem em dois grupos: bárions e mésons. Para tanto serão usados os slides das figuras 6 a 11.

Figura 6 – Modelo Padrão - 1

Modelo Padrão

- A partir da década de 60, com grande progresso tecnológico e com a união de muitas pesquisas e descobertas, foi desenvolvida a teoria do Modelo Padrão;
- A teoria busca explicar a natureza da matéria (partículas elementares) e de suas interações;
- As partículas elementares, do tipo férmions (spin 1/2), se dividem em dois grupos:
 - Quarks (só existem agrupados)
 - Léptons (podem existir individualmente)
- As 4 interações estão relacionadas aos bósons (spin inteiro);

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 7 – Modelo Padrão - 2

Modelo Padrão

Modelo Padrão das Partículas Elementares

| | três gerações da matéria (férmions) | | | interações / partículas mensageiras (bósons) | |
|----------------|--|---|---|--|--|
| | I | II | III | | |
| massa | $\approx 2.2 \text{ MeV}/c^2$ | $\approx 1.28 \text{ GeV}/c^2$ | $\approx 173.1 \text{ GeV}/c^2$ | 0 | $\approx 124.97 \text{ GeV}/c^2$ |
| carga | $\frac{2}{3}$ | $\frac{2}{3}$ | $\frac{2}{3}$ | 0 | 0 |
| spin | $\frac{1}{2}$ | $\frac{1}{2}$ | $\frac{1}{2}$ | 1 | 0 |
| | u up | c charm | t top | g glúon | H higgs |
| QUARKS | d down | s strange | b bottom | γ fóton | |
| | $\approx 4.7 \text{ MeV}/c^2$ | $\approx 96 \text{ MeV}/c^2$ | $\approx 4.18 \text{ GeV}/c^2$ | 0 | |
| | $-\frac{1}{3}$ | $-\frac{1}{3}$ | $-\frac{1}{3}$ | 0 | |
| | $\frac{1}{2}$ | $\frac{1}{2}$ | $\frac{1}{2}$ | 1 | |
| | e elétron | μ múon | τ tau | Z bóson Z | |
| LÉPTONS | $\approx 0.511 \text{ MeV}/c^2$ | $\approx 105.66 \text{ MeV}/c^2$ | $\approx 1.7768 \text{ GeV}/c^2$ | $\approx 91.19 \text{ GeV}/c^2$ | |
| | -1 | -1 | -1 | 0 | |
| | 0 | 0 | 0 | 1 | |
| | $\frac{1}{2}$ | $\frac{1}{2}$ | $\frac{1}{2}$ | ± 1 | |
| | ν_e neutrino do elétron | ν_μ neutrino do múon | ν_τ neutrino do tau | W bóson W | |
| | $< 1.0 \text{ eV}/c^2$ | $< 0.17 \text{ MeV}/c^2$ | $< 18.2 \text{ MeV}/c^2$ | $\approx 80.39 \text{ GeV}/c^2$ | |
| | 0 | 0 | 0 | ± 1 | |
| | 0 | $\frac{1}{2}$ | $\frac{1}{2}$ | 1 | |
| | | | | | BÓSONS DE GAUGE BÓSONS VETORIAIS |
| | | | | | BÓSONS ESCALARES |

Fonte: Modelo (2020).

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 8 – Quarks

Fonte: Física (2014).

Quarks

- Quarks são organizado em três pares:
 - *up* e *down*
 - *top* e *bottom*
 - *charm* e *strange*
- Não podem ser observados isolados, só unidos, formando *hádrons*;
- Hádrons são divididos em dois grupos:
 - Bárions
 - Mésons

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 9 – Bárions

Fonte: Albuquerque (2013).

Fonte: A massa (2013).

Bárions

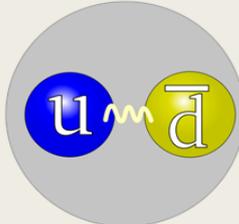
- São férmions de spin fracionário ($1/2, 3/2, \dots$);
- São formados por três quarks;
- Os mais conhecidos são o próton e o nêutron;
- Os prótons são formados por dois up e um down (uud);
- Os nêutrons são formados por um up e dois downs (udd).

Fonte: Elaborada pelo autor.

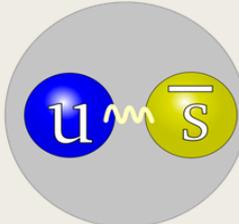
Figura 10 – Mésons

Mésons

- São bósons de spin inteiro;
- São formados por um quark e um antiquark;
- Exemplos de mésons: mésons π , mésons K;
- Tem três tipos de mésons π :
 - Mésons π^+ : formados por um up e anti down;
 - Mésons π^- : formados por um down e um anti up;
- Mésons K são formados por um up e um anti strange;
- A família de mésons é muito numerosa.



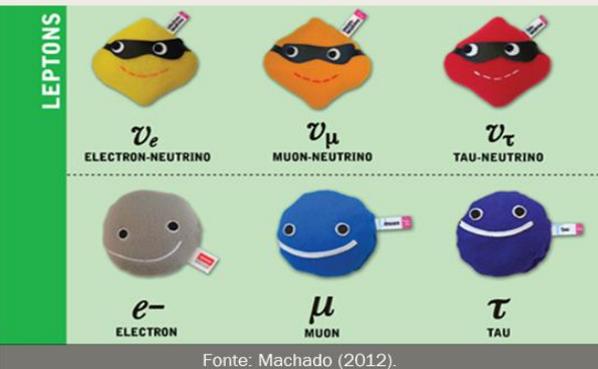
Fonte: Pion (2019).



Fonte: Káon (2020).

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 11 – Léptons



Fonte: Machado (2012).

Léptons

- Podem ser de dois tipos:
- Com carga elétrica:
Elétron, Múon e Tau;
- Sem carga elétrica:
Neutrino do elétron,
Neutrino do múon e
Neutrino do tau;

Fonte: Elaborada pelo autor.

Após, ainda segundo o Modelo Padrão, serão estudadas as interações fundamentais da natureza, gravitacional, eletromagnética, nuclear fraca, nuclear forte e as respectivas partículas mediadoras. Também será abordado o bóson de Higgs, a última partícula descoberta do Modelo Padrão, conforme os slides das figuras 12 a 14.

Figura 12 – Interações fundamentais - 1

O diagrama apresenta as quatro interações fundamentais da natureza em um fundo espacial com uma estrela brilhante no centro. Cada interação é representada por um ícone e um rótulo:

- G**: Força da Gravidade (ícone: letra G dentro de uma grade).
- EM**: Força Eletromagnética (ícone: letra EM dentro de um círculo com raios).
- SF**: Força Nuclear Forte (ícone: letra SF dentro de uma esfera colorida).
- WF**: Força Nuclear Fraca (ícone: letra WF dentro de um símbolo de radiação).

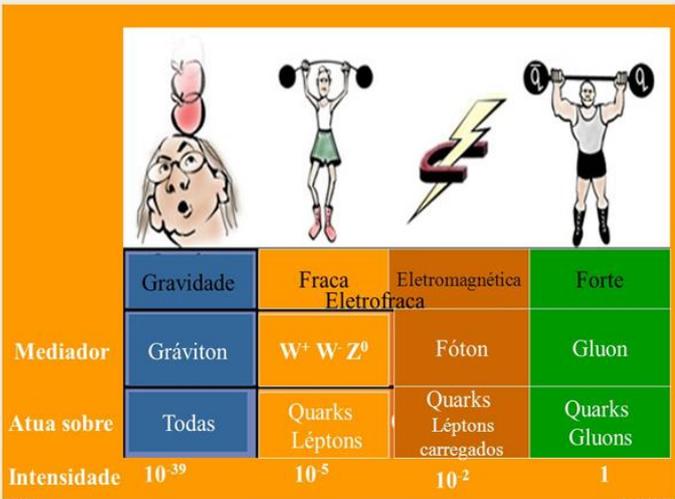
Abaixo do diagrama, há uma citação: Fonte: Sérvulo (2014).

Interações fundamentais

- Existem 4 interações (forças) fundamentais da natureza;

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 13 – Interações fundamentais - 2



| | | | | |
|-------------|-------------------|--|---------------------------------|------------------|
| | Gravidade | Fracamente Eletrofraca | Eletromagnética | Forte |
| Mediador | Gráviton | W ⁺ W ⁻ Z ⁰ | Fóton | Gluon |
| Atua sobre | Todas | Quarks Léptons | Quarks Léptons carregados | Quarks Gluons |
| Intensidade | 10 ⁻³⁹ | 10 ⁻⁵ | 10 ⁻² | 1 |

Fonte: Waga (2015?).

Interações fundamentais

- As interações são mediadas por bósons.

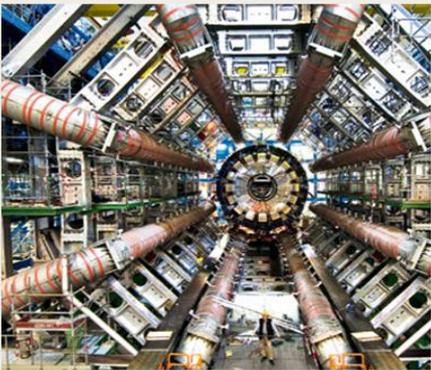
Gráviton ainda não foi comprovado experimentalmente.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 14 – Bósons de Higgs

Bóson de Higgs

- O físico inglês Peter Higgs, na década de 60, propôs a existência do bóson de Higgs;
- Essa partícula é responsável pela massa das outras partículas;
- Os primeiros indícios do bóson de Higgs foram identificados no LHC, em 2012.



Fonte: LHC (2016).



Fonte: LHC (2009).

Fonte: Elaborada pelo autor.

Por último, serão analisadas as principais antipartículas, a diferença entre partícula e antipartícula, a consequência do contado delas e serão sugeridas algumas leituras complementares, conforme demonstram os slides das figuras 15 e 16.

Figura 15 – Antipartículas

+ ● Próton
 ○ ● Nêutron
 - ● Elétron
 - ● Antipróton
 ○ ● Antinêutron
 + ● Pósitron

Fonte: Júnior (2020?).

Antipartículas

- Toda partícula tem sua antipartícula, tendo a mesma massa e energia mas a carga tem sinal contrário;
- A antipartícula mais conhecida é o pósitron;
- Quando uma partícula e sua antipartícula se aproximam muito, se aniquilam e liberam energia.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 16 – Textos para leitura complementar

Textos para leitura complementar

Sobre o Discreto Charme das Partículas Elementares

.....
 Maria Cristina Batoni Boddala
 Instituto de Física Teórica, UNESP
 e-mail: maboddala@if.usp.br

Quantas e quais são as partículas elementares que compõem a matéria observada no nosso universo? Não exatamente usando o conceito de partículas elementares (que é moderno), durante milhares de anos temos buscado uma resposta a essa pergunta que aparentemente parece simples. Os gregos já tinham ideia de que a matéria era composta de átomos (do próprio grego indivisível). Essa concepção de indivisibilidade sobreviveu por mais de 25 séculos e somente no ano de 1897 o átomo foi "quebrado" pelo físico inglês Joseph John Thomson e a primeira partícula elementar foi descoberta: o elétron. A última partícula elementar essencial (bem menos conhecida) foi o neutrino do tau em 2000, por uma equipe de físicos do Fermi National Laboratory (Fermilab), Estados Unidos.

A física moderna precisou de 103 anos para descobrir e classificar todas essas pequeninitas partículas fundamentais. O modelo que classifica as partículas elementares começou a ser formulado teoricamente em meados da década de 1960, mas só foi coroado de êxito duas décadas depois, no final de 1982, com a fantástica descoberta dos bósons mediadores (W⁺, W⁻, Z⁰) da interação fraca. Recomendamos fortemente que, antes de o leitor prosseguir nessa leitura, os trabalhos de Ostermann (2001) e Moreira (2004), lá publicadas nesta mesma

Disponível em:
<http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol16/Num1/charme.pdf>

Partículas e Interações

.....
 Marco Antonio Moreira
 Instituto de Física da UFPA, C.P.
 15051-970/Porto Alegre - RS
 moreira@if.ufpa.br
 www.if.ufpa.br/~moreira

Introdução
 Este texto procura dar, através da física dos mapas conceituais (Moreira e Buchweitz, 1987), uma visão introdutória ao assunto partículas elementares e interações fundamentais. A intenção é de mostrar que esse tema pode ser abordado, de maneira acessível, sem muitas ilustrações que acabam tolhendo a imaginação dos alunos e até mesmo dificultando a aprendizagem de certos conceitos. Essa introdução

.....
 espécie pode apresentar-se em três "edições" chamadas cor: 1 (vermelha), 2 (verde) e 3 (azul). Haveria então 18 quarks distintos. Porém, como cada um deles tem a sua antipartícula, o número total de quarks é 36 (uma antipartícula tem a mesma massa e o mesmo spin² da partícula em questão, porém carga oposta). Quarks têm carga elétrica fracionária (+2/3 para os sabores u, c e t e -1/3 para os sabores d, s e b), mas nunca foram detectados livres; aparentemente, estão sempre

Uma visão introdutória ao assunto partículas elementares e interações fundamentais pode ser abordado, de maneira acessível, de forma a transmitir aos alunos a ideia de um assunto excitante, colorido, estranho e

Disponível em:
<http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol5/Num2/v5n1a03.pdf>

Fonte: Elaborada pelo autor.

AVALIAÇÃO

A avaliação da aprendizagem será verificada por meio da observação do comprometimento, atenção, participação na aula e através da realização de um jogo pelo Kahoot! (KAHOOT!, 2012?). Essa atividade ocorrerá durante a segunda aula, que também será ministrada por videoconferência, pelo Google Meet. Os alunos responderão às perguntas abaixo, no jogo.

- 1) Qual foi a primeira partícula a ser descoberta?
 - () Pósitron
 - () Próton
 - () Elétron
 - () Quarks
- 2) Qual é a partícula cuja descoberta teve a participação do físico brasileiro Cesar Lattes?
 - () Próton
 - () Méson π
 - () Bárions
 - () Mésons
- 3) Qual é o tipo de partícula elementar que só podem ser encontradas agrupadas?
 - () Quarks
 - () Léptons
 - () Mésons
 - () Pósitrons
- 4) Quais são os dois bárions mais conhecidos?
 - () Nêutron e Méson
 - () Fóton e Pósitron
 - () Elétron e Próton
 - () Próton e Nêutron
- 5) Quais são as partículas que combinadas formam os mésons?
 - () Quark e Antiquark
 - () Bárion e Antibárion
 - () Próton e Anti-próton

Quark e Lépton

6) No Modelo Padrão como o elétron pode ser classificado?

Bóson

Bárion

Lépton

Neutrino

7) Qual é o bóson mediador que ainda não foi descoberto experimentalmente?

Fóton

Bóson W

Quark

Gráviton

8) Qual partícula, no Modelo Padrão, é responsável pela massa das outras partículas?

Quark

Bóson de Higgs

Up

Bóson Z

9) Qual é a antipartícula mais conhecida?

Antipróton

Pósitron

Antiquark

Antiméson

Gabarito:

1) Elétron

2) Méson π

3) Quarks

4) Próton e Nêutron

5) Quark e Antiquark

6) Lépton

7) Gráviton

8) Bóson de Higgs

9) Pósitron

BIBLIOGRAFIAS

- A MASSA do próton. *In*: ASTRONOO. [S. I.], 2013. Disponível em: <http://www.astronoo.com/pt/noticias/massa-proton.html>. Acesso em: 30 jun. 2020.
- ABDALLA, Maria Cristina Batoni. O Discreto Charme das Partículas Elementares. **Física na Escola**, v. 6, n. 1, 2005. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol6/Num1/charme.pdf>. Acesso em: 06 jun. 2020.
- ALBUQUERQUE, Alberto. Nêutrons: Quando são estáveis e quando não?. *In*: **Blog pessoal Alberto Albuquerque**. [S. I.], 2013. Disponível em: <https://albertoalbuquerque.wordpress.com/2013/09/17/neutrons-quando-sao-estaveis-e-quando-nao/>. Acesso em: 30 jun. 2020.
- CAIRES, Luiza. Maior acelerador de partículas do mundo passa por um upgrade. O que vem por aí?. *In*: JORNAL da USP. [São Paulo], 2019. Disponível em: <https://jornal.usp.br/ciencias/ciencias-exatas-e-da-terra/maior-acelerador-de-particulas-do-mundo-passa-por-um-upgrade-o-que-vem-por-ai/>. Acesso em: 30 jun. 2020.
- CERQUEIRA, Merelyn. Cientistas estão moldando fótons para desvendar os segredos da luz. *In*: JORNAL ciência. [S. I.], (2020?). Disponível em: <https://www.jornalciencia.com/cientistas-estao-moldando-fotons-para-desvendar-os-segredos-da-luz/>. Acesso em: 30 jun. 2020.
- CÉSAR Lattes: entre o méson pi e o lado humano. *In*: Professora Manuka. [S. I.], (2020?). Disponível em: <http://www.professoramanuka.com.br/2017/06/cesar-lattes-entre-o-meson-pi-e-o-lado-humano.html>. Acesso em: 30 jun. 2020.
- FÍSICA saborosa. *In*: Fatos comuns sobre diversão. [S. I.], 2014. Disponível em: <https://commonplacefacts.wordpress.com/2014/11/26/flavorful-physics/>. Acesso em: 01 jul. 2020.
- FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. A Composição do Átomo. *In*: ALUNOS online. [S. I.], (2020?). Disponível em: <https://alunosonline.uol.com.br/quimica/a-composicao-atomo.html>. Acesso em: 30 jun. 2020.
- GOOGLE LLC. Google Classroom. 2015. Disponível em: <https://classroom.google.com/u/0/h>. Acesso em: 17 jul. 2020.
- GOOGLE LLC. Google Forms. (2020?). Disponível em: <https://docs.google.com/forms/u/0/>. Acesso em: 04 ago. 2020.
- GOOGLE LLC. Google Meet - Reuniões de vídeo seguras. 2017. Disponível em: <https://meet.google.com/>. Acesso em: 17 jul. 2020.
- JÚNIOR, Joab Silas da Silva. O que é antimatéria?. *In*: BRASIL Escola. [S. I.], (2020?). Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-KÁON>. *In*: WIKIPÉDIA, a enciclopédia livre. [S. I.], 2019. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/K%C3%A1on>. Acesso em: 30 jun. 2020.

KAHOOT!. In: Kahoot!. [S. I.], 2012?. Disponível em: <https://kahoot.com/schools-u/>. Acesso em: 10 set. 2020.

LHC - O maior e mais complexo instrumento científico alguma vez construído. In: **Blog Da Física à Química**. [S. I.], 2009. Disponível em: <https://mc2h2o.blogspot.com/2009/02/o-maior-e-mais-complexo-instrumento.html>. Acesso em: 01 jul. 2020.

LHC recebe atualização para encontrar 'partículas de Deus'. In: VEJA. [S. I.], 2016. Disponível em: <https://veja.abril.com.br/ciencia/lhc-recebe-atualizacao-para-encontrar-particulas-de-deus/>. Acesso em: 01 jul. 2020.

MACHADO, Camila. A teoria de (quase) tudo. In: TRUE singularity. [S. I.], 2012. Disponível em: <https://truesingularity.wordpress.com/2012/08/17/a-teoria-de-quase-tudo/>. Acesso em: 01 jul. 2020.

MODELO Padrão. In: WIKIPÉDIA, a enciclopédia livre. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Modelo_Padr%C3%A3o. Acesso em: 22 maio 2020.

MOREIRA, Marco Antonio. Partículas e Interações. **Física na Escola**, v. 5, n. 2, 2004. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol5/Num2/v5n1a03.pdf>. Acesso em: 13 jun. 2020.

MÜLLER, Léo. Sirius: novo acelerador de partículas brasileiro é inaugurado em Campinas. In: TECMUNDO. [S. I.], 2018. Disponível em: <https://www.tecmundo.com.br/ciencia/136220-sirius-novo-acelerador-particulas-brasileiro-inaugurado-campinas.htm>. Acesso em: 30 jun. 2020.

O NASCIMENTO da mecânica quântica. In: RESUMO escolar. [S. I.] (2020?). Disponível em: <https://www.resumoescolar.com.br/fisica/o-nascimento-da-mecanica-quantica/>. Acesso em: 30 jun. 2020.

PÍON. In: WIKIPÉDIA, a enciclopédia livre. [S. I.], 2019. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/P%C3%ADon>. Acesso em: 30 jun. 2020.

SANTOS, Carlos Alberto dos. Para apreciar a festa do LHC. In: CIÊNCIA Hoje. [Rio de Janeiro], 26 set. 2008. Disponível em: <http://cienciahoje.org.br/coluna/para-apreciar-a-festa-do-lhc/>. Acesso em: 23 maio 2020.

SÉRVULO, Felipe. As quatro forças fundamentais do Universo. In: MISTÉRIOS do universo. [S. I.], 2014. Disponível em: <https://www.misteriosdouniverso.net/2014/04/as-quatro-forcas-fundamentais-do.html>. Acesso em: 01 jul. 2020.

TEIXEIRA, Mariane Mendes. Física de partículas. In: ALUNOS online. [S. I.], (2020?b). Disponível em: <https://alunosonline.uol.com.br/fisica/fisica-particulas.html>. Acesso em: 30 jun. 2020.

TEIXEIRA, Mariane Mendes. Física de partículas: o estudo das partículas elementares. In: BRASIL Escola. [S. I.], (2020?a). Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/fisica-particulas-estudo-das-particulas-elementares.htm>. Acesso em 30 de junho de 2020.

VÁLIO, Adriana Benetti Marques. **Ser protagonista**: Física, 3º ano: ensino médio. 3. ed. São Paulo: Edições SM, 2016. ISBN 978-85-418-1362-4.

WAGA, Ioav. Astronomia Para Poetas De Onde Viemos? O Universo Primitivo. *In*: SLIDE player. [S. l.], (2015?). Disponível em: <https://slideplayer.com.br/slide/3458149/>. Acesso em: 01 jul.2020.

YAMAMOTO, Kazuhito. **Física para o ensino médio**, vol.3: Eletricidade e Física Moderna. 4. ed. São Paulo: Saraiva, 2016. ISBN 978-85-472-0578-2.

ANEXO DO PLANO DE AULA – ETAPA 3

ANEXO A₃ - PARA APRECIAR A FESTA DO LHC

A avalanche de notícias que tomou conta de jornais e revistas do mundo inteiro sobre a entrada em operação do Grande Colisor de Hádrons (LHC, na sigla em inglês) determinou o tema desta coluna. Vamos passar em revista alguns conceitos por trás do funcionamento desse acelerador de partículas.

Para não repetir informações já divulgadas, sugiro a leitura de alguns textos disponíveis na *CH On-line* – este artigo de Ignácio Bediaga traz detalhes técnicos sobre o LHC, cuja entrada em operação também foi destacada nesta coluna de Adilson de Oliveira; esta reportagem de Franciane Lovati discute os desafios atuais da física de partículas. O leitor também vai encontrar noções básicas de física de partículas neste livro de Maria Cristina Abdalla e no meu blog.

Desde os tempos mais remotos, o homem persegue a idéia do átomo, aquilo que seria o constituinte indivisível da matéria. No entanto, o primeiro modelo atômico baseado em evidências experimentais só foi elaborado a partir de 1911, pelo neozelandês Ernest Rutherford (1871-1937) e seus colaboradores. Com a descoberta do próton, em 1919, e do nêutron, em 1932, o modelo de Rutherford chegou ao formato em que ainda é largamente ensinado em nossas escolas.

Um dos grandes desafios enfrentados pelos físicos nos anos 1920 e 1930 era a explicação do fenômeno conhecido como decaimento beta, no qual um nêutron transforma-se em um próton e um elétron, que é expelido pelo núcleo e identificado como radiação beta. Sempre que esse fenômeno era observado, o elétron apresentava diferentes valores de energia, o que era incompatível com a conservação de energia e da quantidade de movimento prevista em teoria.

A coisa era tão esquisita que o próprio Niels Bohr (dinamarquês, 1885-1962) pensou que essas sagradas leis não deveriam valer para os fenômenos nucleares. Numa atitude desesperada, o austríaco Wolfgang Pauli (1900-1958) propôs, em 1930, a existência de uma partícula sem carga elétrica e com massa semelhante à do elétron.

A foto acima é a evidência da primeira observação de um neutrino em uma câmara de bolhas, em experimento realizado nos Estados Unidos em 1970. Um neutrino atinge um próton, resultando três traços de partículas (à direita). O traço mais

longo é de um múon, o mais curto é do próton, e o terceiro é do méson pi, criado durante a colisão (foto: Laboratório Nacional de Argonne).

Essa partícula seria a responsável pela conservação de energia e quantidade de movimento no decaimento beta. Em 1933, o italiano Enrico Fermi (1901-1954) a denominou neutrino (pequeno nêutron, em italiano). Ela foi a primeira partícula elementar resultante de uma previsão teórica. Porém, por ser neutra e muito leve, passou 26 anos escapando dos detectores inventados pelo homem.

Energia negativa e antimatéria

À margem dos estudos nucleares, o britânico Paul Dirac (1902-1984) tentava, entre 1928 e 1930, explicar o comportamento do elétron em termos da relatividade e da teoria quântica. Seus estudos resultaram no que hoje chamamos de equação de Dirac. Na época, ela causou perplexidade, porque previa a existência de um elétron com carga positiva e energia negativa.

A interpretação da energia negativa é muito complicada para ser tratada aqui, mas o fato relevante é que esse resultado deu origem ao conceito de antimatéria. A implicação disso é que, além do elétron, deveria existir um antielétron. A teoria de Dirac também previa que partícula e antipartícula deveriam se aniquilar se colocadas suficientemente próximas uma da outra.

Mais impressionante do que essas previsões foi a confirmação experimental da existência da antimatéria, obtida pelo americano Carl David Anderson (1905-1991) em 1932, com a descoberta do pósitron – o antielétron postulado por Dirac –, utilizando raios cósmicos. O impacto de tudo isso pode ser avaliado pela rapidez com que eles ganharam o Nobel de Física: Dirac em 1933 e Anderson três anos depois. Um ano após seu prêmio, Anderson descobriu o múon, 200 vezes mais pesado que o elétron, e que na época se imaginava ser uma espécie de méson, partícula prevista pelo japonês Hideki Yukawa (1907-1981).

No final dos anos 1940, acreditava-se que as partículas elementares eram elétron, próton, nêutron, neutrino, múon e méson pi. A edição de dezembro de 1949 da *Physical Review* publicou um artigo em que Fermi e o sino-americano Chen Ning Yang (1922-) questionam o *status* de “elementar” para muitas das partículas até então descobertas. Para ser “elementar”, a partícula não pode ter qualquer estrutura interna: tem que ser algo como um ponto material.

Para Fermi e Yang, algumas dessas partículas, sobretudo os mésons, poderiam ser compostas de um núcleon (próton ou nêutron) e sua antipartícula. O

pequeno artigo, de cinco páginas, conceitualmente elegante e ousado – o antipróton e o antinêutron só seriam descobertos seis anos depois –, deu início a uma corrida desenfreada por uma explicação para a composição das partículas recém descobertas.

Surge o quark

O resultado mais frutífero foi o modelo de quark, e deste para o modelo padrão foi um salto. Embora a denominação quark tenha sido criada pelo americano Murray Gell-Mann (1929-), o modelo foi elaborado simultaneamente por ele e pelo russo George Zweig (1937-). De acordo com o modelo, próton e nêutron são compostos por três quarks, enquanto os mésons são compostos por um quark e um antiquark.

Um aspecto desagradável na história da física de partículas, sobretudo para o leigo, é a sucessão de novos termos para denominar novas partículas e novos tipos de interação, formando um cenário geralmente confuso e não intuitivo. Felizmente, com o advento do modelo padrão, este cenário foi consolidado com uma estrutura mais palatável.

Hoje podemos dizer que a física de partículas é suportada por um tripé: léptons (elétron, múon, tau e seus respectivos neutrinos), quarks (up, charme, superior, down, estranho, inferior), e portadores de força, ou propagadores de interação (fóton, glúon, bósons W^+ , W^- e Z). Os quarks formam partículas compostas denominadas hádrons.

Existe perto de uma centena de hádrons, divididos em duas famílias: os mésons (quark + antiquark) e o bárions (3 quarks). O próton e o nêutron são os membros mais famosos da família bariônica. Portanto, de acordo com o modelo padrão, só temos 17 partículas elementares: 6 léptons, 6 quarks e 5 portadores de força.

Sobre essas partículas (elementares e compostas) agem três tipos de forças, ou três tipos de interações. A interação eletromagnética, que atua em todas as partículas, desde que possuam carga elétrica, e tem alcance infinito; a interação fraca, que age sobre léptons e hádrons, desde que estejam a uma distância da ordem do raio do núcleo; e a interação forte, também conhecida como força nuclear, que age unicamente sobre os quarks e hádrons, e tem alcance similar à interação fraca.

Prótons e nêutrons interagem por intermédio da força nuclear para manter o núcleo. Por outro lado, os quarks no interior do próton interagem para que este permaneça estável. Essas interações propagam-se pela ação do fóton (força eletromagnética), dos bósons (força fraca) e dos glúons (força forte).

Um modelo incompleto

A explicação da matéria pelo modelo padrão é simples e elegante, embora incompleta. O LHC é apenas a tentativa do momento para testar o modelo no ponto em que experimentos anteriores falharam. Desde os anos 1930, aceleradores de partículas vêm sendo construídos para testar modelos nucleares. Sempre que uma propriedade superou a capacidade do acelerador da época, uma nova máquina foi construída para enfrentar a dificuldade imposta pela natureza.

Para apreciarmos essa história, devemos ter em mente que todo processo de detecção de partículas elementares ou compostas é consequência da relação massa-energia descoberta por Einstein, expressa pela fórmula $E=mc^2$. Essa fórmula foi comprovada em vários experimentos e fenômenos naturais, mas é no caso das partículas elementares que sua verificação é mais impressionante.

Vejam os exemplos de um fóton com energia superior a 1022 elétron-volts (elétron-volt é a energia adquirida pelo elétron quando acelerado por uma diferença de potencial de 1 volt). Esse fóton pode criar um elétron e um pósitron, pois eles têm massa de repouso igual a 511 elétron-volts. Esse fenômeno, conhecido como criação de pares, mostra que energia, sob a forma de fóton, é transformada em matéria.

O que se pretende com os aceleradores é a obtenção de energia suficiente para a produção de partículas. Nos casos em que uma partícula elementar é lançada contra sua antipartícula, novas partículas podem surgir em consequência do mecanismo descrito acima, ou seja energia transforma-se em matéria.

No caso do LHC, em que prótons serão lançados contra prótons, com uma energia de colisão aproximadamente igual a 14 trilhões de elétron-volts (14 TeV), o cenário é mais complexo. Essa energia será dividida em diferentes colisões entre os quarks constituintes do próton. Ninguém sabe exatamente o que vai acontecer, mas a grande expectativa é que o bóson de Higgs dê as caras em algumas dessas interações.

Em busca do bóson perdido

Essa escorregadia e pesada partícula, com massa de repouso presumidamente superior a 100 bilhões de elétron-volts, é o que falta para completar o elenco das partículas elementares do modelo padrão. O mecanismo de Higgs, que originou o referido bóson, foi proposto por causa de uma quebra de simetria, uma dessas obsessões dos físicos.

E que história é essa de quebra de simetria? Nos anos 1960, os americanos Sheldon Glashow (1932-), Steven Weinberg (1933) e o paquistanês Abdus Salam (1926-1996) mostraram que as interações eletromagnética e fraca podiam ser unificadas, dando origem à interação eletrofraca. O propagador na interação eletromagnética é o fóton, uma partícula sem massa, mas os propagadores da interação fraca, os bósons W^+ , W^- e Z , têm massa de repouso teoricamente prevista e experimentalmente comprovada. Isso configura uma quebra de simetria.

Para explicar isso, o britânico Peter Higgs (1929-) formulou o mecanismo que leva seu nome, segundo o qual uma partícula, batizada bóson de Higgs, é responsável por essa quebra de simetria. Mais do que isso, supostamente é ela quem origina a massa do universo.

A par dos resultados científicos previstos, aqueles que defendem os investimentos na pesquisa de física de altas energias, como de resto os investimentos em qualquer pesquisa básica, apontam os grandes benefícios colaterais do empreendimento. É certo que o conhecimento acumulado por cientistas e engenheiros no planejamento e execução do projeto terá repercussão em áreas aplicadas, tais como diagnósticos médicos, computação, tecnologia de vácuo e de baixa temperatura, entre outras. Até mesmo a falha mecânica, que interromperá o funcionamento do LHC até abril do ano que vem deverá ser instrutiva para os especialistas na manipulação de eletroímãs supercondutores.

Mas também há quem questione esses altos investimentos e quem conteste o modelo padrão e o mecanismo de Higgs. O britânico Stephen Hawking (1942-), por exemplo, chegou a apostar 100 dólares com um colega como o bóson de Higgs jamais seria detectado. Quem viver verá!

Carlos Alberto dos Santos

Colunista da *CH On-line*

Professor aposentado pelo Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul

APÊNDICE DO PLANO DE AULA – ETAPA 3
APÊNDICE A₃ – QUESTÕES SOBRE O TEXTO DE DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA

Questões sobre o texto “Para apreciar a festa do LHC” (SANTOS, 2008).

1) Quais das afirmações abaixo, sobre o início da busca da constituinte indivisível da matéria, são corretas.

I. O primeiro modelo atômico baseado em evidências experimentais só foi elaborado a partir de 1911, pelo neozelandês Ernest Rutherford e seus colaboradores.

II. Com a descoberta do próton, em 1919, e do nêutron, em 1932, o modelo de Rutherford chegou ao formato em que ainda é largamente ensinado em nossas escolas.

III. Um dos grandes desafios enfrentados pelos físicos nos anos 1920 e 1930 era a explicação do fenômeno conhecido como decaimento gama.

IV. Em 1930, o austríaco Wolfgang Pauli propôs a existência de uma partícula sem carga elétrica e com massa semelhante à do elétron.

Marque a alternativa correta:

() Afirmações II, III

() Afirmação I

() Afirmações I, II

() Afirmações II, IV

2) Marque verdadeiro (V) ou falso (F) nas afirmações abaixo sobre antimatéria.

() Entre 1928 e 1930, Paul Dirac tentava explicar o comportamento do elétron em termos da relatividade e da teoria quântica e previu a existência de um elétron com carga positiva e energia negativa.

() A teoria de Dirac também previa que partícula e antipartícula deveriam se aniquilar se colocadas suficientemente próximas uma da outra.

() Carl David Anderson confirmou experimentalmente a existência da antimatéria, com a descoberta do pósitron (o antielétron postulado por Dirac).

() No final dos anos 1940, acreditava-se que as partículas elementares eram elétron, próton, nêutron.

Assinale a alternativa com a sequência correta:

V, V, F, F

F, V, F, F

F, V, V, V

V, V, V, F

3) Assinale a alternativa INCORRETA sobre o Modelo Padrão.

Um aspecto desagradável na história da física de partículas é a sucessão de novos termos para denominar novas partículas e novos tipos de interação. Felizmente, com o advento do modelo padrão, este cenário foi consolidado com uma estrutura mais palatável.

De acordo com o modelo, próton e nêutron são compostos por três quarks, enquanto os mésons são compostos por um quark e um antiquark.

Hoje podemos dizer que a física de partículas é suportada por um tripé: léptons, hádrons, e portadores de força ou propagadores de interação.

Existe perto de uma centena de hádrons, divididos em duas famílias: os mésons e o bárions. O próton e o nêutron são os membros mais famosos da família bariônica.

Prótons e nêutrons interagem por intermédio da força nuclear para manter o núcleo.

4) Marque verdadeiro (V) ou falso (F) nas afirmações abaixo sobre a importância do LHC na busca de completar o Modelo Padrão.

A explicação da matéria pelo modelo padrão é simples e elegante, embora incompleta. O LHC é apenas a tentativa do momento para testar o modelo no ponto em que experimentos anteriores falharam.

No caso do LHC, em que prótons serão lançados contra prótons, com uma energia de colisão aproximadamente igual a 14 trilhões de elétron-volts. Com expectativa de que o bóson de Higgs dê as caras em algumas dessas interações.

O bóson de Higgs supostamente origina a massa do universo.

O que se pretende com os aceleradores é a obtenção de energia suficiente para aniquilar as partículas.

Nos casos em que uma partícula elementar é lançada contra sua antipartícula, novas partículas podem surgir.

Assinale a alternativa com a sequência correta:

F, F, V, V, F

() V, V, V, F, V

() V, V, F, F, V

() F, V, V, F, V

Gabarito

1) Afirmações I e II

2) V, V, V, F

3) Hoje podemos dizer que a física de partículas é suportada por um tripé: léptons, hádrons, e portadores de força ou propagadores de interação.

4) V, V, V, F, V

APÊNDICE D - PLANO DE AULA - REVISÃO - ETAPA 4**PLANO DE AULA**

DADOS DE IDENTIFICAÇÃO

Nome da instituição: Escola Estadual de Ensino Médio Assunção

Nível: *Ensino Médio*

Componente curricular: *Física*

Carga horária: 2 períodos de 55 minutos cada

Série: 3^a

Data:

Professor(a): Régis Roberto Finimundi

TÍTULO:

Revisão

OBJETIVO GERAL:

Analisar e revisar de forma cronológica as principais descobertas e avanços científicos na Física Moderna e Contemporânea, sobre Física nuclear e atômica.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Discutir a evolução dos conceitos físicos;
 - Analisar as principais mudanças que a Física Moderna e Contemporânea causou no entendimento da estrutura da matéria;
 - Estabelecer a inter-relação entre os conteúdos estudados sobre Física nuclear e atômica.
-

CONTEÚDO PROGRAMÁTICO:

- Modelo atômico de Dalton;
- Modelo atômico de Thomson;
- Modelo atômico de Rutherford;
- Modelo atômico de Bohr;

- Átomo de Schrödinger.
 - Armas nucleares - Perspectiva histórica;
 - Armas nucleares - conceitos científicos;
 - Reações nucleares - fissão e fusão nuclear;
 - Energia nuclear por fissão nuclear;
 - Busca por fusão nuclear controlada e auto suficiente;
 - Principais acidentes nucleares;
 - Radioatividade;
 - Decaimento radioativo e suas propriedades.
 - Primeiras partículas descobertas;
 - Aceleradores de partículas;
 - Modelo Padrão;
 - Antipartículas.
-

METODOLOGIA E RECURSOS DIDÁTICOS:

Material e recurso utilizados:

- Computador
- Google Meet (GOOGLE, 2017)
- Google Classroom (GOOGLE, 2015)
- Google Forms (GOOGLE, 2020?)

Os slides, utilizados nas aulas, serão disponibilizados para os alunos pelo Google Classroom (GOOGLE, 2015), anteriormente às aulas. A aula do primeiro período será ministrada por videoconferência, no Google Meet (GOOGLE, 2017).

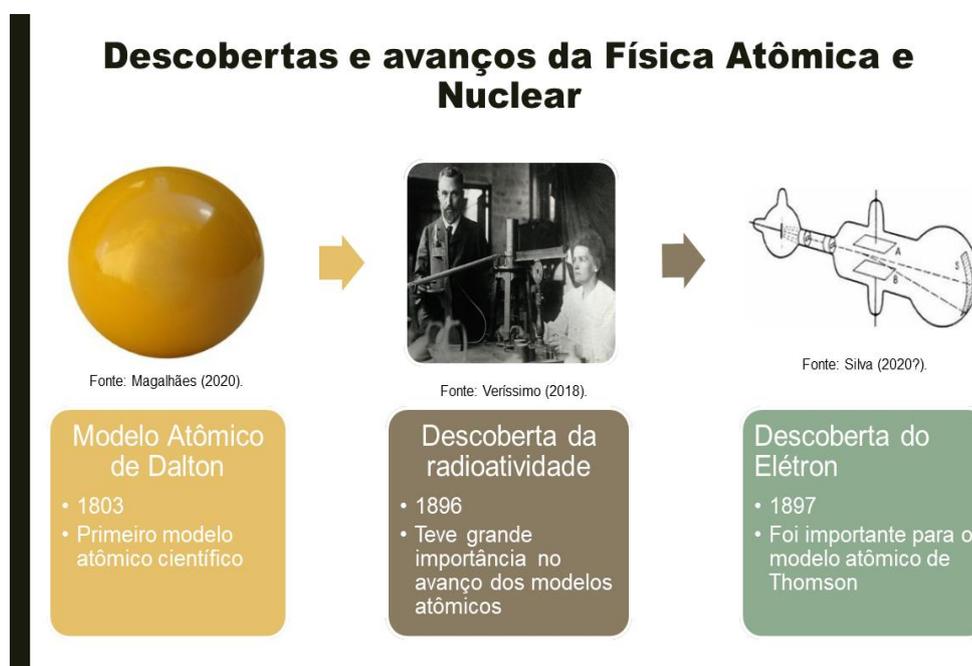
Neste período de aula será realizada uma revisão dos conteúdos estudados nas aulas anteriores, retomando as principais descobertas e avanços científicos abordados sob uma perspectiva histórica e cronológica. Serão discutidas, principalmente, as influências que cada descoberta e avanço exerceu sobre as subsequentes. Para isso, serão utilizados os slides das figuras 1 a 9.

Figura 1 – Cronologia da Física Atômico e Nuclear



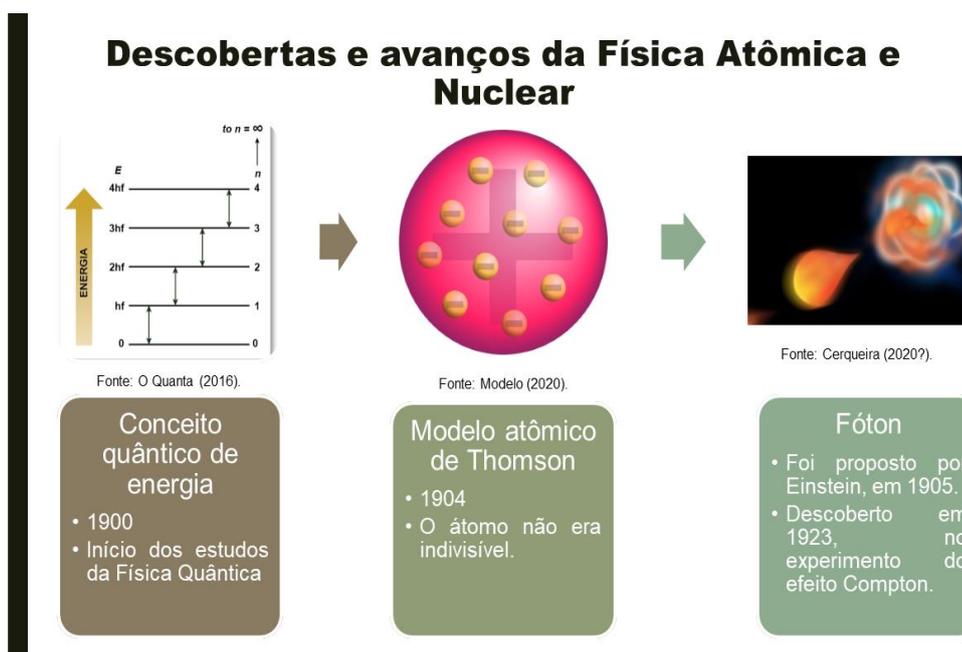
Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 2 – Modelo Atômico de Dalton, descoberta da radioatividade e do elétron



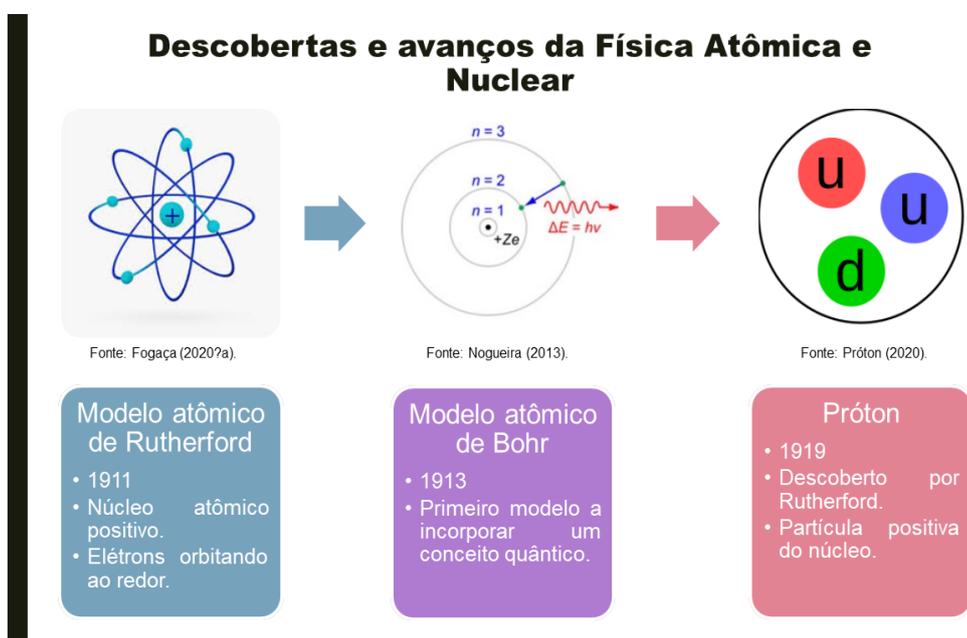
Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 3 – Conceito quântico de energia, Modelo atômico de Thomson e Fóton



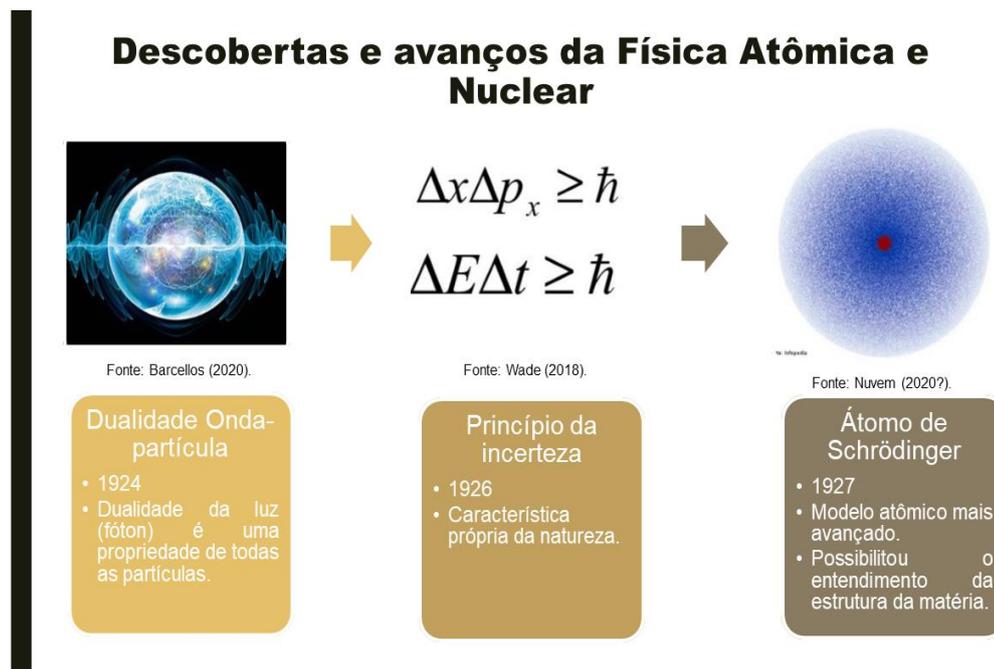
Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 4 – Modelo atômico de Rutherford, Bohr e descoberta do Próton

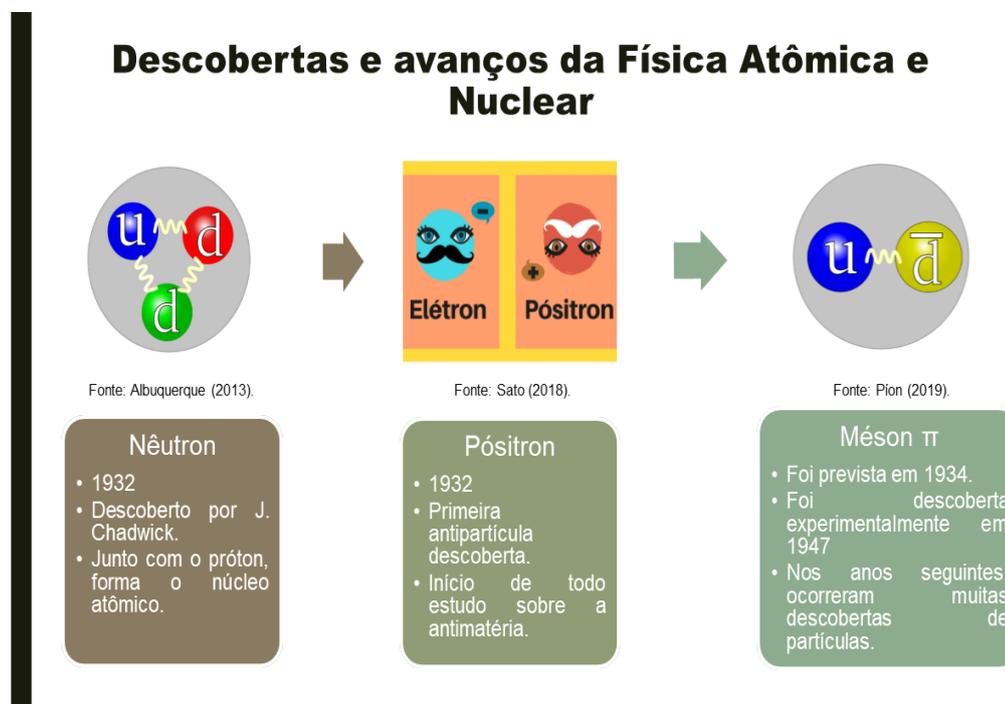


Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 5 – Dualidade onda-partícula, Princípio da Incerteza e Átomo de Schrödinger



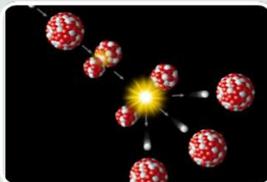
Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 6 – Descoberta do Nêutron, Pósitron e Méson π 

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 7 – Fissão Nuclear

Descobertas e avanços da Física Atômica e Nuclear



Fonte: Fogaça (2020?b).

Fissão nuclear

- Em 1938, foi realizada a primeira fissão nuclear.
- A primeira reação em cadeia de fissão nuclear controlada foi em 1942.



Fonte: Moura (2020).

Usinas nucleares

- As primeiras usinas nucleares começaram a serem construídas, na década de 50.
- Tornou-se uma grande fonte de energia para humanidade.



Fonte: Correa (2016).

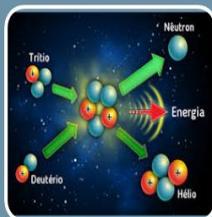
Radioatividade

- Um dos maiores problemas da energia nuclear.
- Ao mesmo tempo, é utilizada em muito as áreas, com muitos benefícios.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 8 – Fusão Nuclear

Descobertas e avanços da Física Atômica e Nuclear



Fonte: Fusão (2019).

Fusão nuclear

- O primeiro uso prático da fusão nuclear, foi com uma bomba de hidrogênio, na década de 50.
- No final dos anos 1960, foi desenvolvido o **tokamak**, protótipo ideal para a obtenção de fusão termonuclear.



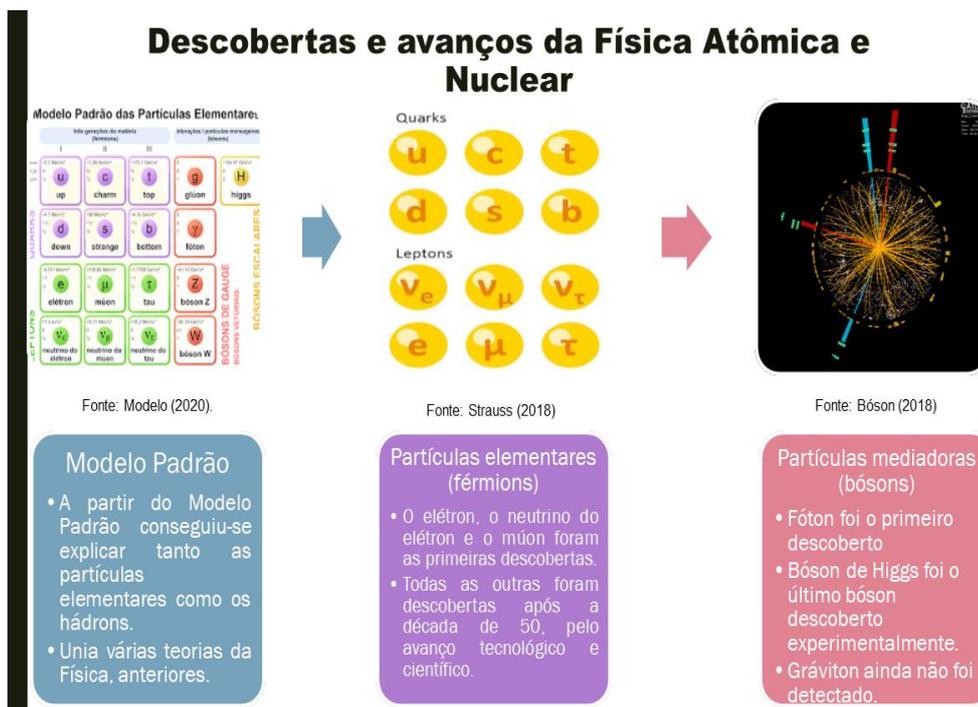
Fonte: Mcgrath (2019)

ITER

- Em 1992, iniciou o projeto do Reator Termonuclear Experimental Internacional (ITER).
- Até hoje, não chegou ao objetivo do projeto: geração de energia, a partir da fusão nuclear, sustentável e eficiente.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 9 – Modelo Padrão



Fonte: Elaborada pelo autor.

O último período será destinado para a realização da avaliação final da aprendizagem, descrita na parte final deste plano, e em seguida, da proposta de ensino. Será proposto que os alunos respondam ao questionário de avaliação da proposta de ensino, pelo Google Forms (GOOGLE, 2020?), contendo as seguintes perguntas:

- 1) Qual(is) conteúdo(s) estudados despertou(aram) mais interesse e motivação em você? Justifique:
- 2) Você considera que os conteúdos de Física Moderna e Contemporânea deveriam estar mais presentes nos currículos escolares? Por quê?
- 3) Dos recursos didáticos utilizados (vídeos, simulações e textos de divulgação científica), qual, em sua opinião, mais contribuiu para a sua aprendizagem? Por quê?
- 4) O que você achou da metodologia das aulas? Justifique:
- 5) Teria alguma sugestão?
- 6) Durante as aulas, você percebeu um bom empenho e motivação por parte dos colegas e seu? Justifique:
- 7) Como você avalia o desempenho do professor durante as aulas? Justifique:

AVALIAÇÃO

A avaliação da aprendizagem será verificada por meio da observação do comprometimento, atenção, participação durante a discussão do primeiro período e da avaliação final. A avaliação consiste em responder às perguntas abaixo sobre o conteúdo desenvolvido nas aulas, as perguntas estarão num formulário do Google Forms (GOOGLE, 2020?), cujo link será postado no Google Classroom (GOOGLE, 2015):

1 - Marque verdadeiro (V) e falso (F) nas afirmações, abaixo, sobre o átomo de Bohr:

Bohr corrigiu a instabilidade do átomo do modelo de Rutherford incorporando o conceito quântico de energia.

O elétron pode ter valores variados de energia.

Um elétron, quando permanece em uma órbitas permitida, não ganha nem perde energia, espontaneamente.

O elétron pode ocupar órbitas circulares com qualquer valor de energia.

Marque a alternativa correta:

V, F, F, V.

V, F, V, F.

F, F, V, V.

F, V, V, V.

2 - Qual das afirmações abaixo, é a CORRETA sobre o átomo de Schrödinger.

Orbitais são regiões (nuvens de probabilidade) em que não encontra-se elétrons.

No átomo de Schrödinger, o estado quântico do elétron é definido por quatro números quânticos.

A função de onda de Schrödinger descrevia perfeitamente todos os átomos dos elementos químicos.

Os números quânticos são: principal (n), secundário (l), magnético (m) e rotacional (s).

3 - Marque verdadeiro (V) ou falso (F) nas afirmações abaixo sobre fissão e fusão nuclear e as bombas atômicas (armas nucleares):

() Os estudos e pesquisas sobre a fissão nuclear tiveram grandes avanços durante a Segunda Guerra Mundial.

() A bomba de fissão nuclear, Little Boy, utilizava urânio na sua composição.

() A bomba de fissão nuclear, Fat Man, utilizava plutônio na sua composição.

() A bomba de fissão utilizava uma bomba de dinamite como início para a fissão.

() As duas bombas atômicas utilizadas na Segunda Guerra Mundial, foram desenvolvidas e produzidas no projeto Manhattan.

Assinale a alternativa com a sequência correta:

() V, F, V, F, F

() V, F, F, V, V

() V, F, F, F, V

() V, V, V, F, V

4 - Marque verdadeiro (V) ou falso (F) nas afirmações abaixo sobre as reações nucleares (fissão e fusão nuclear):

() Na principal reação de fissão nuclear, o urânio é dividido em dois outros elementos químicos, nêutrons e energia.

() Na fusão nuclear os isótopos de hidrogênio se fundem para formar um átomo de lítio.

() A reação de fusão nuclear libera bem menos energia, por quilograma, do que uma reação de fissão nuclear.

() Na reação de fissão nuclear, o urânio fissionado é o urânio 235.

() Na fusão nuclear, o deutério e o trítio se fundem e formam um átomo de hélio, libera um nêutron e energia.

Assinale a alternativa com a sequência correta:

() V, F, F, V, V

() F, V, V, F, V

() F, F, F, V, F

() F, V, V, V, V

5 - A fusão nuclear ainda não foi obtida de forma eficiente e autossuficiente e o Reator termonuclear experimental internacional (ITER), é o empreendimento mais promissor. Marque verdadeiro (V) ou falso (F) nas afirmações abaixo:

Tokamak é o protótipo ideal para o uso militar da fissão nuclear na geração de energia.

Há dois processos principais, em laboratório, para obter fusão nuclear: confinamento inercial e confinamento magnético.

Para se obter a fusão nuclear é preciso temperatura mais alta que no núcleo do Sol, entorno de 50 milhões de graus Celsius.

Comunidade Europeia, Coreia do Sul, China, Estados Unidos, Japão, Rússia iniciaram o projeto do ITER.

Assinale a alternativa com a sequência correta:

V, V, V, V

F, V, V, V

V, F, V, V

V, F, F, V

6 – Marque a alternativa INCORRETA sobre os acidentes nucleares de Chernobyl, Goiânia e Fukushima.

O acidente em Goiânia ocorreu em um reator de pesquisa.

Em Goiânia, o elemento radioativo era o césio 137, um pó brilhante que chamou a atenção das pessoas.

O grande perigo em Fukushima era que os elementos radioativos escapassem do reator.

O acidente em Chernobyl foi o maior acidente nuclear da humanidade, com número real de vítimas desconhecido.

O tsunami decorrente do terremoto foi o principal fator do acidente de Fukushima.

7 - Sobre a radioatividade e os tipos de decaimentos radioativos, marque verdadeiro (V) ou falso (F) nas afirmações abaixo:

A radioatividade é uma propriedade dos núcleos atômicos estáveis de emitirem espontaneamente radiação.

Antoine Henri Becquerel descobriu a radioatividade e Pierre Curie e Marie Curie desenvolveram estudos sobre a origem da radioatividade.

No decaimento beta-menos, um nêutron se transforma em um próton e emite um elétron e um antineutrino.

Decaimento alfa ocorre no núcleo de elementos pesados.

Decaimento gama ocorre em núcleos com excesso ou falta de nêutrons.

Assinale a alternativa com a sequência correta:

F, F, F, V, F

V, V, V, V, V

V, F, F, V, F

F, V, V, V, F

8 - Marque verdadeiro (V) ou falso (F) nas afirmações abaixo sobre as partículas elementares (férmions e bósons) do Modelo Padrão.

Os bósons são os mediadores das interações fundamentais.

O bóson de Higgs é responsável pela massa das outras partículas.

No Modelo Padrão, as partículas elementares, do tipo bósons, se dividem em quarks e léptons.

Elétron, múon e tau são os léptons sem carga elétrica.

Os quarks não podem ser observados isolados, só unidos, formando os hádrons.

Assinale a alternativa com a sequência correta:

V, F, V, V, V

F, F, V, V, F

V, V, F, F, V

V, F, V, F, F

9 – Quais das afirmações abaixo, sobre os aceleradores de partículas são corretas:

I - Os aceleradores de partículas só foram usados nos últimos anos.

II - Com os aceleradores de partículas, ocorreram descobertas de muitas partículas, algumas inéditas e outras que já eram previstas teoricamente.

III - Os primeiros indícios do bóson de Higgs foram identificados no acelerador LHC.

IV - Poucas partículas foram descobertas nos aceleradores de partículas.

Assinale a alternativa correta:

I e II;

I, III e IV;

II e III;

I, II e III.

Gabarito

1) V, F, V, F

- 2) No átomo de Schrödinger, o estado quântico do elétron é definido por quatro números quânticos.
- 3) V, V, V, F, V
- 4) V, F, F, V, V
- 5) F, V, V, V
- 6) O acidente em Goiânia ocorreu em um reator de pesquisa.
- 7) F, V, V, V, F
- 8) V, V, F, F, V
- 9) II e III

BIBLIOGRAFIAS

ALBUQUERQUE, Alberto. Nêutrons: Quando são estáveis e quando não?. *In: Blog pessoal Alberto Albuquerque*. [S. I.], 2013. Disponível em: <https://albertoalbuquerque.wordpress.com/2013/09/17/neutrons-quando-sao-estaveis-e-quando-nao/>. Acesso em: 30 jun. 2020.

BARCELLOS, André. O que é que não é Mecânica Quântica?. *In: EUREKA Brasil*. [S. I.], 2020. Disponível em: <http://eurekabrasil.com/o-que-e-que-nao-e-mecanica-quantica/>. Acesso em: 20 ago. 2020.

BÓSON de Higgs é visto acompanhado pela primeira vez. *In: REVISTA Galileu*. [S. I.], 2018. Disponível em: <https://revistagalileu.globo.com/Ciencia/noticia/2018/06/boson-de-higgs-e-visto-acompanhado-pela-primeira-vez.html>. Acesso em: 22 ago. 2020.

CERQUEIRA, Merelyn. Cientistas estão moldando fótons para desvendar os segredos da luz. *In: JORNAL ciência*. [S. I.], (2020?). Disponível em: <https://www.jornalciencia.com/cientistas-estao-moldando-fotons-para-desvendar-os-segredos-da-luz/>. Acesso em: 30 jun. 2020.

CORREA, Rodrigo Rocha. Efeitos da Radiação em Humanos. *In: Blog Dr. Teuto*. [S. I.], 2016. Disponível em: <https://www.drteuto.com.br/blog-interna.php?data=2016-02-29&slug=efeitos-da-radiacao-em-humanos>. Acesso em: 22 ago. 2020.

FÍSICA, de partículas. *In: EDUCA mais Brasil*. [S. I.], (2020?). Disponível em: <https://www.educamaisbrasil.com.br/enem/fisica/fisica-de-particulas>. Acesso em: 16 ago. 2020

FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. Fissão nuclear. *In: MANUAL da química*. [S. I.], (2020?b). Disponível em: <https://www.manualdaquimica.com/fisico-quimica/fissao-nuclear.htm>. Acesso em: 22 ago. 2020.

FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. O átomo de Rutherford. *In: ALUNOS online*. [S. I.], (2020?a). Disponível em: <https://alunosonline.uol.com.br/quimica/o-atomo-rutherford.html>. Acesso em: 23 ago. 2020.

FUSÃO Nuclear. *In*: TODA matéria. [S. I.], 2019. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/fusao-nuclear/>. Acesso em: 22 ago. 2020.

GOOGLE LLC. Google Classroom. 2015. Disponível em: <https://classroom.google.com/u/0/h>. Acesso em: 17 jul. 2020.

GOOGLE LLC. Google Forms. (2020?). Disponível em: <https://docs.google.com/forms/u/0/>. Acesso em: 04 ago. 2020.

GOOGLE LLC. Google Meet - Reuniões de vídeo seguras. 2017. Disponível em: <https://meet.google.com/> <https://meet.google.com/>. Acesso em: 17 jul. 2020.

MAGALHÃES, Lana. Modelo Atômico de Dalton. *In*: TODA matéria. [S. I.], 2020. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/modelo-atomico-de-dalton/>. Acesso em: 30 maio 2020.

MCGRATH, Matt. O que é a fusão nuclear, que promete ser a energia limpa que o mundo procura. *In*: BBC News Brasil. [S. I.], 2019. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/geral-50422745>. Acesso em: 22 ago. 2020.

MODELO atômico de Thomson. *In*: WIKIPÉDIA, a enciclopédia livre. [S. I.], 2020. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Modelo_at%C3%B4mico_de_Thomson. Acesso em: 25 jun. 2020.

MODELO Padrão. *In*: WIKIPÉDIA, a enciclopédia livre. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Modelo_Padr%C3%A3o. Acesso em: 22 maio 2020.

MOURA, Kaíque. ALÉM de Chernobyl: tudo que você precisa saber sobre usinas nucleares. *In*: ENGENHARIA 360. [S. I.], 2020. Disponível em: <https://engenharia360.com/tudo-sobre-usinas-nucleares/>. Acesso em: 22 ago. 2020.

NOGUEIRA, Salvador. Átomo de Bohr completa 100 anos. *In*: SOCIEDADE Brasileira de Física. [S. I.], 2013. Disponível em: http://www.sbfisica.org.br/v1/index.php?option=com_content&view=article&id=516:atomo-de-bohr-completa-100-anos&catid=151:destaque-em-fisica&Itemid=315. Acesso em: 25 jun. 2020.

NUVEM Eletrônica. *In*: DIA a dia educação. (Curitiba?), (2020?). Disponível em: <http://www.quimica.seed.pr.gov.br/modules/galeria/detalhe.php?foto=2064&evento=1>. Acesso em: 25 jun. 2020.

O QUANTA de luz. *In*: IFI – UNICAMP. Campinas, 2016. Disponível em: <https://www.ifi.unicamp.br/~fauth/1OrigensMecanicaQuantica/1Oquantumdeluz/Oquantumdeluz.html>. Acesso em: 23 ago. 2020.

PÍON. *In*: WIKIPÉDIA, a enciclopédia livre. [S. I.], 2019. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/P%C3%ADon>. Acesso em: 30 jun. 2020.

PRÓTON. *In*: Wikipédia, a enciclopédia livre. [S. I.], 2020. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Pr%C3%B3ton>. 19 ago. 2020.

SATO, Eduardo Akio. Antimatéria: O material mais caro do mundo!. *In: Blog Torta de maça primordial*. (Campinas), 2018. Disponível em: <https://www.blogs.unicamp.br/tortaprimordial/2018/06/21/antimateria-o-material-mais-car-do-mundo/>. Acesso em: 20 ago. 2020.

SILVA, Domiciano Correa Marques da. Descoberta do elétron. *In: MUNDO educação*. [S. l.], (2020?). Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/descoberta-eletron.htm>. Acesso em: 23 ago. 2020.

STRAUSS, Michael G. Uma olhada no Top Quark. *In: Blog Dr. Michael G Strauss*. [S. l.], 2018. Disponível em: <https://www.michaelgstrauss.com/2018/05/a-look-at-top-quark.html>. Acesso em: 22 ago. 2020.

VERÍSSIMO, Suzana. O casal Curie. *In: SUPER Interessante*. [S. l.], 2018. Disponível em: <https://super.abril.com.br/historia/o-casal-curie/>. Acesso em: 30 jun. 2020.

WADE, Elton. A Natureza do Nada: Compreendendo a Catástrofe do Vácuo. *In: MEDIUM*. [S. l.], 2018. Disponível em: <https://medium.com/@eltonwade/a-natureza-do-nada-compreendendo-a-cat%C3%A1strofe-do-v%C3%A1cuo-846e8655e6d4>. Acesso em: 20 ago. 2020.