

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO AMAPÁ
LICENCIATURA EM QUÍMICA
CAMPUS MACAPÁ

SABRINA TELES AMORIM

REAÇÕES NUCLEARES: compreendendo a análise histórica e suas descobertas no ensino da radioatividade

MACAPÁ-AP

2022

SABRINA TELES AMORIM

REAÇÕES NUCLEARES: compreendendo a análise histórica e suas descobertas no ensino da radioatividade

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Superior de Licenciatura em Química do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá - IFAP, como requisito parcial para obtenção de nota na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso.

Orientador: Prof. Me. Jamil da Silva

Coorientador: Prof. Me. Jorge Emílio Henriques Gomes
(*in memoriam*)

MACAPÁ-AP

2022

Biblioteca Institucional - IFAP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

- A524r Amorim, Sabrina Teles
Reações nucleares: compreendendo a análise histórica e suas descobertas no ensino da radioatividade / Sabrina Teles Amorim - Macapá, 2021.
50 f.: il.
- Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -- Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá, Campus Macapá, Curso de Licenciatura em Química, 2021.
- Orientador: Me. Jamil da Silva.
Coorientador: Me. Jorge Emílio Henriques Gomes.
1. Radioatividade. 2. História. 3. Ensino. I. Silva, Me. Jamil da, orient. II. Gomes, Me. Jorge Emílio Henriques, coorient. III. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica do IFAP com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

SABRINA TELES AMORIM

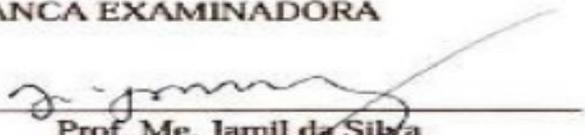
REAÇÕES NUCLEARES: compreendendo a análise histórica e suas descobertas no ensino da radioatividade

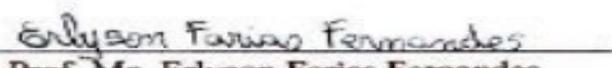
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Superior de Licenciatura em Química do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá - IFAP, como requisito parcial para obtenção de nota na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso.

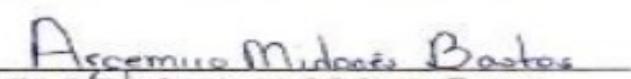
Orientador: Prof. Me. Jamil da Silva

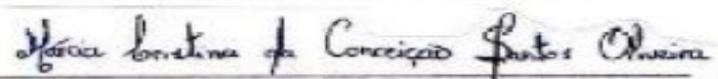
Coorientador: Prof. Me. Jorge Emílio Henriques Gomes
(*in memoriam*)

BANCA EXAMINADORA


Prof. Me. Jamil da Silva


Prof. Me. Erlyson Farias Fernandes


Prof. Dr. Argemiro Midonês Bastos


Prof. Esp. Marcia Cristina da Conceição Santos Oliveira

Apresentado em: 7 de abril de 2021.

Nota: 80,0

Dedico este trabalho à minha mãe Zilma dos Santos Amorim, à minha avó Marina dos Santos e ao meu pai Cleonaldo dos Santos Amorim. A família é o pilar da educação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao pai criador de toda a ciência, sabedoria, conhecimento e dimensão neste mundo, por me permitir apreciar todas as conquistas adquiridas durante minha jornada, em meio às dificuldades nesta caminhada.

Agradeço ao meu avô, Raimundo Amorim (*in memoriam*), pelos ensinamentos de vida, por ter me criado e acompanhado minha jornada enquanto criança até a minha adolescência, sou grata por ter feito parte da construção de todo aprendizado em minha vida.

Agradeço à minha avó, Marina dos Santos, também pela criação e por sempre estar ao meu lado me apoiando, incentivando a não desistir, por todo seu amor e carinho para comigo.

Agradeço à minha mãe, Zilma dos Santos Amorim, por sempre apoiar meu crescimento como pessoa e acadêmica, jamais questionou minha escolha de curso acadêmico; sou eternamente grata por tudo que tem feito.

Agradeço aos meus tios, Rosinaldo dos Santos (*in memoriam*) e Josinaldo dos Santos (*in memoriam*), pelos ensinamentos que adquiri; foram excelentes pessoas que tive a oportunidade de conviver.

Agradeço ao professor Me. Jorge Emílio Henriques Gomes (*in memoriam*), por todo incentivo e aprendizado que levarei para o resto da minha vida, e sou grata pela amizade que pudemos construir.

Agradeço ao professor Me. Jamil da Silva, por ser meu orientador, sobre o seu apoio na construção deste trabalho.

Agradeço em geral a todos os professores do IFAP que tive a enorme gratulação de aprender sobre a química que é um curso que abrirá muitas oportunidades para minha vida profissional.

Obrigado a todos!

RESUMO

Trata-se de um estudo sobre reações nucleares: compreendendo a análise histórica e suas descobertas no ensino da radioatividade. Partindo da pesquisa de cientistas principais, como Wilhelm Röntgen, Henri Becquerel, Marie Curie, Pierre Curie e Ernest Rutherford que descobriram a radioatividade. Nesse escopo do trabalho também é apresentado o contexto histórico e técnico da descoberta dos raios alfa, beta e gama, além da fissão nuclear, fusão nuclear e energia nuclear. Os objetivos são analisar como surgiu a radioatividade em abordagem histórica, a sua aplicabilidade no mundo contemporâneo e expor a sua importância do aprendizado no ensino médio. A metodologia utilizada neste trabalho buscou desenvolver, de uma maneira mais completa, a história da radioatividade em livros em língua estrangeira para trazer os avanços científicos e sua aplicabilidade para a vida humana. Utilizou-se um estudo bibliográfico, além dos livros, a partir de sites específicos e artigos científicos, logo uma metodologia de abordagem qualitativa. A pesquisa fundamentou que o contexto histórico é importante no ensino da radioatividade para compreensão do aluno, a fim de não o tornar indiferente com essa temática, passando a reconhecer a importância e grande aplicabilidade da radioatividade nos tempos modernos.

Palavras chaves: radioatividade; história; ensino.

ABSTRACT

It is a study on nuclear reactions: comprising historical analysis and its discoveries in the teaching of radioactivity. Starting from the research of leading scientists, such as Wilhelm Röntgen, Henri Becquerel, Marie Curie, Pierre Curie, and Ernest Rutherford who discovered radioactivity. Within this work scope, the historical and technical context of the discovery of alpha, beta and gamma rays is also presented, in addition to nuclear fission, nuclear fusion and nuclear energy. The objectives are to analyze how radioactivity came about in a historical approach, its applicability in the contemporary world and expose its importance of learning in high school. The methodology used in this work sought to develop, in a more complete way, the radioactivity history in books in a foreign language to bring scientific advances and their applicability to human life. A bibliographic study was used, in addition to books, from specific websites and scientific articles, then a qualitative approach methodology. The research grounded that the historical context is important in the teaching of radioactivity for the understanding of the student, in order not to make him indifferent with this theme, starting to recognize the importance and great applicability of radioactivity in modern times.

Keyword: radioactivity; history; teaching.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	9
2	OBJETIVO.....	11
2.1	Geral.....	11
2.2	Específicos.....	11
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	12
3.1	Abordagem histórica da descoberta da radioatividade.....	12
3.2	Conceito de radioatividade.....	18
3.3	A partícula alfa e explicação técnica de suas características.....	19
3.4	A partícula beta e explicação técnica de suas características.....	19
3.5	A radiação gama e explicação técnica de suas características radioativas.....	20
3.6	Abordagem histórica e descrição técnica da fissão nuclear.....	21
3.7	Abordagem histórica e descrição técnica da fusão nuclear.....	23
3.8	Energia nuclear uma abordagem histórica e contemporânea.....	24
3.9	Reações nucleares e suas aplicações, uma abordagem contemporânea.....	32
3.10	A importância do estudo da radioatividade no ensino médio.....	39
4	METODOLOGIA.....	42
4.1	Tipologia da pesquisa.....	42
4.1.1	Quanto à abordagem: qualitativa.....	42
4.1.2	Quanto à natureza.....	43
4.1.3	Quanto aos objetivos.....	43
4.1.4	Quanto aos procedimentos.....	43
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	47
	REFERÊNCIAS.....	48

1 INTRODUÇÃO

A pesquisa tem sob a égide o tema reações nucleares: Compreendendo a análise histórica e suas descobertas no ensino da radioatividade. A radioatividade é a emissão espontânea de raios por um núcleo atômico instável que produz energia por partículas e ondas para se tornar estável. Os átomos que se desintegram naturalmente são denominados de átomos radioativos e os núcleos desses átomos são instáveis. Subentende-se que o aluno já tenha estudado sobre modelos atômicos.

Na abordagem histórica foram vários os cientistas que contribuíram para a descoberta da radioatividade, como o Wilhelm Röntgen, Henri Becquerel, Marie Curie, Pierre Curie e Ernest Rutherford. Röntgen descobriu os raios-x em 8 de outubro de 1895. No início do ano de 1896, Becquerel interessou-se em estudar materiais naturais que emitiam fosforescência a fim de identificar se esses raios se assemelhavam aos raios-x. Ele descobriu que os raios não eram provenientes da fosforescência, pois os raios emitidos dos sais de urânio são diferentes dos raios-x e concluiu que a radiação era originada do próprio elemento. Os raios ficaram conhecidos como raios de Becquerel. Marie estudou os relatórios dele e teve a mesma conclusão, um passo a mais de forma afirmativa sobre a definição da radioatividade – os raios invisíveis foram chamados de radioatividade. Na abordagem também é levado em consideração o contexto histórico dos raios alfa, beta, gama e suas descrições técnicas. O entendimento da fissão nuclear e fusão nuclear são de fundamental importância para estudar o processo de energia nuclear.

É importante que a aprendizagem ocorra de maneira interdisciplinar – e este assunto pode proporcionar isso – para que inclusive cause maior interesse no aluno e propicie um melhor convívio. Destaca-se ainda a importância de tratar o assunto da radioatividade no ensino médio justapondo no currículo escolar, incentivando o estudante na construção do conhecimento, aumentando o senso de responsabilidade social e, com isso, avaliar de maneira crítica determinados assuntos que lhe submetem.

A partir destas considerações, a hipótese desta pesquisa consubstanciou-se na possibilidade do ensino da história da radioatividade, sem que houvesse déficit no conhecimento teórico e prático dos alunos, despertando interesse pelo assunto.

Diante disso, o objetivo geral desta pesquisa foi analisar o processo histórico da radioatividade. Os objetivos específicos, por sua vez, foram analisar a aplicabilidade da radioatividade no mundo contemporâneo e expor a importância do aprendizado da radioatividade no ensino médio.

Por conseguinte, a metodologia utilizada neste trabalho buscou desenvolver, de uma maneira mais completa, a história da radioatividade em livros (incluindo alguns em língua estrangeira) para trazer os avanços científicos e sua aplicabilidade para a vida humana. Realizou-se um estudo bibliográfico, sites específicos e artigos científicos, em uma abordagem qualitativa.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

- Analisar o processo histórico da radioatividade e a sua importância no ensino.

2.2 Específicos

- Analisar como surgiu a radioatividade em uma abordagem histórica.
- Analisar a aplicabilidade da radioatividade no mundo contemporâneo.
- Expor a importância do aprendizado da radioatividade no ensino médio.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Abordagem histórica da descoberta da radioatividade

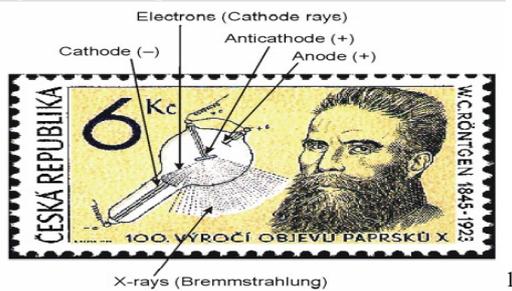
Wilhelm Röntgen que nasceu em 1845 em Lenep, na Prússia (atual Remscheid, Alemanha), recebeu o primeiro Prêmio Nobel de Física, em 1901, pelos seus estudos que contribuíram para a descoberta dos raios Röntgen (L'ANNUNZIATA, 2007).

Para isso cita-se:

Röntgen descobriu os misteriosos raios invisíveis em 8 de novembro de 1895 quando estava estudando os raios catódicos, isto é, a corrente que fluiria através de um tubo de vidro parcialmente evacuado (tubo de raios catódicos então conhecido como tubo de Crookes). Com um tubo coberto de papel preto e em uma sala escura ele percebeu que uma placa de papel coberta com o composto químico platinocianeto de bário se tornaria fluorescente (emitia luz) mesmo a uma distância de 2 m do tubo de raios catódicos. Ele foi capaz de demonstrar que os raios invisíveis vieram da colisão dos raios catódicos (elétrons) com a superfície de vidro do tubo de raios catódicos ou da colisão dos raios catódicos com outros materiais, como o alumínio inserido no vidro do tubo. Outros estudos de Röntgen demonstraram que esses raios podem viajar através de vários materiais para extensões variadas, quando estes foram colocados no caminho dos raios invisíveis, e os raios transmitidos poderiam ser medidos com chapas fotográficas. Ele deu a esses raios misteriosos o nome de raios-x, por causa de sua natureza desconhecida e “por uma questão de brevidade”, como ele afirmou em seu artigo original (Roentgen, 1895, 1896) (L'ANNUNZIATA, 2007, P. 48).

O autor remete que Röntgen descobriu os raios invisíveis em 8 de outubro de 1895, pois ele estava estudando sobre os raios catódicos, que são elétrons emitidos por uma aplicação de alta tensão nos eletrodos de polo positivo a outro negativo em um tubo denominado Crookes, coberto por um papel preto que continha platinocianeto de bário $\text{BaPt}(\text{CN})_4$ luminescente. Ele provou que os raios invisíveis emitidos eram resultados de colisões dos raios catódicos com a superfície de vidro do tubo, pois também emitiam raios catódicos em contato com determinados materiais como o alumínio que estava anexado no vidro do tubo (Figura 1).

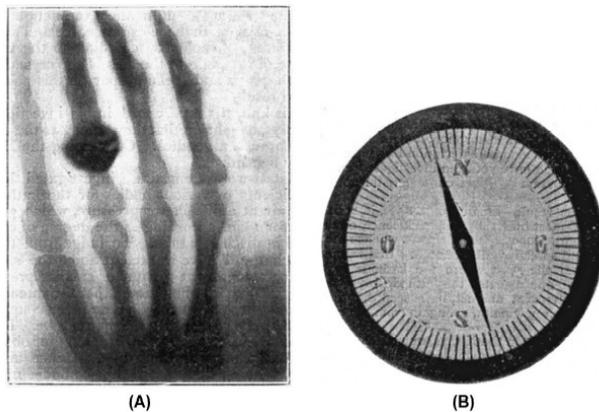
Figura 1 - Componente do tubo de Crookes



Fonte: (L'ANNUNZIATA, 2007)

Röntgen demonstrou que os raios invisíveis eram capazes de atravessar materiais, podiam ser medidos através de chapas fotográficas e denominou-os de raios-x, devido à sua inerência desconhecida. Como resultado da transparência de vários materiais, Röntgen relatou imagens: (A) mão esquerda de sua esposa com um anel no terceiro dedo e (B) caixa de metal com uma bússola quando colocados na superfície do filme fotográfico (Figura 2).

Figura 2 - Relato das primeiras imagens de raios-x



Fonte: (L'ANNUNZIATA, 2007)

Henri Becquerel, físico francês nascido em 1852, compartilhou o Prêmio Nobel de Física com Pierre Curie e Marie Curie em 1903. Logo depois de Röntgen descobrir os raios-x, no início de 1896, Becquerel estudou certos elementos naturais fosforescentes com o intuito de saber se os raios emitidos se assemelhavam aos raios-x (KARABŮK, 2008).

Segundo L'annunziata (2007) nesse período Henri Becquerel era professor da École Polytechnic, em Paris, na qual estudou sobre alguns sais de urânio, inseriu amostras de sulfato de urânio $U(SO_4)_2$ em placas fotográficas acomodadas em papel preto e/ou folha de alumínio,

1 Electrons (cathode rays): Elétrons (raios catódicos) / Anticathode: Anticátodo/ Anode:Ânodo/ cathode: Cátodo/ x-rays: raios-x

a fim de proteger da luz, pois ele percebeu que os raios emanados dos sais do urânio eram apartados de qualquer fonte de excitação como luz, eletricidade ou calor.

Ademais, L'annunziata destaca que:

Becquerel forneceu evidências de que todos os sais de urânio emitiam a mesma radiação, e que esta era uma propriedade do átomo de urânio, especialmente porque o urânio metálico emitia uma radiação muito mais intensa do que os sais desse elemento. Ele também foi capaz de demonstrar que a radiação era diferente dos raios-x descobertos por Röntgen. A nova radiação produziu ionização e a intensidade da radioatividade poderia ser medida por essa ionização, como em suas palavras, "o urânio descarregava materiais eletricamente carregados localizados a alguma distância". Até hoje, alguns dosímetros de bolso usados por trabalhadores de radiação, medem a dose de radiação de acordo com o grau de descarga elétrica causada pela radiação ionizante que incide sobre uma câmara eletricamente carregada que pode caber no bolso da camisa. Não só esses raios produziram ionização, mas ele também foi capaz de demonstrar que grande parte desses raios poderia ser desviada por um campo magnético e eram partículas carregadas de propriedades semelhantes aos raios catódicos (L'ANNUNZIATA, 2007. p. 51).

Percebe-se que para este literato, Becquerel concluiu que os raios não eram provenientes da fosforescência, e que os raios emitidos dos sais de urânio são diferentes dos raios-x. Através dos estudos experimentais sobre o urânio, Becquerel percebeu que a radiação era proveniente de próprio elemento. Ele denominou-o de raios de Becquerel (XAVIER, 2006).

Em 1867, Maria Sklodowska nasceu em Varsóvia, na Polônia. Embora ela amasse literatura e sociologia, decidiu estudar ciências e matemática, porém as universidades polonesas não aceitavam mulheres, e Maria foi para Paris estudar na universidade de Sorbonne. Em 1891, ela utilizou seu nome em francês como Marie, obteve dois mestrados em física e matemática, e, no ano de 1894, estava à procura de um tema de pesquisa para sua tese de doutorado (MALLEY, 2011).

Segundo Malley (2011), Marie estava estudando sobre as propriedades magnéticas de diversos aços na Escola Municipal de Física e Química Aplicada, concedida por Pierre Curie físico francês. Eles se casaram e deram continuidade aos estudos de pesquisa juntos. Os relatórios de Becquerel sobre os raios de urânio instigaram Marie Curie a estudá-los por meio de efeito elétrico, na época o eletroscópio (continha duas peças finas de metal fixadas a uma haste metálica suspensa de um isolador; o aparelho era capaz de ser protegido de efeitos elétricos dispersos por uma caixa de metal), detectava os efeitos elétricos no ar que eram causadas pelas partículas carregadas, denominadas de íons (Figura 3). Um corpo quando carregado eletricamente toca na haste e transfere a carga para as folhas de metal, pois as cargas são separadas por elas.

Figura 3 - Eletroscópio de folha de ouro. De Silvanus P. Thompson, Lições elementares em *electricity e magnetism* (New York: Millan, 1901), 16.



Fonte: (MALLEY, 2011)

Quando as radiações quebram as moléculas em íons são denominadas de radiações ionizantes – elas bombardeiam as moléculas de ar adjacentes ao eletroscópio e as cargas destes são retiradas pelo ar. Com isso o cientista pode determinar a força da radiação através da mudança do ângulo das folhas do instrumento.

Segundo Malley (2011), Pierre Curie e seu irmão Jacques Curie alguns anos antes descobriram que os cristais de quartzo emitiam sinais elétricos quando comprimidos. Pierre usou-o como um tipo de eletroscópio de piezoelétrico sensível (Figura 4). Este aparelho compara os efeitos elétricos que as radiações estabelecem no cristal. Marie podia detectar diferenças pequenas nas radiações ionizantes, porém pôde comparar a intensidade dos raios invisíveis de diferentes substâncias. Ela designou os raios ionizantes de atividade, pois está relacionado à quantidade de urânio, não com o estado físico e químico. Marie também testou um material que continha o tório, metal raro que tomou toda a carga elétrica do aparelho eletroscópio. Com isso, Marie teve a mesma conclusão de que Becquerel, um passo a mais de forma afirmativa: os raios invisíveis foram chamados de radioatividade, e esta tem propriedades específicas para cada elemento relacionado ao peso, espectro e valência.

Figura 4 - Pierre Curie com o piezoelétrico que ele inventou



Fonte: (MALLEY, 2011)

Houve outras descobertas, de novos elementos. Marie utilizou o piezoelétrico para estabelecer valores de atividade de determinadas substâncias. Sendo assim, ela percebeu que o mineral *pitchblende* (Figura 5) continha atividade mais alta do que o urânio ou o tório e decidiu fazer separações químicas do mineral, coletando as porções solúveis e insolúveis e submetendo a novos testes de separações. Pierre Curie, juntamente com ela, em 1898, percebeu que os níveis de radioatividade se mantinham nas porções insolúveis que continham o bismuto, porém este não é radioativo. A atividade era resultante de outro elemento que Marie batizou de polônio, em homenagem à sua pátria. Alguns meses depois o *pitchblende* apresentou um segundo elemento, a reação separou elementos comparados ao bário que também evidenciou nível de radioatividade de um elemento, que foi denominado como rádio (Malley, 2011).

Figura 5 - A *pitchblende* é um minério comum de urânio. É uma variedade de uraninita, UO_2



Fonte: (ATKINS, 2011)

Marie Curie morreu de leucemia em 4 de julho de 1934, provavelmente adquirida por anos de exposição durante a pesquisa da radioatividade, que muito contribuiu para a medicina, física e química (L'ANNUNZIATA, 2007).

Segundo L'annunziata (2007), o cientista Ernest Rutherford nasceu em 10 de agosto de 1871, premiado com o Nobel de Química em 1908 pelas suas pesquisas sobre a desintegração dos elementos e a química das substâncias radioativas. A primeira descoberta tratou-se de átomos radioativos que emitem partículas alfa ou beta que se desintegram em átomos de peso menor; além disso, ele demonstrou que o átomo mais leve produzido como decadência do rádio seria também radioativo e, por sua vez decairia para outro átomo mais leve, e assim sucessivamente até que o átomo do produto se tornasse estável.

Consoante Erdem (2008), certos núcleos estáveis que não são radioativos podem sofrer alterações radioativas sendo bombardeados por várias partículas. Esses núcleos bombardeados são transmutados em novos núcleos, como resultado do bombardeio, e esses processos são denominados de radioatividade artificial. O elemento $^{17}_8O$ não radioativo foi produzido por Ernest Rutherford, em 1919, quando ele bombardeou $^{14}_7N$ com partículas emitidas por rádio e polônio. Dessa forma, ocorreu a transformação de um elemento em outro. A equação (1) nuclear desta reação radioativa está representada abaixo:



3.2 Conceito de radioatividade

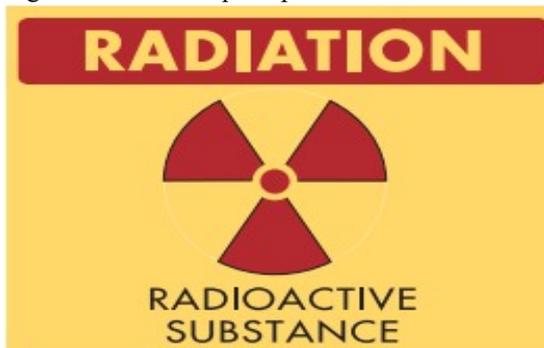
Patli (2008) afirma que a radioatividade é a emissão espontânea ou artificial de raios radioativos por um núcleo atômico instável. Os átomos que se desintegram naturalmente são denominados de átomos radioativos e os núcleos desses átomos são instáveis.

Segundo L'annunziata (2007) a radioatividade também é conhecida como decadência nuclear, pois é o processo de decadência espontânea e transformação da instabilidade atômica e os núcleos acompanhados pela emissão de radiação (também conhecidos como radiação nuclear).

Segundo Eichler (2021), a radioatividade se define como um isótopo radioativo instável para outro de menor instabilidade até que se torne totalmente estável. O núcleo que se desintegra emite radiações de ondas eletromagnéticas ou partículas radioativas.

Na figura 6 tem-se o símbolo internacional da radioatividade:

Figura 6 - Símbolo que representa a radioatividade em uma área ou um material



Fonte: (ERDEM, 2008-Adaptada)

As descobertas dos cientistas de Becquerel, Curie e Rutherford enunciaram que a radioatividade é o decaimento nuclear, ou seja, a decomposição parcial do núcleo. A mudança da constituição de um núcleo é denominada de reação nuclear. Pois os núcleos são formados por nêutrons e prótons que juntamente são ditos como núcleons. Um núcleo específico que tem determinado número atômico e de massa é intitulado de nuclídeo. Cada núcleo que sofre modificação de forma espontânea emite radiação e a cada modificação é um nuclídeo diferente (ATKINS, 2011).

As reações nucleares também podem ser chamadas de radiação ionizante, pois tem capacidade energética necessária para remover elétrons de um átomo ou moléculas, a fim de ionizá-los (ATKINS, 2011).

3.3 A partícula alfa e explicação técnica de suas características

Segundo L'annunziata (2007), Ernest Rutherford, em 1899, havia designado radiação alfa (α , definida com base na sua facilidade de absorção na matéria. Conforme Özdin (2008), as partículas alfas são parecidas aos núcleos do átomo de hélio (${}^4_2\text{He}$), pois a velocidade da partícula é aproximadamente 1/10 da velocidade da luz. A partícula é simbolizada por $\alpha = {}^4_2\text{He}^{+2}$ e é desviada por eletricidade e campo magnético devido à carga positiva. À proporção que penetra na matéria, a partícula alfa produz grande quantidade de íons, entretanto o poder de penetração é significativamente baixo, e, por isso é facilmente interrompida por uma folha de papel. O núcleo de um átomo em decadência pela partícula alfa perde o He^{+2} , ou seja, esse elemento emite dois prótons e dois nêutrons, logo haverá uma diminuição de dois no número atômico e 4 no número de massa atômica desse núcleo. A equação nuclear mostra abaixo um isótopo (elementos que possuem mesmo número atômico) de urânio ${}^{238}_{92}\text{U}$ quando irradia partículas alfa equação (2):



Percebe-se na equação que o número atômico e a massa atômica estão balanceados em cada lado da reação nuclear, pois a partícula alfa é emitida como produto da decomposição de um radionuclídeo (átomo instável) e o tório, que possui um núcleo predominantemente de número atômico maior que 81, também é resultante da desintegração da reação.

3.4 A partícula beta e explicação técnica de suas características

Segundo Strathern (2000), Pierre Curie, em 1900, foi quem descobriu a radiação emitida com a carga negativa, denominada por Ernest Rutherford como raio beta, pois quando a radiação beta passa perpendicularmente às linhas de força de um campo magnético é desviada em direção oposta, característica inerente das partículas carregadas.

De acordo com Karabük (2008), a partícula beta se iguala a um elétron, pois se move aproximadamente à velocidade da luz, já que é carregada negativamente e tem as mesmas propriedades dos elétrons. A partícula, representada por ${}_{-1}^0e$ ou pelo símbolo β^- , é mais leve e mais rápida que a partícula alfa, por isso o poder de penetração é maior. Em concordância

com Patli (2008), para que um átomo tenha decaimento em beta ${}_{-1}^0e$ há emissão de um elétron do núcleo. Esse elétron emitido é produzido mediante resultado de transmutação de um núcleo de um nêutron em um próton. Como mostrado na equação (3):



O resultado para a decadência de um átomo, o número atômico do elemento aumenta uma unidade e o número de massa atômica permanece inalterado, ou seja, quando o isótopo ${}^{234}_{90}Th$ irradia uma partícula beta se transmuta em ${}^{234}_{91}Pa$ (ÖZDIN, 2008), de acordo com a equação (4):

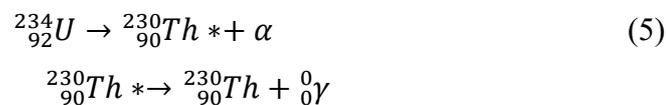


3.5 A radiação gama e explicação técnica de suas características radioativas

Consoante L'annunziata (2007) foi Paul Ulrich Villard, nascido na França em 1860, quem descobriu a radiação gama no ano de 1900. Ele inseriu uma amostra de cloreto de bário ($BaCl_2$), contendo rádio, selada em uma ampola de vidro, dentro de uma insígnia de chumbo, que continha uma pequena abertura que emitia um feixe colimado de radiação da fonte de rádio. Para o feixe de radiação colocou-se duas placas fotográficas embrulhadas em um papel preto a prova de luz. Entre os dois pratos estava impressada uma barreira de chumbo de 0,3 mm. Um campo magnético foi aplicado no feixe colimado para desviar os raios desconhecidos na época, que eram os raios beta (β). A radiação (γ) não se alterou com o campo magnético, penetrou o chumbo com alta intensidade e emulsificou um ponto na segunda placa fotográfica, pois esta foi a primeira a receber radiação nuclear do rádio. Paul Villard tentou “medir” a refração dos raios desviáveis emitidos pelo rádio, pois descobriu uma radiação significativamente penetrante não desviável, de natureza desconhecida. Essa radiação tinha propriedade semelhante aos raios-x, mas com penetração mais forte e foi nomeada por Ernest Rutherford como radiação gama (γ), em 1903.

Conforme Erdem (2008), os raios gama (γ) são radiações eletromagnéticas emitidas por um núcleo instável de um átomo durante a decadência radioativa, pois um núcleo instável perde o excesso de energia na forma de raios gama para se tornar um núcleo mais estável com menor energia. O poder de penetração dos raios gama é de 100 vezes maior do que a radiação

beta, só pode ser parada com blocos de concretos de 2 a 3 m de espessura, pois os raios são partículas eletricamente neutras, não são desviados por campos elétricos ou magnéticos. De acordo com L'annunziata (2007), a radiação gama também pode reagir como uma partícula com massa zero em repouso, pois foi Albert Einstein que apresentou a dupla natureza da radiação eletromagnética quando ele explanou sobre o efeito fotoelétrico. Dessa maneira ele descobriu a partícula elementar renomada como fóton, que é a radiação com natureza particulada. O núcleo com o símbolo asterisco (*) representa instabilidade, quando perde energia em forma de radiação gama torna-se estável conforme a equação (5) nuclear:

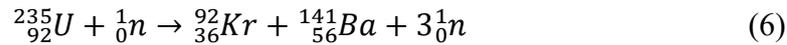


Quando o elemento ${}_{92}^{234}\text{U}$ se converte em ${}_{90}^{230}\text{Th}$, emite raio, e conseqüentemente produz radiação gama (γ).

3.6 Abordagem histórica e descrição técnica da fissão nuclear

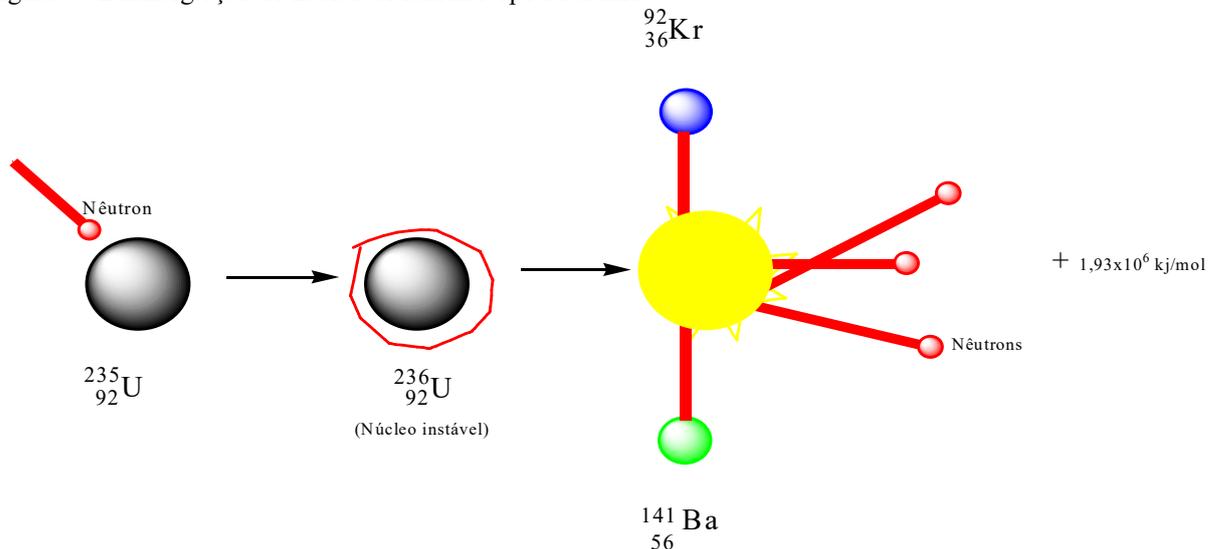
Conforme L'annunziata (2007), o italiano Enrico Fermi recebeu o Prêmio Nobel de Física, em 1938, por suas certificações da existência de novos elementos radioativos (radioisótopos), produzidos por nêutrons, e pela descoberta relacionada de reações nucleares por nêutrons lentos. Ele produziu uma fissão de cadeia nuclear em 2 de setembro de 1942, também chamada de fissão nuclear induzida. É uma reação de bombardeamento do isótopo de urânio ${}^{238}\text{U}$ com nêutrons. Para isso, quando os núcleos mais pesados são bombardeados por nêutrons lentos, os núcleos dos mais leves elementos são formados, além da energia liberada há emissão de vários nêutrons. Esse processo contínuo refere-se à bomba atômica e trata-se do princípio de reatores nucleares. A desintegração de um núcleo mais pesado em núcleos mais leves, por bombardeio de nêutrons, é chamada de fissão nuclear (divisão nuclear).

Ademais Atkins (2011) e Öz (2008) afirmam que em 1938, os alemães Otton Hahn e Fritz Strassman provaram que o bombardeio de núcleos de urânio com nêutrons produz vários núcleos mais leves e estáveis. Os núcleos produzidos são radioisótopos como o bário (Ba) e o cério (Ce). O elemento urânio é o mais utilizado nos processos de fissão, possui dois isótopos naturais, o ${}^{238}\text{U}$ que constitui 99,3% do minério de urânio e o ${}^{235}\text{U}$, com 0,7%. Abaixo a representação da equação (6) de reação de fissão nuclear:



Segundo Erdem (2008), o primeiro teste de bomba atômica foi realizado em 16 de julho de 1945, no deserto do Novo México (EUA). Após o teste executado com êxito, a primeira bomba atômica foi lançada em Hiroshima, no Japão, durante a Segunda Guerra Mundial, em 6 de agosto de 1945, e a segunda bomba atômica foi lançada alguns dias depois em Nagasaki, no final da Segunda Guerra Mundial. Na figura 7 se apresenta a desintegração de um núcleo de ${}^{235}_{92}\text{U}$ em ${}^{92}_{36}\text{Kr}$ e ${}^{141}_{56}\text{Ba}$ como resultado do bombardeamento pelo nêutron:

Figura 7 - Desintegração do núcleo de radioisótopo de urânio



Fonte: (ERDEM, 2008 – adaptada)

Segundo Jones (2011), a fissão nuclear espontânea acontece quando ocorrem oscilações naturais de núcleos pesados fazendo com que se quebrem em dois núcleos de massa semelhantes, pois o núcleo se distorce em um formato de halter (duas esferas unidas por uma haste) e se quebra em dois núcleos menores (Figura 8), como exemplo a desintegração do amerício-244 em iodo e molibdênio equação (7):

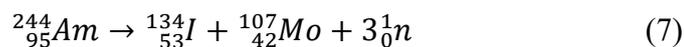
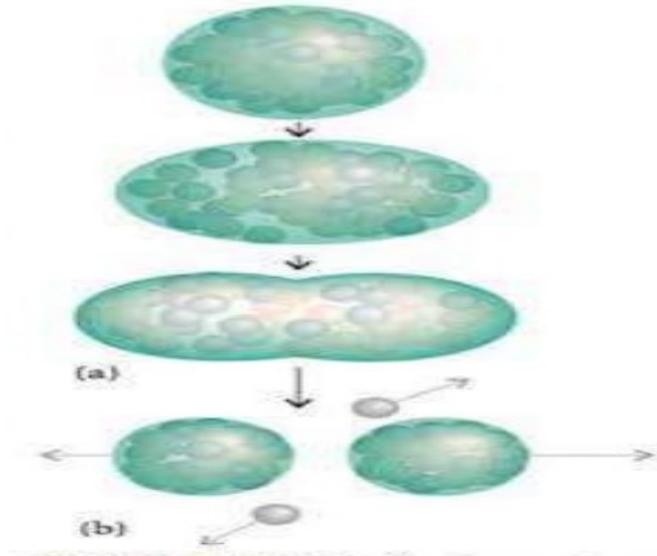


Figura 8 - Fissão nuclear espontânea em formato de halter



Fonte: (ATKINS, 2011)

Segundo Atkins (2011) há outras descobertas de radiação nuclear após os trabalhos do Rutherford que são geradas a partir de partículas que se movem aceleradamente dos nêutrons ou prótons, ou, antipartículas que é uma partícula com massa atômica igual de uma partícula subatômica com carga oposta. Tem-se o pósitron como exemplo que tem a mesma massa do elétron, porém de carga positiva, é representado por β^+ . A antipartícula e a partícula correspondente se colidem aniquilam-se e se convertem em energia.

3.7 Abordagem histórica e descrição técnica da fusão nuclear

A combinação de dois ou mais núcleos mais leves para formar um núcleo mais pesado é denominada de fusão nuclear. A quantidade de energia liberada na fusão é maior do que na reação de fissão, porém é necessária uma energia de ativação, como a explosão de bomba atômica, para produzir uma reação de fusão nuclear. A reação de fusão nuclear mais simplificada é a combinação dos isótopos de hidrogênio deutério e trítio para formar o núcleo mais pesado de hélio. (KARABÜK, 2008)

A equação (8) representa o processo da reação de fusão nuclear:



Os núcleos de deutério e trítio devem ficar próximos para que inicie o processo de reação nuclear, visto que os núcleos atômicos se repelem, portanto devem ter energia muito

alta para não se repelirem, pois é um processo que ocorre em temperatura acima de 100 milhões de graus centígrados. Desse modo, os núcleos dos átomos se tornam plasmas, nos quais núcleos e elétrons se movem livremente com alta energia cinética suficientemente para que os núcleos superem suas forças repulsivas e se combinem. Devido às altas temperaturas necessárias para que ocorra a fusão, esse processo também é denominado de fusão termonuclear (PLATI, 2008).

A fonte de energia do sol e das estrelas são exemplos de reação de fusão e a vantagem desta reação de fusão, em relação à fissão, é a abundância de hidrogênios e isótopos na natureza. A fusão nuclear é a base da bomba de hidrogênio; os efeitos da bomba atômica em temperatura e pressão altas alavancam a reação de fusão nuclear e a energia da bomba de hidrogênio é 1000 vezes maior que a energia da bomba atômica. (ERDEM, 2008)

3.8 Energia nuclear uma abordagem histórica e contemporânea

A grande quantidade de energia proveniente do processo de energia nuclear é dada pela equação de Albert Einstein, $E = mc^2$, que tem como base a conversão da massa em energia e vice-versa (RUSSEL, 2000). A teoria da relatividade de Einstein diz que determinada massa de um objeto é a medição da quantidade de energia. Quanto maior a massa, maior será a energia, ou seja, a energia total, E , e igual ao produto entre a massa, m , e o quadrado da velocidade da luz, c , *igual a* $3,00 \times 10^8 m \cdot s^{-1}$ (ATKINS, 2011).

Segundo L'annunziata (2007), após as descobertas da fissão nuclear, ilustrou-se a possibilidade de que a reação em cadeia poderia ser controlada para liberar e aproveitar a grande quantidade de energia e, com isso, fornecer energia elétrica mediante a fissão. Enrico Fermi fez a primeira demonstração bem-sucedida de um sistema nuclear controlado da reação em cadeia em 2 de dezembro de 1942. Após dois anos ele e Leo Szilard ganharam o Prêmio Nobel e registraram uma patente como coinventores da pilha atômica, assim discorrendo que a reação em cadeia nuclear é autossustentada para a produção de energia nuclear.

A demanda crescente energética para sustentar o desenvolvimento econômico, o meio ambiente que possui restrições e a necessidade de reduzir a poluição global das emissões dos gases de efeito estufa, reduzindo a queima de combustíveis fósseis e a preocupação com a demanda por petróleo e o gás natural está crescendo muito rápido em relação à oferta, por isso o interesse das melhorias na energia nuclear (L'ANNUNZIATA, 2016).

Muitos países já utilizam fontes de energia de usinas nucleares como os Estados Unidos, Rússia, França, Japão entre outros. No Brasil deu-se início em duas construções de usinas, Angra II e Angra III, porém foi concluída apenas a Angra II, e, em 2000, começou a operação de fornecimento de energia (LIMA, 2006).

A energia de fusão nuclear tem uma vantagem do deutério e trítio porque não produzem nenhum resíduo radioativo, pois a maioria é nêutron e partículas alfa. Os nêutrons podem produzir alguns isótopos no material de blindagem no reator circundante, mas a maioria tem vida curta e não há necessidade de armazenar resíduos radioativos em depósitos geológicos por longo período como ocorre com a fissão nuclear (L'ANNUNZIATA, 2016).

Segundo L'annunziata (2016) os dados da Nuclear Technology Review (2006) mostram que, no final de 2005, havia 441 usinas nucleares em 30 países, gerando eletricidade e fornecendo aproximadamente 16% da eletricidade do mundo. Em 2006 foi construído 26 novos reatores de energia em construção em nove países, e está previsto que o uso da energia nuclear crescerá em todo o mundo para atender às crescentes necessidades de energia deste século. O papel fundamental que a energia nuclear desempenha como fonte de energia foi comemorada no selo postal ilustrado Figura (9) emitido na Finlândia, que mostra uma representação artística de um núcleo do reator produzindo calor a partir da fissão nuclear e uma onda de eletricidade gerada a partir do calor. O crescimento previsto da energia nuclear em todo o mundo é baseado em muitos fatores O crescimento previsto da energia nuclear se deve a diversos fatores incluindo a crescente demanda por energia para sustentar o desenvolvimento em todo o mundo, as restrições ambientais colocadas sobre a necessidade de reduzir a poluição global do efeito estufa das emissões de gases, reduzindo nossa necessidade de queimar combustíveis fósseis, preocupações com o futuro suprimento de energia e custos de geração mais baixos e melhorias na segurança da energia nuclear. A Technology Review (2006) fornece uma visão geral dos avanços atuais e futuros na fissão, que incluem reduções de custos e melhorias de segurança.

Figura 9 - Selo postal de energia nuclear



Fonte: (L'annunziata, 2016)

Há muitos reatores de fusão nuclear em desenvolvimento para produção de energia elétrica. Pois estes reatores são baseados em manutenção de plasmas em altas temperaturas por meio de confinamento magnético em um *tokamak*, palavra derivada de toroidal russo *kamera ee magnetnaya katushka* que tem significado de câmara magnética em forma de toro, que seu projeto deu início por físicos soviéticos em 1951 que ganharam o Prêmio Nobel, Andrei Sakharov e Igor Tamm, o selo postal de *tokamak* russo foi emitido na Rússia em 1987 (Figura 10). Um importante experimento de queima de plasma fusão deutério trítio (D-T) foi realizado com 0,2 g de combustível de trítio com o reator Joint European Torus no Reino Unido em 1991; e um programa experimental D-T de maior potência com 20 e 30 g de trítio foram continuados no reator de teste de fusão *tokamak* em Princeton em 1993. O reator europeu alcançou 16 MW de energia de fusão durante aproximadamente 1 s em 1997; e um plasma de longa duração de 4,5 min foi sustentado com um (L'annunziata, 2016). O experimento do *tokamak* supercondutor avançado na China teve um teste de plasma bem-sucedido em 2006. O *tokamak* era um projeto avançado para confinamento magnético toroidal e poloidal de plasma; o design está atualmente em construção em Cadarache pelo projeto internacional ITER. Além disso, um plasma em função com testes de diagnóstico foi conduzido na Pesquisa Avançada de Tokamak Supercondutor da Coreia (KSTAR) um reator de fusão em 2008. Sob os auspícios da AIEA, o projeto internacional ITER que significa "o caminho", em latim, ou "o caminho para nova energia", foi criado em 1988 com o objetivo de projetar e construir um reator de fusão protótipo totalmente operacional.

Existem sete signatários do ITER (China, União Europeia, Índia, Japão, Rússia, Coreia do Sul e Estados Unidos), os quais fornecerão a contribuição financeira e a cooperação técnica necessária para a construção e operação do reator. O projeto do reator de fusão ITER Tokamak foi aprovado pelos membros signatários em 2001; e o local onde o reator seria construído foi acordado em 2005 para ser no sul da França, em Cadarache, perto de Aix-en-Provence. O reator de fusão agora em construção começaria a experimentação de plasma em 2020, e espera-se que o reator esteja totalmente funcional com a fusão D-T em 2027. O reator protótipo se destina a demonstrar que a fusão pode produzir energia relativamente segura com

um alto rendimento líquido de energia, ou seja, mais produção de energia do que energia inserida para ativação no sistema. A produção de energia de fusão por meio de um reator comercial de grande escala com capacidade de geração de energia elétrica e produzir seu próprio combustível de trítio será a próxima etapa após o ITER. Este reator de fusão comercial em grande escala está planejado com o projeto DEMO, ou usina de demonstração. O DEMO deve começar a operar por volta do ano 2030, com conexão à rede elétrica em 2040.

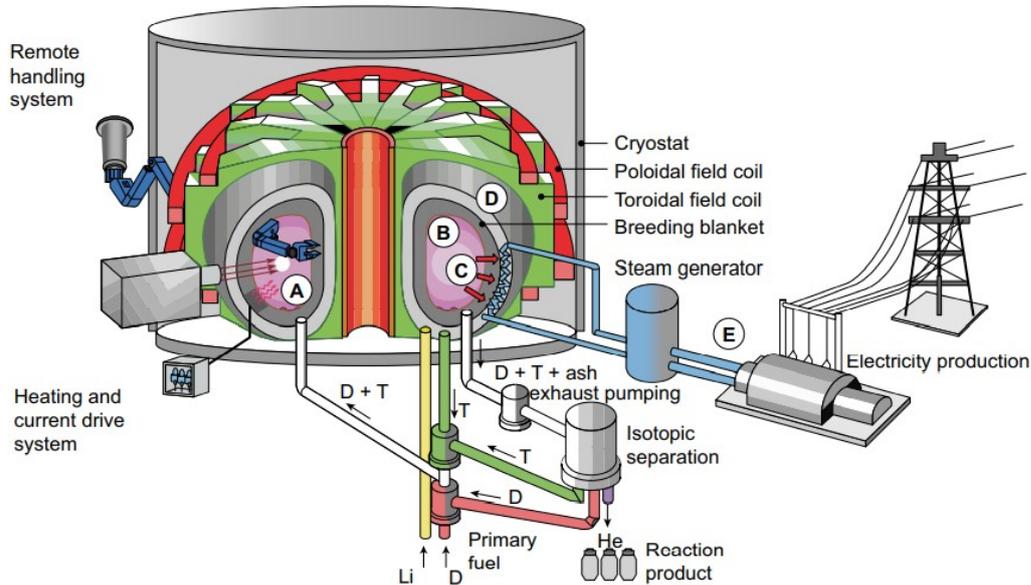
Figura 10 - Selo postal do *tokamak*



Fonte: (L'annunziata, 2016)

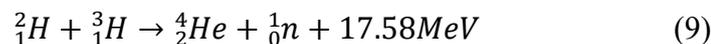
Uma vista esquemática em corte de um reator de energia de fusão, com base no confinamento magnético do plasma quente, é ilustrada em Figura 11. Cinco componentes principais do reator são identificados pelas letras A e E dentro de um círculo. Em primeiro lugar, os combustíveis D-T são introduzidos em uma câmara de vácuo interna em A. Esta é uma câmara fechada com a forma de um toro. Os D-T são aquecidos em excesso de 150 milhões de C e entram no estado de plasma B. Aquecimento, que é necessário para levar o D-T ao estado de plasma ilustrado em A, é realizado por três meios: aquecimento ôhmico, que é o resultado da mudança dos campos magnéticos usados para confinar o plasma dentro do centro da câmara de vácuo; esses campos magnéticos criam uma corrente elétrica muito intensa através do plasma, fazendo com que as partículas carregadas viajem e colidam, criando uma resistência e calor; injeção de feixe neutro; e ondas eletromagnéticas de alta frequência.

Figura 11 - Reator de fusão com base em um confinamento de plasma: A) Câmara de vácuo B) Plasma C) Radiação de plasma D) Manta e E) Produção de eletricidade



Fonte: (L'annunziata, 2016)

A injeção de feixe neutro envolve a aceleração de partículas de alta energia no plasma. Partículas de deutério são aceleradas para o necessário nível de energia e, posteriormente, despojado de seus elétrons com um "neutralizador de feixe de íons". Ao entrar no plasma em alta velocidade, os núcleos de deutério de alta energia sofrem colisões e, assim, transferem sua energia para as partículas de plasma. Este processo traz a temperatura do plasma próxima ao necessário para a fusão D-T. A irradiação com radiação eletromagnética de alta frequência aumenta a temperatura do plasma para os desejados 150 milhões °C, o que é mais do que suficiente para que a fusão ocorra. O plasma quente é mantido dentro da região central da câmara interna por confinamento magnético usando bobinas de campo toroidal e poloidal. O plasma produz energia com a fusão de D-T e a emissão de hélio de 3,52 MeV núcleos e nêutrons de 14,06 MeV de acordo com a reação de fusão da equação (9):



Os nêutrons de alta energia 14,06 respondem por 80% da energia liberada dessa fusão nuclear. Em alta energia os nêutrons não possuem carga e, portanto, podem penetrar no confinamento magnético e depositar energia no cobertor externo da câmara. A energia liberada é absorvida por esta manta da câmara externa, ilustrada em (C) na Figura (11), e o calor é utilizado para produzir vapor para operar uma turbina e gerar eletricidade em (E). Os nêutrons, portanto, perdem energia e são absorvidos por núcleos de lítio em uma manta de

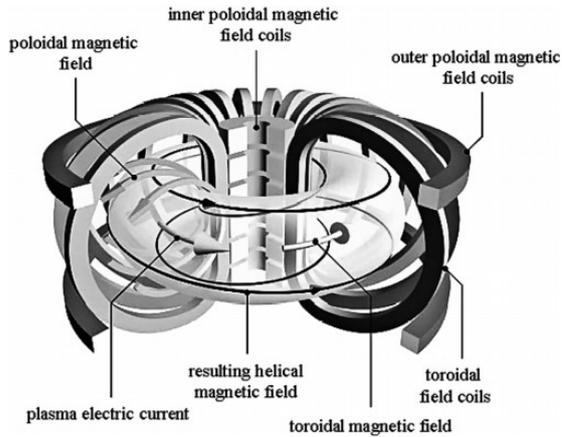
reprodução em (D). A manta de reprodução contém uma alta concentração de lítio para produzir trítio de acordo com a reação da equação (10):



Com a manta reprodutora, o reator de fusão ITER será equipado para produzir mais combustível de trítio do que consome para produzir energia. O trítio produzido pelo reator pode ser introduzido junto com o deutério como combustível quando necessário. Cinzas, consistindo em íons de hélio e D-T não consumido, é extraído da câmara interna, conforme ilustrado na Figura 11, e separado para coletar o hélio; e os D-T não consumidos são reintroduzidos na câmara interna. O criostato, é o sistema de resfriamento e invólucro físico ao redor da câmara de vácuo, fornecendo isolamento térmico para os ímãs supercondutores necessários para o confinamento do plasma.

Segundo L'annunziata (2016) o confinamento magnético de plasma é necessário para evitar que os núcleos D-T escapem, para que possam se fundir e liberar energia. As bobinas de campo toroidal do reator ITER funcionam perpendicularmente ao plasma de núcleos carregados de elétrons, conforme ilustrado na Figura 12, criando uma alta energia magnética de 41 GJ e uma força de campo magnético máxima de aproximadamente 12 T. O sistema de bobinas de campo poloidal consiste em seis bobinas horizontais fora das bobinas toroidais. Os ímãs de campo poloidal comprimem o plasma para dentro, longe das paredes de vácuo da câmara que abriga o plasma. O campo poloidal, que é criado pelos ímãs e as partículas carregadas que viajam no plasma, torcem as linhas do campo magnético para manter a forma e a estabilidade do plasma. Assim, o plasma quente está confinado a viajar dentro da câmara interna em forma de toro do reator de fusão, para longe das paredes da câmara.

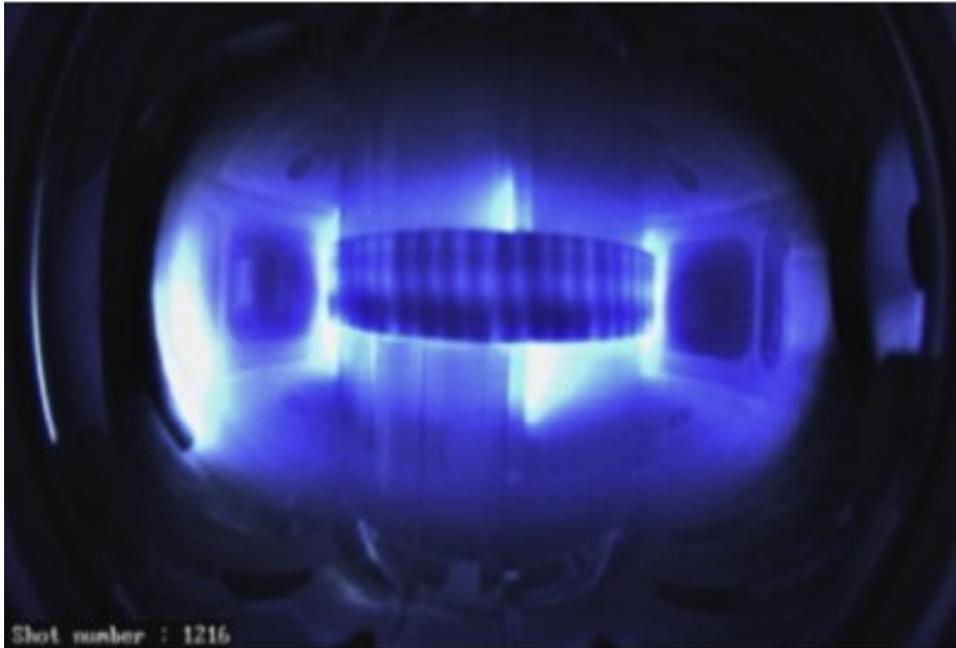
Figura 12 - Configuração magnética Tokamak



Fonte: (L'ANNUNZIATA, 2016)

A figura mostra as direções dos campos magnéticos toroidal e poloidal, que mantêm o plasma em forma de *donut* quente dentro da câmara interna. As linhas de campo toroidal correm horizontalmente junto com os íons de plasma, enquanto as linhas de campo poloidal correm verticalmente em torno do plasma, comprimindo-o para dentro, longe das paredes da câmara. Uma imagem do plasma dentro do qual o fusível D-T em alta temperatura, tirada com uma TV visível remota, é ilustrada na Figura 13. A região central de alta temperatura do plasma emite radiação de comprimentos de onda invisíveis aos nossos olhos; contudo, a imagem é a das regiões externas mais frias do plasma magneticamente confinado. A partir da imagem, pode-se visualizar como o plasma é confinado dentro da câmara interna em forma de toro do reator de fusão.

Figura 13 - Imagem do plasma confinado magneticamente no reator de fusão KSTAR, tirada com uma TV visível remota com quadro de 210 Hz na tomada 1316 de Depark, 2010.



Fonte: (L'ANNUNZIATA, 2016)

Sabe-se que ocorreram acidentes em usinas nucleares de diversos países, uma breve linha do tempo a seguir apresenta alguns deles, como:

- Three Miles Island em 28 de março de 1979 no estado da Pensilvânia, Estados Unidos (PLANAS 2010).
- Em 26 de abril de 1986 houve a explosão no reator de Chernobyl, Ucrânia, com a emissão de quantidades enormes de radiação (GONÇALVES, 2021).
- Ocorreu o acidente de energia nuclear urbano, em Goiânia, em 13 de setembro de 1987, pois havia um aparelho abandonado que continha o isótopo césio-137 no Instituto Goiano de Radiologia (IGR). O elemento emite raios ionizantes que podem causar uma série de doenças como: cânceres, mudança no material genético, impactos ambientais (OKUNO, 2013).
- No Japão, Fukushima Daiichi, em 11 de março de 2011: o acidente nuclear mais recente, diversos estudos comprovaram que foi proveniente da energia de fissão nuclear (HORTA, 2014).

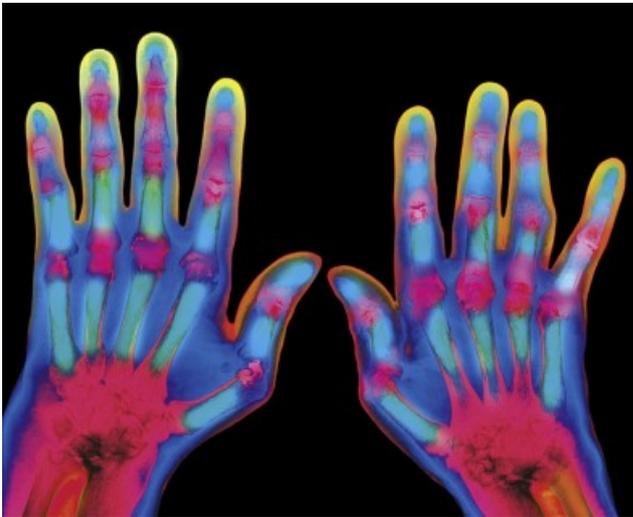
Os acidentes podem ocorrer, ou não à utilização tecnológica, pois o aprimoramento das usinas nucleares é imprescindível para que possam se tornar fontes de energia alternativa para a humanidade no futuro.

3.9 Reações nucleares e suas aplicações, uma abordagem contemporânea

Algumas das aplicações pacíficas da radioatividade e suas propriedades que melhoram e enriquecem nossas vidas. A radiação nuclear e as fontes radioativas, ou seja, os radionuclídeos tornaram-se parte do nosso cotidiano, na medicina, alimentação, biologia, agricultura, indústria e geração de energia elétrica.

L'annunziata (2007) a técnica de imagem para diagnóstico e tratamento de câncer envolve a radiografia, não é de origem nuclear, mas a energia é proveniente do elétron, ou seja, é uma radiação eletromagnética de propriedade semelhante da radiação gama que tem origem nuclear. Os médicos utilizam para diagnosticar membros quebrados, ou doenças como pneumonia, tuberculose e câncer de mama. A radiação x atravessa o corpo e é parcialmente absorvida, a variação entre os ossos e os tecidos atenuarão os raios-x em diferentes graus produzindo filme fotográfico ou imagem digital da intensidade da radiação que passam pelo corpo. A maioria das radiografias atualmente é de imagens digitais em tons de cinza, há o andamento de pesquisas para produção de imagens coloridas de raios-x que podem fornecer mais contrastes para identificação de enfermidades (Figura 14).

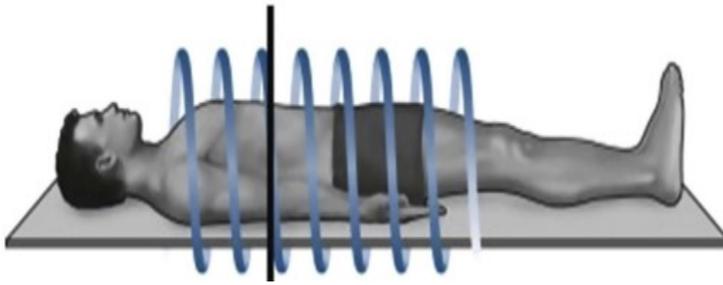
Figura 14 - Radiografia colorida de artrite reumatoide



Fonte: (L'ANNUNZIATA, 2007)

A tomografia computadorizada de raios-x oferece imagem tridimensional da estrutura interna e dos órgãos do corpo humano que absorvem a radiação x em diferentes graus e, assim, com o processamento de dados do computador que revelam anormalidades e tumores. Ela é obtida girando-se a fonte de raios-x em 360° de forma circular em torno do paciente, para abranger a largura do corpo os raios-x irradiam em formato de cone (Figura 15).

Figura 15 - Tomografia computadorizada



Fonte: (L'ANNUNZIATA, 2007)

Segundo L'annunziata (2007), a radioterapia está envolvida com a imagem de radiação e tratamento de câncer, foi Marie Curie quem liderou a aplicação da radiação nuclear do rádio para esse tipo de tratamento. A radioterapia de feixe externo é um tratamento que envolve o direcionamento de um feixe de fótons de raios-x produzidos por um acelerador linear, ou feixes externos de elétrons, prótons ou nêutrons no local do tumor. A fonte externa comum de radiação gama para a terapia do câncer é o cobalto-60 (Co-60), denomina-se cobalterapia O selo postal (Figura 16) para a comemoração do primeiro tratamento mundial de um paciente com câncer que utilizou a radiação de cobalto-60 em 27 de outubro de 1957 no Ontario Institute of Radiotherapy, atualmente conhecido como London Regional Cancer Centre, o dispositivo direciona um feixe estreito de radiação gama sobre as células cancerígenas causando o mínimo de danos às células saudáveis.

Figura 16 - Selo postal emitido no Canadá

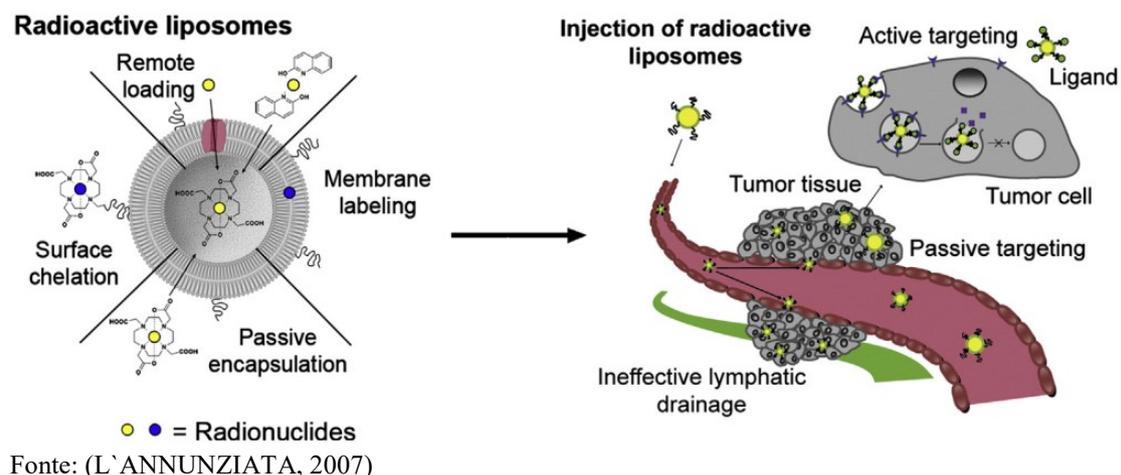


Fonte: (L'ANNUNZIATA, 2007)

Embora o tratamento de radioterapia com radiação x, fótons, radiação gama sejam eficazes no tratamento de câncer, causam danos nas células saudáveis do paciente. Uma

abordagem para o tratamento de tumores malignos é a inserção das nanopartículas radioativas que podem atingir células específicas sem afetar as que são saudáveis, pois que se aplica no ramo da nano medicina. As nanopartículas são, por definição, partículas muito pequenas medidas em nanômetros (nm) de diâmetro que equivale a 10^{-9} m. Uma determinada classe das nanopartículas é o lipossoma, é constituído por uma partícula esférica com uma camada dupla de lipídios, ele pode ser artificialmente preparado a partir de membranas biológicas entre 50 e 300 nm para transportar drogas através da corrente sanguínea para tratar o câncer. Os lipossomas podem ser carregados com os isótopos radioativos (radionuclídeos) que são instrumentais pela Tomografia Computadorizada pela Emissão de Fóton Único conhecido pelo acrônimo (SPECT) e da Tomografia Computadorizada por Emissão de Póstrons (PET) para detecção precoce de tumores cancerígenos por imagens e como tratamento de radiação ionizante dentro das células tumorais sem prejudicar as células saudáveis. Os lipossomas radioativos são injetados na corrente sanguínea do paciente e escapam passivamente do vaso sanguíneo para as células tumorais. A esquerda da (Figura 17) é um diagrama esquemático de uma nanopartícula de lipossoma radioativo e do lado direito a inserção passivo e ativo in vivo de lipossomas no tecido tumoral (L'ANNUNZIATA, 2007).

Figura 17 - Nano partícula na terapia de câncer

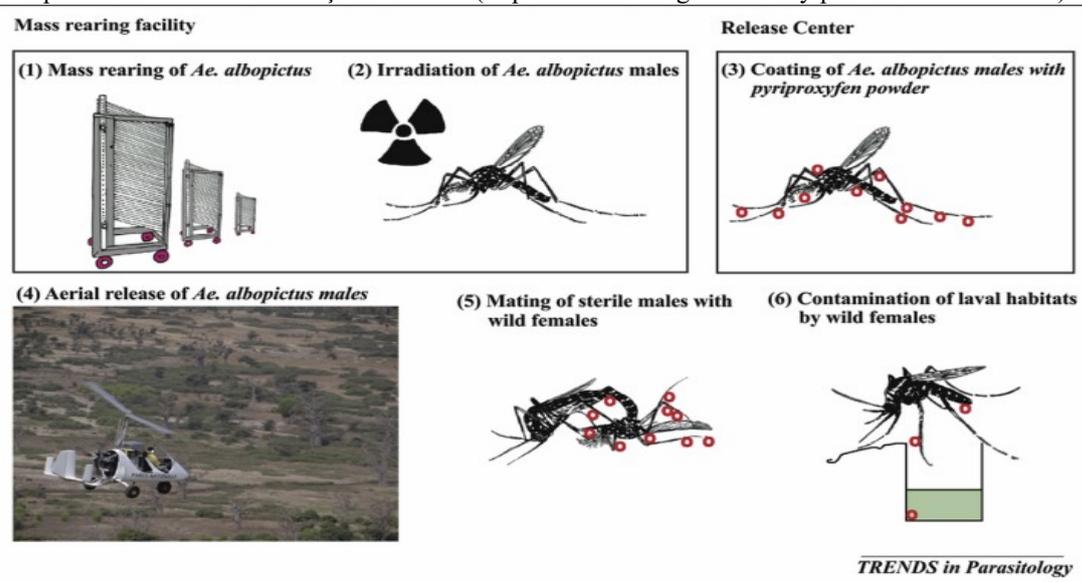


Conforme L'annunziata (2007), os isótopos radioativos e reação nuclear servem como ferramentas úteis na pesquisa que visa aumentar a produção mundial de alimentos, o Hans Blix, então diretor-geral da AIEA, afirma que as técnicas nucleares na pesquisa agrícola têm desempenhado um papel importante no aumento da produção mundial de alimentos ao nível em que é hoje. Algumas áreas em que essas técnicas, amplamente baseadas no uso de isótopos e radiação, alcançaram destaque são o controle de pragas de insetos, preservação de

alimentos, nutrição de plantas, manejo de safras e resíduos de pesticidas. Os métodos nucleares têm contribuído de forma significativa para a nossa compreensão dos processos biológicos e, quando posto em prática, tiveram um impacto subsequente em vários campos da agricultura. As aplicações de técnicas nucleares destinadas a aumentar a produção agrícola são numerosas dentre elas estão: controle de pragas de insetos, melhoramento de plantas, recursos hídricos.

- No campo do controle de pragas de insetos, um dos maiores benefícios para melhorar a produção agrícola e a saúde humana, enquanto ao mesmo tempo em que melhora o meio ambiente, tem-se utilizado a técnica do inseto estéril (SIT) para controlar ou erradicar pragas de insetos que causam danos às plantações, ao gado e à saúde humana. O SIT envolve a criação em massa de uma praga de inseto e a esterilização dos insetos criados por meio de altas doses de radiação gama de uma fonte selada de um radioisótopo como cobalto-60 ou céσιο-137. O uso de raios-x para esterilizar insetos está atualmente em estudo como uma alternativa à radiação gama (IAEA, 2012). Irradiadores de raios-x de baixa energia, autocontidos alguns 100 keV (elétron-Volt), unidade de medida de energia em aproximadamente $1,6 \times 10^{-19}$, oferecem a vantagem de que a fonte dos raios-x está disponível apenas quando a energia está ligada, portanto, é necessária muito menos blindagem. Após a irradiação, os insetos estéreis, principalmente os machos, são liberados na natureza por várias técnicas, como gotas de inseto irradiado em aeronaves. Os machos estéreis geralmente acasalam muitas vezes com insetos fêmeas que encontram na natureza, as fêmeas acasalam apenas uma vez. Assim, se um número suficiente de insetos machos de uma determinada espécie for criado, esterilizado e liberado no inseto selvagem em um estado saudável e competitivo, embora esterilizado, a população dessa espécie pode ser reduzida. Quando um número suficiente de espécies de insetos é criado, esterilizado e disperso em grandes regiões de terra, as espécies podem ser erradicadas de uma região. A reinfestação pode ocorrer, mas um programa SIT pode ser mantido para manter as espécies de insetos fora de determinada região, se não erradicar a espécie completamente. Além de erradicar ou controlar pragas de insetos prejudiciais, o SIT oferece a vantagem de conservar o meio ambiente, evitando o uso de inseticidas prejudiciais e poupando os insetos muito úteis e benéficos, como as abelhas figura 18.

Figura 18 - Apresentação do conceito “boosted SIT”. Os machos de *Aedes albopictus* são revestidos com PP (círculos vermelhos) e depois liberados pelo ar. Eles acasalam com fêmeas selvagens, que por sua vez contaminam seus habitats larvais. Para evitar contaminar a colônia, os machos devem ser revestidos em um centro de liberação separados da instalação de criação em massa. A criação em bandeja de larvas de *Ae. albopictus* ilustrado em (1) representa o sistema atualmente usado no Inseto-praga Laboratório de Controle, Programa Conjunto FAO / IAEA de Técnicas Nucleares em Alimentos e Agricultura, Viena, Áustria (<http://www-naweb.isaea.org/nafa/ipc/public / IPC-NL-82.pdf>). O girocóptero em (4) é a máquina atualmente usada para liberar *Glossina palpalis gambiensis* do aeródromo de Kalahari, Saly, Senegal no quadro de uma campanha nacional de eliminação da tsé-tsé (<http://www.fao.org/news/story/pt/item/211898/icode/>).



Fonte: (L'annunziata, 2007)

- Os estudos de pesquisa sobre a eficiência do uso de fertilizantes, os isótopos radioativos não são aplicados em campo aberto; no entanto, são feitos experimentos numa estufa com isótopos radioativos de nutrientes de plantas (por exemplo, ^{32}P , ^{33}P , ^{35}S e ^{65}Zn) podem fornecer aos cientistas as informações necessárias para fazer recomendações aos agricultores para ajudar a alcançar a utilização ideal dos elementos de nutrientes das plantas do solo e fertilizantes. Por exemplo, um cientista pesquisador pode usar um fertilizante marcado com o radioisótopo de fósforo, ^{32}P , e aplique-o ao solo para medir a porcentagem de uso do nutriente fertilizante pelas plantações. O fertilizante radioativo fósforo tem uma atividade específica, definida como a intensidade da radioatividade por unidade de peso do elemento ou onde DPM é a radioatividade em unidades de desintegração por minuto e gP representa o peso do elemento fósforo em gramas equação (9).

$$^{32}\text{Patividade específica} = \frac{\text{DPM}}{\text{gP}} \quad (9)$$

O peso do fósforo no fertilizante é a soma dos pesos do isótopo radioativo ^{32}P mais o isótopo estável natural ^{31}P . No entanto, o peso dos traçadores de radioisótopos usados em tais estudos é tão pequeno que a contribuição do peso do radioisótopo ^{32}P para o peso total do fósforo pode ser desprezada. Quando o pesquisador adiciona o fertilizante radioativo ao solo, a planta absorve fósforo de duas fontes, ou seja, o fósforo derivado do fertilizante (PDFF) e o fósforo derivado do solo (PDFS). A atividade específica do traçador radioativo ^{32}P na planta é menor do que a do fertilizante radioativo, devido à absorção do ^{31}P estável do solo pela planta. A redução de ^{32}P da atividade específica é referida como diluição de isótopos, e o grau de diluição de isótopos servem para medir as proporções de fósforo na planta que veio do fertilizante e do solo, onde %PDFF é a porcentagem de fósforo na planta derivada do fertilizante equação (10).

$$\%PDFF = \frac{{}^{32}\text{P}_{\text{atividade específica de planta}}}{{}^{32}\text{P}_{\text{atividade específica de fertilizante}}}\times 100 \quad (10)$$

- A água é um recurso vital, pois tem grande demanda para uso doméstico, irrigação agrícola e produtividade industrial. Muitos países não têm abastecimento de água adequado e pesquisas científicas para manter e melhorar a qualidade da água para o desenvolvimento e conservação do meio ambiente. A gestão adequada para os recursos hídricos, incluindo as águas subterrâneas é necessária para atender a demanda e gerações futuras em todo o mundo. Pois as técnicas nucleares, mediante a utilização de isótopos ajudam a gerir os recursos hídricos. É estimado que 97% de água doce disponível está localizada no subsolo, porém este recurso é mal compreendido e mal administrado, as técnicas de isótopos estáveis e radioativos são ferramentas econômicas em vestígios e avaliações hidrológicas. Os isótopos são aplicados para buscar fontes e mecanismos de recarga das águas subterrâneas; idade e dinâmica da água subterrânea; interconexões entre aquíferos, salinização de águas subterrâneas e poluição da água subterrânea.
- Na tecnologia de radiação incluem as aplicações industriais da radiação nuclear, são amplamente difundidas para o mundo e o nosso bem-estar, e apenas alguns exemplos são mencionados aqui. Entre as muitas aplicações estão o reator de pesquisa e produção de ciclotron de radioisótopos necessários para radiofármacos em diagnóstico médico e tratamento de câncer e outras enfermidades, radiação de nêutrons aplicada ao teste não destrutivo de materiais; difração de raios-x, emissão

e análise de fluorescência; esterilização de produtos médicos com altos níveis de radiação gama; e uso de feixes de elétrons para processar materiais como os necessários na vulcanização da borracha que é a sua qualidade e cura da madeira na diminuição da umidade.

Segundo, L'annunziata (2007) a tecnologia de radiação utiliza altas doses de radiação ionizante para alterar as propriedades biológicas, físicas ou químicas de substâncias irradiadas. É um campo da ciência que está fora da vista e fora da mente do público em geral, mas para o qual devemos muito por nosso bem-estar e conforto. A importância do processamento de radiação em nosso dia a dia é sublinhada pela IAEA (2004b): No processamento de radiação: o executor invisível desconhecido para o público em geral, a tecnologia de radiação se infiltrou em nossa rotina para enriquecer a qualidade de nossa vida de várias maneiras. Hoje há muitos materiais processados por radiação, por exemplo, os carro ou aparelhos de televisão podem estar equipados com fios ou cabos reticulados por radiação; as tubulações de água que leva calor para suas casas pode ser feita de material plástico reticulado por radiação; são aplicadas membranas curadas por radiação nas baterias alcalinas para aumentar sua vida útil; o hambúrguer seguro pode ter contido carne ou temperos pasteurizados por radiação; as seringas hospitalares são esterilizadas ou o cateter que o médico usou pode ter sido esterilizado por processamento de radiação para torná-lo absolutamente seguro. Os exemplos são numerosos. Atualmente, o valor dos produtos irradiados produzidos ultrapassa vários bilhões de dólares e a indústria está expandindo rapidamente em todo o mundo.

Segundo Öz (2008), a camada de ozônio geralmente absorve radiação, porém parte desta radiação atinge a superfície da Terra. No espaço, os raios radioativos têm velocidade aproximadamente de 300.000 km/s, assim eles podem entrar em contato com nosso corpo. Os raios que chegam até nós são UVA (Ultravioleta A), UVB (Ultravioleta B), luz visível e infravermelho, que provocam efeitos benéficos: os raios UVB promovem a síntese da vitamina D, essencial para a fixação do cálcio nos ossos; a luz visível tem efeito antidepressivo e o infravermelho tem efeito aquecedor que eleva a temperatura da pele (sinal de alarme para evitar queimaduras solares), porém a superexposição aos raios UVA e UVB pode desencadear queimaduras solares e reações fotossensíveis, envelhecimento da pele e ocorrências cancerígenas.

Para Karabük (2008), os raios gama podem ser utilizados para matar bactérias, fungos e insetos nos alimentos, prolongando a validade dos alimentos. Os raios também são

utilizados para esterilizar equipamentos hospitalares, especialmente seringas de plástico que podem ser danificadas se submetidas ao aquecimento.

Conforme Erdem (2008), os animais e plantas têm certa proporção chamada de carbono-14, um radioisótopo de carbono em seus tecidos, quando morrem param de absorver carbono, diminuindo a quantidade de C-14, com um tempo de meia vida de 5700 anos. Com isso, a idade dos materiais orgânicos antigos pode ser determinada através da medida de carbono-14 que permanece nos materiais orgânicos.

Segundo Júnior (2006), no estado do Amapá foram encontrados nas jazidas do interior minério granulado, de coloração escura e de densidade significativa da torianita que tem de 70% a 76% de tório e 8% a 10% de urânio, o que tem preocupado é a extração e o comércio ilegais nos municípios de Pedra Branca do Amapari, Serra do Navio e Porto Grande. Os reatores nucleares utilizam o urânio como combustível. O tório é utilizado na produção de fios de tungstênio e materiais refratários e na tecnologia do magnésio. O tório 232 é o segundo elemento viável para as indústrias nucleares (RIBEIRO JÚNIOR, 2006). O Projeto de Lei (PL 4957/2009) visa aumento na pena de crime de materiais radioativos contrabandeados. De forma geral, o aumento de pena está entre um 1/6 e 1/3 a com base na Lei de Crimes Ambientais (Lei 9605/98), detenção de 6 meses a 1 ano e multa, pois o contrabando dos minerais radioativos manuseados de forma indevida pode contaminar o meio ambiente (GOMES, 2012).

3.10 A importância do estudo da radioatividade no ensino médio

É necessário argumentar, antes de tudo sobre a potencialidade do aprendizado, já que existem várias formas de mudar o ser humano e uma delas é através do aprendizado que é construído, seja de forma técnica ou empírica. Neste caso, a abordagem será técnica para refletir no mundo dos fatos. Em ato contínuo alega Demo:

A aprendizagem é jogo de sujeitos, troca bilateral de teor dialético, contraponto entre conhecimento e ignorância, autonomia e coerção. Oferece campo de potencialidades, oportunidades, que se abrem se o sujeito souber conquistar e a história lhe for complacente em termos de condicionamentos positivos (DEMO, 2001).

Este autor foi feliz na sua exposição sobre a aprendizagem, que parece bem autoexplicativo quando aborda que o aprendizado é algoz da ignorância e gerador da autonomia. Isso porque na via do aprendizado não se encontra o efeito deletério que traz a falta de conhecimento.

Demo vai além, afirmando que o sujeito é capaz de criar oportunidades a si quando se comporta de maneira positiva em relação ao aprendizado.

Esta exposição sobre aprendizagem foi necessária uma vez que talvez fosse impossível minimizar a falta de conhecimento, pois existe relação entre a radioatividade e a função transformadora que o seu aprendizado carrega.

Por isso, o escopo do trabalho é a abordagem histórica da radioatividade. Espera-se que o conhecimento sobre radioatividade promova uma transformação e proporcione o interesse do aluno por este tema. Com a intenção de diminuir ou excluir as indiferenças do aluno sobre este tema, tem-se a favor que a ciência tem ganhado prestígio em tempos modernos (CHALMERS, 1993).

Segundo Chalmers (1993), os alunos passam a ter mais atenção quando deparados com conceitos científicos que estão relacionados ao contexto histórico ou quando se fazem presentes na vida social.

A aprendizagem não se faz apenas pela exposição crua de assuntos teóricos, mas deve-se aplicá-la de maneira interdisciplinar, pois segundo Japiassu (1999) é necessário considerar para o ensino a política, a economia e determinações históricas.

Em reforço, o autor Nascimento (2013) fala da importância de tratar-se de forma interdisciplinar de determinado assunto.

Na perspectiva escolar, a interdisciplinaridade não tem a pretensão de criar disciplinas ou saberes, mas de utilizar os conhecimentos de várias disciplinas para resolver um problema concreto ou compreender um determinado fenômeno sob diferentes pontos de vista. Em suma, a interdisciplinaridade tem uma função instrumental (NASCIMENTO, 2013).

Os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (2000) abordam o estudo da energia nuclear como temática da disciplina de Física, porém sugere que o conteúdo seja estudado no ramo da química, pois a radioatividade está ligada ao processo de energia nuclear.

É importante tratar o assunto da radioatividade no ensino médio justapondo no currículo escolar, estimulando o estudante a participar da construção do conhecimento, capaz de adquirir responsabilidade com o meio social, de avaliar de maneira crítica determinados assuntos. É nessa vertente que cita Sanches:

A importância de se discutir questões que englobam a radioatividade no currículo escolar é reconhecida, no incentivo de ajudar os estudantes a constituir uma consciência de responsabilidade social e ética para com o meio. Com isso, é

importante que o jovem promova a sua própria capacidade de avaliar todas as informações mencionadas sobre o assunto para que possa julgar sua conduta social. Como exemplo, a radioatividade traz benefícios e riscos no uso da energia nuclear, a exposição à radiação na medicina, a questão do lixo atômico, entre outros riscos. (SANCHES, 2006)

Em retomada, o ensino dos avanços da história da radioatividade é capaz de despertar nos alunos o quão é importante o estudo desse conteúdo, isso porque na narrativa histórica é possível observar a criação, evolução e avanços na ciência e tecnologia, além do efeito prático na vida das pessoas. A título de exemplo sobre o avanço da radioatividade, Röntgen contribuiu com a criação dos raios-x que passaram a serem utilizados para radiografar ossos e órgãos auxiliando no diagnóstico médico.

A importância da História da Ciência para a educação científica tem sido amplamente reconhecida na literatura nas últimas décadas (PAIXÃO e CACHAPUZ, 2003; FREIRE JÚNIOR, 2002; WORTMANN, 1996; MATTHEWS, 1994, 1990; GAGLIARD, 1998). Como consequência, vêm acontecendo ações oficiais e não oficiais no sentido de buscar inserir a História da Ciência nos currículos que têm emergido de reestruturações curriculares mais recentes. No Brasil, de alguma forma esta tendência aparece explicitada em documentos oficiais, como os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNs) e as Novas Diretrizes Curriculares para os cursos de graduação. (OKI & MORADILLO, 2008, p. 68).

Ademais Öz (2008) expõe que os raios UVA e UVB trazem benefícios com absorção, por exemplo, de vitamina D e cálcio para os ossos, porém a exposição excessiva aos raios causa câncer de pele. Logo, com o avanço da tecnologia e ciência desenvolveu-se uma forma profilática, os bloqueadores solares.

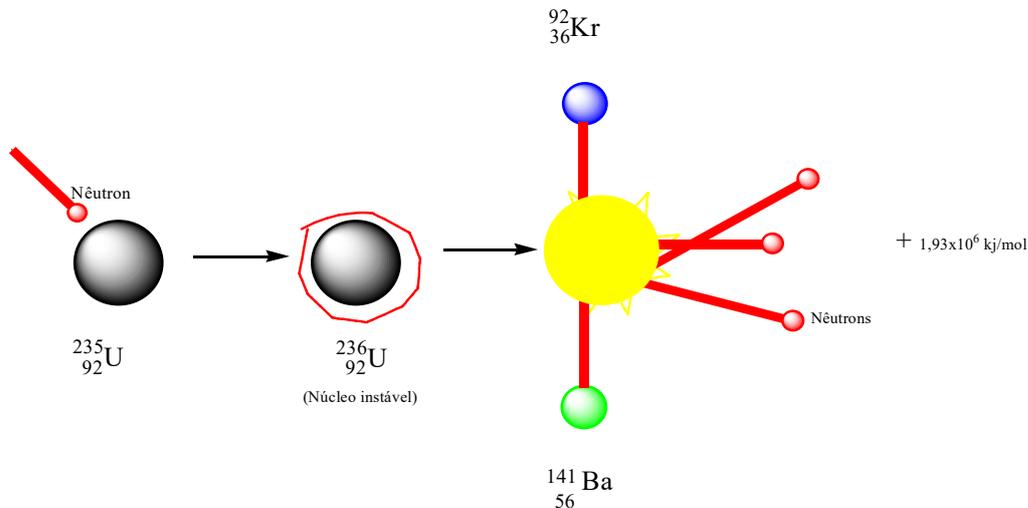
Soma-se aos efeitos práticos a descoberta da energia nuclear, pois sua utilização supre 18% da demanda de energia em alguns países, mediante a fissão nuclear. Logo, a possibilidade de inserção dessa energia é garantia de fornecimento futuro, porque os combustíveis fósseis não são renováveis.

Por fim, espera-se que o contexto histórico da radioatividade traga maior interesse do aluno sobre o tema e, além do conhecimento teórico, com a capacidade de análise crítica dos assuntos e, por conseguinte, o mais importante são os efeitos da responsabilidade social que esse aluno levará após a sua saída do Ensino Médio.

4 METODOLOGIA

Este trabalho buscou desenvolver, de uma maneira mais clara, a história da radioatividade em oito livros em língua estrangeira, artigos e sites para trazer os avanços científicos, e sua aplicabilidade para a vida humana, sem esquecer-se de trazer a teoria com a explanação dos tipos de raios descobertos, a título de exemplo, o bombardeamento do radioisótopo de urânio $^{235}_{92}\text{U}$ por um nêutron que provoca uma reação em cadeia (Figura 19).

Figura 19 - Desintegração do núcleo de radioisótopo de Urânio



Fonte: (ERDEM, 2008-adaptada)

4.1 Tipologia da pesquisa

4.1.1 Quanto à abordagem: qualitativa

Quanto à caracterização da pesquisa tratou-se de maneira qualitativa através de pesquisa bibliográfica por meio de livros, artigos científicos e sites, objetivando esmiuçar os avanços da radioatividade em seu contexto histórico.

A pesquisa qualitativa busca compreender o meio social, o porquê das coisas, que se baseiam em diferentes abordagens bibliográficas.

Pesquisa Qualitativa: considera que há uma relação dinâmica entre o mundo real e o sujeito, isto é, um vínculo indissociável entre o mundo objetivo e a subjetividade do sujeito que não pode ser traduzido em números. A interpretação dos fenômenos e a atribuição de significados são básicas no processo de pesquisa qualitativa. Não requer o uso de métodos e técnicas estatísticas. O ambiente natural é a fonte direta para coleta de dados e o pesquisador é o instrumento chave. É descritiva (SILVA e MENEZES, 2005, p. 20).

Mediante isto, a abordagem da pesquisa bibliográfica não possibilita a quantificação mediante representação numérica.

4.1.2 Quanto à natureza

A pesquisa é de inerência básica, tem como objetivo despertar o interesse do aluno no ensino da radioatividade, conhecimentos que colaboram para a compreensão e desenvolvimento da ciência. De acordo com Silveira e Gerhardt (2009, p. 45) a “*pesquisa básica: objetiva gerar conhecimentos novos, úteis para o avanço da Ciência, sem aplicação prática prevista, envolve verdades e interesses universais*”.

4.1.3 Quanto aos objetivos

A pesquisa teve inerência descritiva. Segundo Triviños (1987), o pesquisador coleta informações que descrevem os fatos e fenômenos de determinada população. Nesse sentido, a pesquisa teve como finalidade abordar o processo histórico da radioatividade e sua importância no Ensino Médio.

4.1.4 Quanto aos procedimentos

Utilizou-se a pesquisa bibliográfica, pois esta buscou conhecimento aprofundado sobre o processo histórico da radioatividade, vislumbrando saber sua devida importância no Ensino Médio.

A pesquisa bibliográfica é feita a partir do levantamento de referências teóricas já analisadas, e publicadas por meios escritos e eletrônicos, como livros, artigos científicos, páginas de web sites. Qualquer trabalho científico inicia-se com uma pesquisa bibliográfica, que permite ao pesquisador conhecer o que já se estudou sobre o assunto. Existem, porém pesquisas científicas que se baseiam unicamente na pesquisa bibliográfica, procurando referências teóricas publicadas com o objetivo de recolher informações ou conhecimentos prévios sobre o problema a respeito do qual se procura a resposta (FONSECA, 2002, p. 32).

A técnica utilizada da pesquisa para dar fundamento baseou-se na busca de materiais como: livros, sites, artigos científicos para sistematizar a fundamentação teórica do trabalho

desenvolvido. No decorrer da pesquisa observou-se que atualmente os livros que mais falam de maneira completa sobre a história da radioatividade são de língua estrangeira.

Abaixo um quadro que apresenta livros, artigos e sites utilizados para a construção do trabalho:

Livros	Artigos	Sites
Chemistry The History of Atom, The Periodic Table and Radioactivity (Zambak)- Zambak Publishing (2008)	FONSECA, J. J. S. Metodologia da pesquisa científica. Fortaleza: UEC, 2002. Apostila.	http://www.socioambiental.org/uc/3226/noticia/41342
Marie Curie_ And the Science of Radioactivity- Oxford University Press, USA (1997)	GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D.T. Métodos de pesquisa. coordenado pela Universidade Aberta do Brasil – UAB/UFRGS e pelo Curso de Graduação Tecnológica – Planejamento e Gestão para o Desenvolvimento Rural da SEAD/UFRGS. – Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.	http://www.quimica.seed.pr.gov.br/arquivos/File/AIQ_2011/radio_ufrgs.pdf
Marjorie e Caroline Malley - Radioactivity – a history of a mystery	HORTA, A.O desastre nuclear de Fukushima e os seus impactos no enquadramento midiático das tecnologias de fissão e fusão nuclear. Ambient. soc. vol.17 no.4 São Paulo Oct./Dec. 2014	http://bibliotecavirtual.clacso.org.ar/clacso/gt/20101010034147/12demo.pdf

ous science- Oxford Univers ity Press (2011)		
Radioac tivity in the Environ ment_ Physico chemic al aspects and applicat ions (2000)	XAVIER, Allan Moreira; LIMA, André Gomes de. Marcos da história da radioatividade e tendências atuais. Campinas-SP, 2006.	http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf
Radioac tivity_ Introdu ction and History - Elsevier Science (2007)	DEMO, Pedro. Conhecimento e aprendizagem Atualidade de Paulo Freire. 2001. Disponível em > http://bibliotecavirtual.clacso.org.ar/clacso/gt/20101010034147/12demo.pdf <	http://pessoal.educacional.com.br/up/4660001/6249852/artigo_4_Nuclear_Radiation.pdf
Radioac tivity. Introdu ction and History, from the Quantu m to Quarks- Elsevier (2016)	GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007.	http://flip.siteseguro.ws/pub/correiodoestado/index.jsp?ipg=105601
Peter Atkins, Loretta Jones- Princípi os de Químia	XAVIER, Allan Moreira; LIMA, André Gomes de. Marcos da história da radioatividade e tendências atuais. Campinas-SP, 2006.	

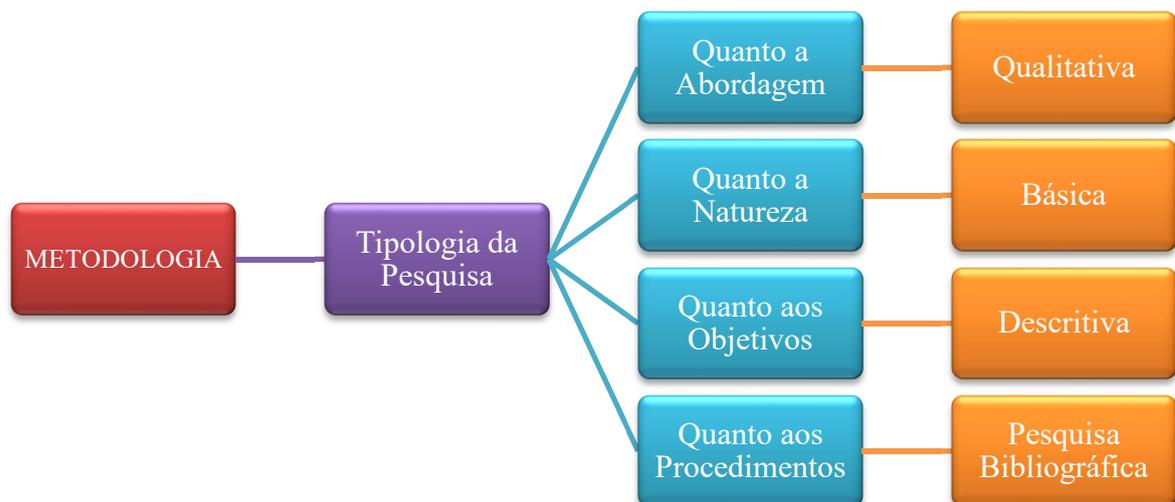
a_ Questio nando a Vida Modern a e o Meio Ambien te		
---	--	--

Fonte: Autoria própria

Com isso, a fundamentação citada no corpo deste trabalho teve fundamental importância para seu desenvolvimento e sistematização das informações coletadas.

Na figura 20 tem-se o resumo da metodologia da pesquisa:

Figura 20 - Resumo da metodologia da pesquisa



Fonte: Autoria própria.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante da perspectiva de analisar o processo histórico da radioatividade para a construção do trabalho, o objetivo foi alcançado, tendo em vista que os livros estrangeiros apresentam aprofundamento sobre o conteúdo, informações precisas das datas e os cientistas que contribuíram para a descoberta da radioatividade. Observou-se que livros traduzidos para o português abordam o assunto de forma resumida. A disponibilidade de artigos que abordem os avanços científicos e tecnológicos da radioatividade também não é das melhores.

Destacam-se as aplicabilidades da radioatividade no mundo contemporâneo, no fornecimento de energia à sociedade, na contribuição para diagnóstico e tratamento de doenças na medicina, na conservação de alimentos como fungicidas e bactericidas, a exposição à luz solar de forma segura para absorver seus benefícios.

Identificar que a realidade da radioatividade está presente desde sua descoberta até os dias atuais evidencia sua importância no ensino, que de certa forma contribui para o conhecimento teórico e a consciência social dos alunos.

A presente pesquisa poderá contribuir com futuros pesquisadores, uma vez que compilou vários livros conceituados na área da radioatividade e doutrinadores mais renomados na área, com a explicação sobre a história da radioatividade.

REFERÊNCIAS

- ATKINS, P.; JONES, L. **Princípios de química: Questionando a vida moderna e o meio ambiente**. 5ª ed. Bookman, 2011.
- CHALMERS, Alan Francis. **O que é ciência afinal?** 2ª Edição. São Paulo: Editora Brasiliense, 1993.
- DEMO, Pedro. **Conhecimento e aprendizagem Atualidade de Paulo Freire**. 2001. Disponível em <http://bibliotecavirtual.clacso.org.ar/clacso/gt/20101010034147/12demo.pdf> Acesso em: 25 de fev. 2021.
- EICHLER, M. L. **Módulos para o ensino de radioatividade**. Disponível em: http://www.quimica.seed.pr.gov.br/arquivos/File/AIQ_2011/radio_ufrgs.pdf Acesso em: 30 de mar. 2021.
- FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UEC, 2002. Apostila.
- GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D.T. **Métodos de pesquisa**. coordenado pela Universidade Aberta do Brasil – UAB/UFRGS e pelo Curso de Graduação Tecnológica – Planejamento e Gestão para o Desenvolvimento Rural da SEAD/UFRGS. – Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007.
- GONÇALVES, O. D. **A energia nuclear**. Disponível em: http://pessoal.educacional.com.br/up/4660001/6249852/artigo_4_Nuclear_Radiation.pdf Acesso em: 30 de mar. 2021.
- GOMES, Thiago. **Estado pode estar sendo usado como rota de contrabando radioativo**. Correio do Estado, Mato Grosso do Sul, 24 out. 2012. Disponível em: <http://flip.siteseguro.ws/pub/correiodoestado/index.jsp?ipg=105601>. Acesso em: 25 mar. 2021
- HORTA, A.O desastre nuclear de Fukushima e os seus impactos no enquadramento midiático das tecnologias de fissão e fusão nuclear. **Ambient. soc.** v.17 n°4, São Paulo Oct./Dec. 2014
- IAEA, 2012. **Nuclear Technology Review 2012**. International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria, p. 170
- JAPIASSU, H. **Um desafio à educação: Repensar a pedagogia científica**. 1ª Edição. São Paulo: Editora Letras e Letras, 1999.
- L'ANNUNZIATA, Michael F. **Radioactivity introduction and history**. Cambridge, MA: USA.1. ed. 2007.
- L'ANNUNZIATA, Michael F. **Radioactivity introduction and history**. Cambridge, MA: USA. 2.ed. 2016.
- MALLEY, Marjorie C. **Radioactivity: A history of a mysterious science**. Oxford, 2011.

NASCIMENTO, Daniel Barbosa do. **Desafios para a docência em química**. São Paulo: Universidade Estadual Paulista: Núcleo de Educação a Distância, 2013.

OKI, M. C. M., MORADILLO, E. F. **O ensino de história da química**: contribuindo para a compreensão da natureza da ciência. *Ciência & Educação*, v. 14, nº 1, p. 67-68, 2008.

OKUNO, E. **Efeitos biológicos das radiações ionizantes, Acidente radiológico de Goiânia**. *Estud. av.* v.27, nº77, São Paulo, 2013.

ÖZDİN, Nuh; ÖZ, Ali Serhat; KARABÜK, Hasan; PATLI, Hulusi Ugur; ERDEM, Ali Riza. **The history of the atom the periodic table and radioactivity**. Publisher: Zambak Basým Yayın Editim ve Turizm Ýþletmeleri Sanayi Ticaret A.Ş, 2008.

Parâmetros Curriculares do Ensino Médio [PCNS]. **Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias**. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf>. Acesso em: 30 de mar. 2021.

PLANAS, O. **Acidente nuclear em Three Mile Island, Estados Unidos**. 9 de abril de 2010. Disponível em: <https://pt.energia-nuclear.net/acidentes-nucleares/three-mile-island> Acesso em: 30 de mar. 2021.

RIBEIRO JÚNIOR, Amaury. **Perigo no Amapá**. *Correio Braziliense*, Brasília, 9 maio 2006. Disponível em: <http://www.socioambiental.org/uc/3226/noticia/41342>. Acesso em: 20 de mai. 2021.

RUSSEL, John B. **Química Geral**. v. 2. São Paulo: MAKRON, 2012.

SANCHES, Monica Bordim; OLIVEIRA, Jorge Henrique Lopes de; NEVES, Marcos Cesar Danhoni; RESQUETTI, Silvia Oliveira. **A inserção da física moderna e contemporânea no currículo do ensino médio**. In: Encontro de Pesquisa em Ensino de Física. Londrina, 2006.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4º ed. Florianópolis: UFSC, 2005.

TRIVIÑOS, A. N. S. **Introdução à pesquisa em ciências sociais**: a pesquisa qualitativa em educação. São Paulo: Atlas, 1987.

UIC, 2005. **Nuclear Fusion Power**. UIC Nuclear Issues Briefing Paper nº 69, June 2005. Uranium Information Centre, Ltd, Melbourne, Australia, p. 5.

XAVIER, Allan Moreira; LIMA, André Gomes de. **Marcos da história da radioatividade e tendências atuais**. Campinas-SP, 2006.