

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CÂMPUS DE PRESIDENTE PRUDENTE

LUIZ RODRIGO HAMADA

**ALGUMAS APLICAÇÕES DA FÍSICA NUCLEAR COM
ENFOQUE NA GEOLOGIA PARA ALUNOS DO ENSINO
MÉDIO**

PRESIDENTE PRUDENTE
2016

LUIZ RODRIGO HAMADA

**ALGUMAS APLICAÇÕES DA FÍSICA NUCLEAR COM
ENFOQUE NA GEOLOGIA PARA ALUNOS DO ENSINO
MÉDIO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Licenciatura em
Física da Faculdade de Ciências e Tecnologia (FCT)
do campus da UNESP de Presidente Prudente.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Tello Sáenz

PRESIDENTE PRUDENTE
2016

TERMO DE APROVAÇÃO

LUIZ RODRIGO HAMADA

ALGUMAS APLICAÇÕES DA FÍSICA NUCLEAR COM ENFOQUE NA GEOLOGIA PARA ALUNOS DO ENSINO MÉDIO

Trabalho apresentado como requisito para obtenção do título de Licenciado em Física, da Universidade Estadual Paulista, pela seguinte banca examinadora:

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Tello Sáenz
Departamento de Física, FCT-UNESP

Prof. Dr. Moacir Pereira de Souza Filho
Departamento de Física, FCT-UNESP

Prof. Dr. Ana Maria Osório Araya
Departamento de Física, FCT-UNESP

DEDICATÓRIA

A minha família, por ser o meu espelho.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ser tudo.

A minha família, por ser a base fundamental da minha vida.

A minha namorada, que me deu amizade, conforto e apoio em todas as etapas da minha vida.

Aos meus colegas de sala, pela paciência e pelo companheirismo nas horas de estudo.

Aos meus amigos de república, pela sincera amizade e aos quais aguentaram meu mau humor.

Ao grupo DETRAN (Lao, Caito, João, Rosana e Nathalia), pelos ensinamentos, pela paciência, pelas resenhas e pelas eternas risadas durante os três anos que fiz parte do grupo.

Ao meu orientador Carlos, pela oportunidade única que me concedeu.

A professora Ana Maria Osório, pelo carinho e atenção que me deu durante a graduação.

*“... Mas pra quem tem pensamento forte,
O impossível é só questão de opinião
E disso os loucos sabem,
Só os loucos sabem...”*

(Charlie Brown Junior – Só os Loucos Sabem)

RESUMO

A Física muito comumente é vista como uma barreira na vida da maioria dos alunos do ensino médio. Esta barreira muitas vezes provém da falta de entusiasmo vinda do próprio educador, das inúmeras equações matemáticas, da defasagem matemática dos próprios alunos, da falta de conhecimento do docente, dentre outros motivos. Enfim, inúmeros fatores podem contribuir significativamente para o baixo índice de aprovação dos alunos nesta disciplina.

O fato é que, dada a atual conjuntura dos avanços tecnológicos, a Física é uma peça fundamental para o entendimento de tais avanços. Na proposta didática deste trabalho, direcionado a alunos do 3º ano do ensino médio, buscar-se-á levantar o estudo da Física Nuclear a qual está inserida no contexto da Física Moderna, bem como de suas aplicações. Atenção especial será dada, sobretudo àquelas aplicações voltadas ao campo de Geociências, com o objetivo de estimular os alunos de ensino médio e inseri-los de maneira efetiva no ensino de Física.

Palavras-chave: Física, Física Nuclear, Geociências.

ABSTRACT

Physics is commonly seen as a gap in the lives of most high school students. This barrier is created by the low enthusiasm from the teacher, the several mathematical equations, the poor mathematical background of the students, teachers' lack of knowledge and so on. Many factors can contribute significantly to the low approval rates of students in Physics.

Fact is, nowadays, with the technological advancements, Physics is a key factor for understanding such advancements. In the didactic proposal of this paper, aimed to reach senior high school students, the study of Nuclear Physics, which is within the field of Modern Physics, as well as its applications, will be brought into focus. Special attention will be given to those applications in the context of Geosciences, with the purpose of stimulating the high school students and involving them more effectively with Physics.

Keywords: Physics, Nuclear Physics, Geosciences.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
2. JUSTIFICATIVA	8
3. OBJETIVOS	10
4. CONSIDERAÇÕES SOBRE O ENSINO DA FÍSICA NUCLEAR.....	10
4.1. História do átomo	10
5. APLICAÇÕES DA FÍSICA NUCLEAR	15
5.1. Usinas Nucleares.....	15
5.2. Medicina	16
5.3. Engenharia.....	19
5.4. Artes e Arqueologia	20
5.5. Geologia	22
5.5.1. Carbono Radioativo.....	23
5.5.2. Potássio - Argônio (K-Ar).....	24
5.5.3. Argônio-Argônio (Ar-Ar).....	25
5.5.4. Urânio-Chumbo (U-Pb).....	25
5.5.5. Termoluminescência	28
5.5.6. Método dos Traços de Fissão (MTF).....	29
6. GEOLOGIA NAS ESCOLAS.....	33
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	34
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35

1. INTRODUÇÃO

A presença do conhecimento de Física nas escolas ganhou um novo sentido a partir das diretrizes apresentadas nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+). Trata-se de construir uma visão da Física que esteja voltada para a formação de um cidadão contemporâneo, atuante e solidário, com instrumentos para compreender, intervir e participar na realidade. Nesse sentido, mesmo os jovens que, após a conclusão do ensino médio não venham a ter mais qualquer contato escolar com o conhecimento em Física, em outras instâncias profissionais ou universitárias, ainda assim terão adquirido a formação necessária para compreender e participar do mundo em que vivem^[1].

A Física é a ciência das propriedades da matéria e das forças naturais. Suas formulações são, em geral, expressas em linguagem matemática. A introdução da investigação experimental e a aplicação do método matemático contribuíram para a distinção entre física, filosofia e religião que, originalmente, tinham como objetivo comum compreender a origem e a constituição do Universo^[30].

Além disso, a física estuda a matéria nos níveis molecular, atômico e nuclear. Estuda os níveis de organização, ou seja, os estados sólido, líquido, gasoso e plasmático da matéria. Pesquisa também as quatro forças fundamentais: a da gravidade (força de atração exercida por todas as partículas do Universo), a eletromagnética (que liga os elétrons aos núcleos), a força nuclear forte (que mantêm a coesão das partículas nucleares, prótons e nêutrons no núcleo) e a força nuclear fraca (responsável pela desintegração dos núcleos emitindo partículas alfa, beta e gama).

Dentro deste contexto e do enfoque deste trabalho, pode-se dizer que a física nuclear é a área da física que estuda os constituintes e interações dos núcleos atômicos^[2]. Para que se pudesse vislumbrar o que hoje se entende por átomo, deve-se voltar ao passado onde filósofos deram os primeiros passos se perguntando do que era constituída a matéria.

2. JUSTIFICATIVA

O trabalho de conclusão de curso aqui apresentado, é uma proposta didática para ser apresentada por professores de física para alunos do 3º ano do ensino médio. De acordo com os PCN+ (p. 19, 2002)^[1] para o ensino de física, o ensino de Física Moderna ao qual se insere a Física Nuclear, é indispensável na formação dos jovens:

“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 a 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. A compreensão dos modelos para a constituição da matéria deve, ainda, incluir as interações no núcleo dos átomos e os modelos que a ciência hoje propõe para um mundo povoado de partículas. Mas será também indispensável ir mais além, aprendendo a identificar, lidar e reconhecer as radiações e seus diferentes usos. Ou seja, o estudo da matéria e radiação indica um tema capaz de organizar as competências relacionadas à compreensão do mundo material microscópico.”^[1].

Dentro deste contexto, a proposta deste trabalho é apresentar aos jovens algumas aplicações da física nuclear com enfoque no ensino de geociências (geologia). De acordo com a PCN+ (p. 19, 2002)^[1]:

“... será indispensável uma compreensão de natureza cosmológica, permitindo ao jovem refletir sobre sua presença e seu “lugar” na história do universo, tanto no tempo como no espaço, do ponto de vista da ciência. Espera-se que ele, ao final da educação básica, adquira uma compreensão atualizada das hipóteses, modelos e formas de investigação sobre a origem e evolução do Universo em que vive com que sonha e que pretende transformar. Assim, Universo, Terra e Vida passam a constituir mais um tema estruturador.”^[1].

Portanto, buscou-se uma proposta coerente para que a física nuclear e algumas de suas aplicações estejam direcionadas para a formação de jovens, bem como para o despertar destes para uma visão mais aguçada do que o ensino de física poderá lhes proporcionar através das aplicações que aqui serão apresentadas.

3. OBJETIVOS

Neste sentido, os objetivos deste trabalho são:

- Conceituar física nuclear;
- Apresentar o contexto histórico da física nuclear;
- Estimular o ensino de física através das aplicações em física nuclear, sobretudo do ensino de geociências;
- Interdisciplinar a física nuclear.

4. CONSIDERAÇÕES SOBRE O ENSINO DA FÍSICA NUCLEAR

Apresentada a justificativa e objetivos deste trabalho, este capítulo traz um pouco de história dos modelos de átomo e as aplicações da Física Nuclear, visando a contextualização do tema.

4.1. História do átomo

A primeira teoria atômica tem suas origens na Grécia. No século V a.C. Leucipo, de Mileto, e seu aluno Demócrito, de Abdera (460 a.C. - 370 a.C.), formularam as primeiras hipóteses sobre os componentes essenciais da matéria. Segundo eles, o Universo era formado de átomos e vácuo. Os átomos são infinitos e não podem ser cortados ou divididos. São sólidos, mas de tamanho tão reduzido que não podem ser vistos e estão sempre se movimentando no vácuo ^[3,4]. Esta teoria permaneceu por muitos séculos até aparecer a teoria de Dalton.

Em 1803, John Dalton começa a apresentar sua teoria de que a cada elemento químico corresponde um tipo de átomo. As principais conclusões do modelo atômico de Dalton eram de que a matéria é formada por partículas extremamente pequenas chamadas átomos e que estes átomos eram esferas maciças e indivisíveis. Os

átomos com as mesmas propriedades constituem um elemento químico, de maneira que elementos diferentes são constituídos por átomos com propriedades diferentes. As reações químicas são rearranjos, união e separação, de átomos ^[31].

Mas foi só em 1897, com a descoberta do elétron, que o átomo deixa de ser uma unidade indivisível como se acreditava desde a antiguidade. A descoberta do elétron se deu em 1897 com Joseph John Thomson, ao estudar os raios X e raios catódicos. Ele identifica partículas de massa muito pequena, cerca de 1800 vezes menores que a do átomo mais leve. Concluiu então que o átomo não é indivisível, mas composto por partículas menores. Mais tarde, Thomson diz que os átomos são formados por uma nuvem de eletricidade positiva na qual flutuam, como ameixas em volta de um pudim, partículas de carga negativa, os elétrons ^[5,6].

Em 1911, Ernest Rutherford propõe o “Modelo Planetário”, quando ao bombardear uma lâmina de ouro com partículas alfa em alta velocidade, Rutherford observou que algumas partículas atravessavam o anteparo e outras ricocheteavam, verificando a existência de espaços vazios no átomo e que existia uma parte sólida no centro dele, concluindo então que o átomo possui um núcleo (de carga positiva) em volta do qual orbitam elétrons, como planetas girando em torno do Sol ^[8]. Nas figuras 1 e 2 a seguir, pode-se observar ilustrações de como seriam o modelo planetário e o experimento realizado por Rutherford, respectivamente.

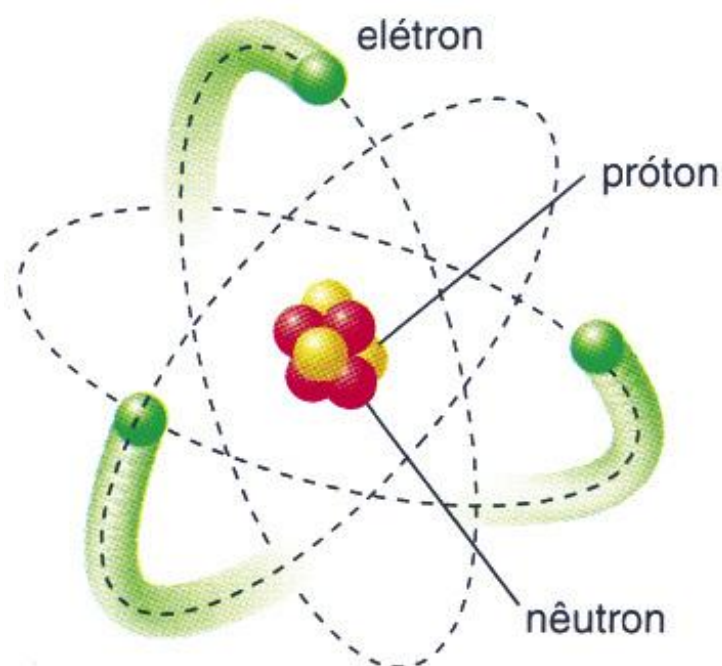


Figura 1: Modelo planetário proposto por Ernest Rutherford. (Fonte: Retirada do Blog do Enem^[8]).

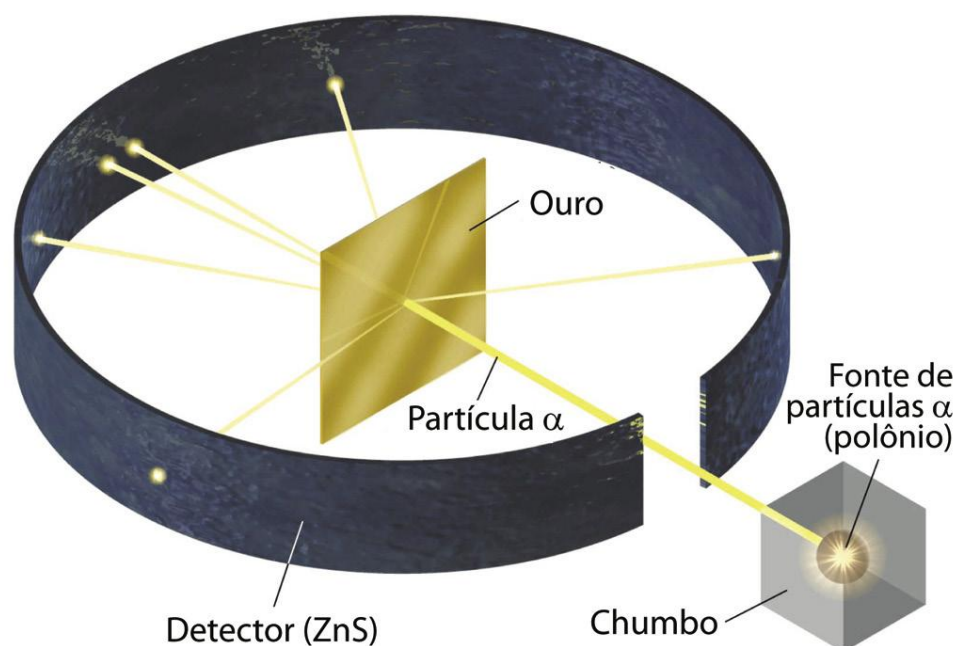


Figura 2: Ilustração do experimento de Rutherford. (Fonte: Retirada do Blog do Enem^[8]).

Mas, como Rutherford concluiu que o núcleo possuía carga positiva? O fato é que o bombardeamento ocorreu com partículas alfa, as quais possuem carga positiva +2. Se as partículas refletiam é porque havia uma repulsão entre o núcleo e a partícula alfa, concluindo então que o núcleo também era de carga positiva. O modelo planetário foi, posteriormente, aperfeiçoado por Niels Bohr.

Em 1919, Rutherford desintegra o núcleo de nitrogênio e detecta as partículas nucleares de carga positiva, as quais seriam chamadas de prótons. Segundo Rutherford, o núcleo é responsável pela maior massa do átomo, anunciando posteriormente a hipótese de existência do nêutron, confirmada apenas 13 anos depois por James Chadwick, em 1932.

A descoberta da existência dessa partícula foi possível graças à aplicação do princípio da conservação da quantidade de movimento. Segundo este, a conservação da quantidade de movimento total de um sistema ocorre se a resultante das forças externas que atuam sobre o sistema for nula. James Chadwick, em 1932, utilizando a conservação da quantidade de movimento realizou uma experiência que comprovou a existência do nêutron^[9].

O marco inicial da física nuclear se deu com a descoberta da radioatividade por Henri Becquerel, em 1896. Acidentalmente, Becquerel deixou amostras de sulfato de urânio e de potássio, enroladas em papel grosso e próximas a chapas de filme fotográfico em uma sala escura. Ao revelar os filmes verificou que estes pareciam ter sido expostos à luz, mesmo sem ter entrado em contato com ela. A gravação da imagem no filme foi atribuída a raios invisíveis emitidos pelo urânio. Becquerel concluiu então que a radiação emitida era de um novo tipo de radiação, a qual não necessitava de estimulação externa ^[29].

Durante a jornada da descoberta do átomo e suas partículas constituintes, houveram avanços que marcaram a história, contudo, nem sempre tais avanços foram somados ao lado positivo do progresso do homem, pois acontecimentos como o projeto Manhattan e o desastre da usina nuclear de Chernobyl, marcaram a história da civilização.

O Projeto Manhattan foi um projeto de pesquisa e desenvolvimento que produziu as primeiras bombas atômicas durante a Segunda Guerra Mundial. Sendo liderado pelos Estados Unidos, com o apoio do Reino Unido e Canadá, o projeto Manhattan começou modestamente em 1939, mas cresceu e empregou mais de 130 mil pessoas e que, na época, custou cerca de US\$ 2 bilhões.

Em 6 de agosto de 1945, foi lançada a primeira bomba atômica contra a cidade japonesa de Hiroshima. A bomba criou uma explosão com poder de destruição equivalente a 15 mil toneladas de TNT (trinitrotolueno), e destruiu quase todas as edificações em um raio de 1,5 quilômetros do hipocentro da explosão, criando um incêndio de proporções imensas que terminou por engolfar toda a cidade. Acreditava-se que 70 mil moradores tenham morrido imediatamente depois da detonação, mas o número de mortos teria chegado a 100 mil no fim de 1945 e a 200 mil em um prazo de cinco anos, devido aos efeitos da radiação.

Três dias mais tarde, em 9 de agosto de 1945, uma segunda bomba foi lançada contra a cidade industrial de Nagasaki. A bomba causou, inicialmente, 40 mil mortes e 140 mil em um prazo de cinco anos. O Japão se rendeu às forças aliadas em 14 de agosto de 1945, o que encerrou oficialmente a Segunda Guerra Mundial ^[10].

Na madrugada do dia 26 de abril de 1986, uma sequência de explosões ocorrida na usina nuclear de Chernobyl, localizada na Ucrânia, resultou em um dos

maiores acidentes químicos e nucleares da história. Uma primeira explosão de vapor no reator número 4, também conhecido como Chernobyl-4, e o incêndio resultante desencadearam uma sequência de explosões químicas que gerou uma imensa nuvem radioativa de iodo-131 e césio-137, alcançando a União Soviética, Europa Oriental, Escandinávia e Reino Unido. Ao contrário do que comumente se afirma, não houve explosão nuclear em Chernobyl.

Em virtude da propagação da nuvem radioativa, milhões de outras pessoas sofreram as consequências do contato com o iodo e o césio liberados na explosão, resultando em doenças e má-formações das pessoas nascidas de mães e pais contaminados. As áreas que mais foram afetadas foram a Rússia, Ucrânia e Bielorrússia, sendo que este último país concentrou 60% do pó radioativo em seu território.

De abril até agosto de 1986 milhares de trabalhadores de toda a URSS trabalharam para a construção de um sarcófago para impedir a propagação da radiação. A usina encontra-se hoje desativada e isolada, sendo proibida a entrada de pessoas. Sua desativação completa ocorrerá apenas no ano de 2065, quando os níveis de radiação provavelmente terão voltado ao normal^[11,12].

Pode-se citar aqui, outros desastres nucleares como o acidente ocorrido no Japão em 12 de março de 2011. O terremoto de 9 pontos da Escala Richter que atingiu o Japão em 11 de março, causou estragos na usina nuclear Daiichi, em Fukushima, cerca de 250 km ao norte de Tóquio. Nos EUA, em março de 1979, na cidade de Three Mile Island (Pensilvânia), uma falha humana impediu o resfriamento normal de um reator, cujo centro começou a derreter. Os dejetos radioativos provocaram uma enorme contaminação no interior do recinto de confinamento, destruindo 70% do núcleo do reator. Um dia depois do acidente, estimou-se que a radioatividade em volta da usina era oito vezes maior que a letal^[13].

Estes são apenas alguns dos eventos nucleares que foram significativos na história da humanidade. Eventos como os citados acima dão origem a movimentos que vão contra o uso de energia nuclear. Torna-se evidente aqui os malefícios do uso da energia nuclear, mas quando utilizada de forma cautelosa e correta, a mesma torna-se uma ferramenta de grande auxílio na geração de energia elétrica, por exemplo.

A física nuclear pode ser aplicada para obter energia, na medicina, engenharia, na arqueologia, no contexto artístico e geologia. Sendo este último nosso principal enfoque neste trabalho.

5. APLICAÇÕES DA FÍSICA NUCLEAR

5.1. Usinas Nucleares

Energia nuclear é a energia liberada em uma reação nuclear, ou seja, em processos de transformação de núcleos atômicos. Alguns isótopos de certos elementos apresentam a capacidade de se transformar em outros isótopos ou elementos através de reações nucleares emitindo energia durante esse processo. Baseia-se no princípio da equivalência de energia e massa observado por Albert Einstein, segundo o qual, durante reações nucleares ocorre transformação de massa em energia ^[14].

A energia elétrica gerada por uma fonte nuclear é obtida a partir do calor da reação do urânio. A queima do combustível produz calor que ferve a água de uma caldeira transformando-a em vapor. O vapor movimentando uma turbina que dá partida a um gerador que produz a eletricidade. Este esquema pode ser visto na figura 3 abaixo.

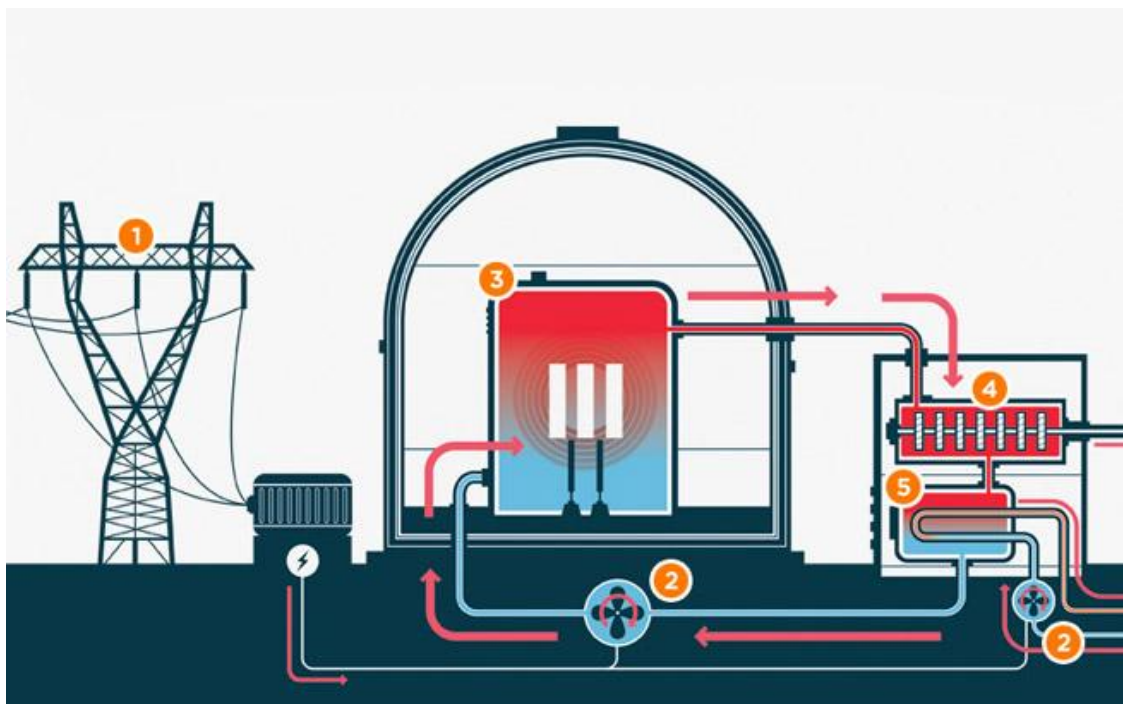


Figura 3: Esquema de uma usina nuclear. (Fonte: Retirada do site Último Segundo ^[15]).

- Onde:
- 1) Rede externa de energia que alimenta o sistema de bombeamento de água da usina nuclear;
 - 2) Sistema de bombeamento injeta água no reator e no sistema de resfriamento;
 - 3) Núcleo do reator nuclear aquece a água a altas temperaturas e gera vapor que é enviado à turbina;
 - 4) Vapor move a turbina e seu movimento gera eletricidade;
 - 5) Após movimentar a turbina, o vapor é direcionado ao sistema de resfriamento onde volta ao estado líquido, reiniciando o processo.

Todo este processo parte de uma fissão do urânio, como pode ser visto na figura 4 a seguir.

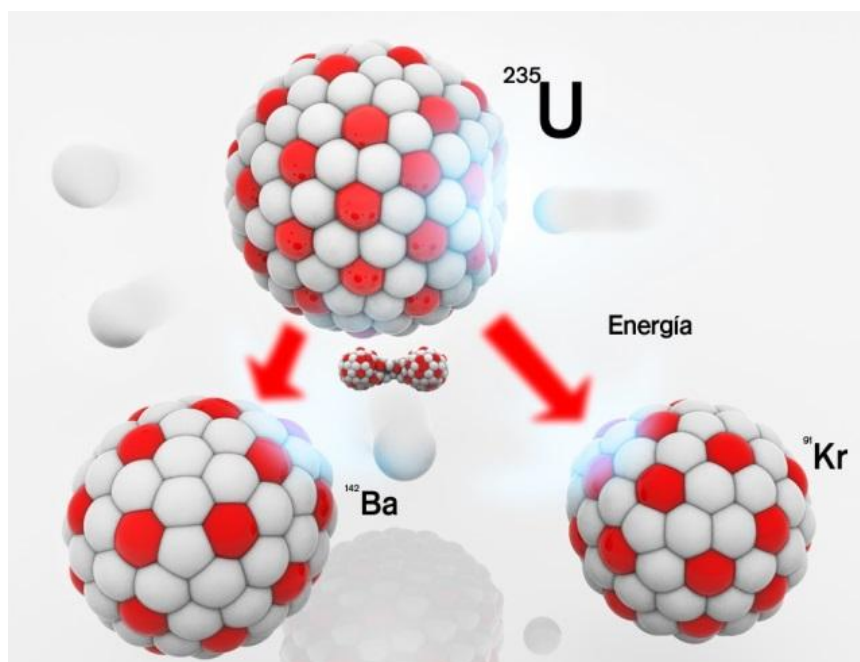


Figura 4: Fissão do isótopo ^{235}U . (Fonte: Retirada do blog 3D Science ^[16]).

Na figura 4, o isótopo do ^{235}U é bombardeado por um nêutron em alta velocidade. Este bombardeamento gera uma instabilidade no isótopo que, por sua vez, se fissiona liberando uma energia de aproximadamente 200 MeV (200×10^6 eV), dois nêutrons, um átomo de bário e um de criptônio (sendo esta apenas uma das varias possibilidades de fissão do isótopo ^{235}U).

5.2. Medicina

A medicina nuclear é uma especialidade médica que realiza diagnóstico e terapia através da radiação emitida por elementos radioativos (radioisótopos) [17].

Como dito anteriormente, a radioatividade foi descoberta acidentalmente em 1896 por Henri Becquerel. A emissão de radiação ficou conhecida como radioatividade, e os elementos que manifestam este fenômeno são os radionuclídeos [29].

Neste mesmo contexto, radiação é uma forma de energia liberada na forma de partículas ou ondas eletromagnéticas. Além de existir naturalmente no ambiente, a radiação também vem de fontes artificiais como as utilizadas em tratamentos médicos. A forma mais familiar de radiação é a luz solar, que consiste em uma gama de radiações com comprimentos de onda e frequências diferentes. Neste espectro de radiações tem-se a radiação chamada luz visível, a qual fica entre o infravermelho e o ultravioleta, capaz de ser detectada pelo sensor chamado de olho.

Além da radiação solar, existem outros tipos de radiação, como as emitidas pelo solo e sua composição, as que se encontram no ar, a radiação vinda de fontes artificiais, como aquelas usadas na medicina [18] e as que se encontram no espectro eletromagnético, ilustrado na figura 5.

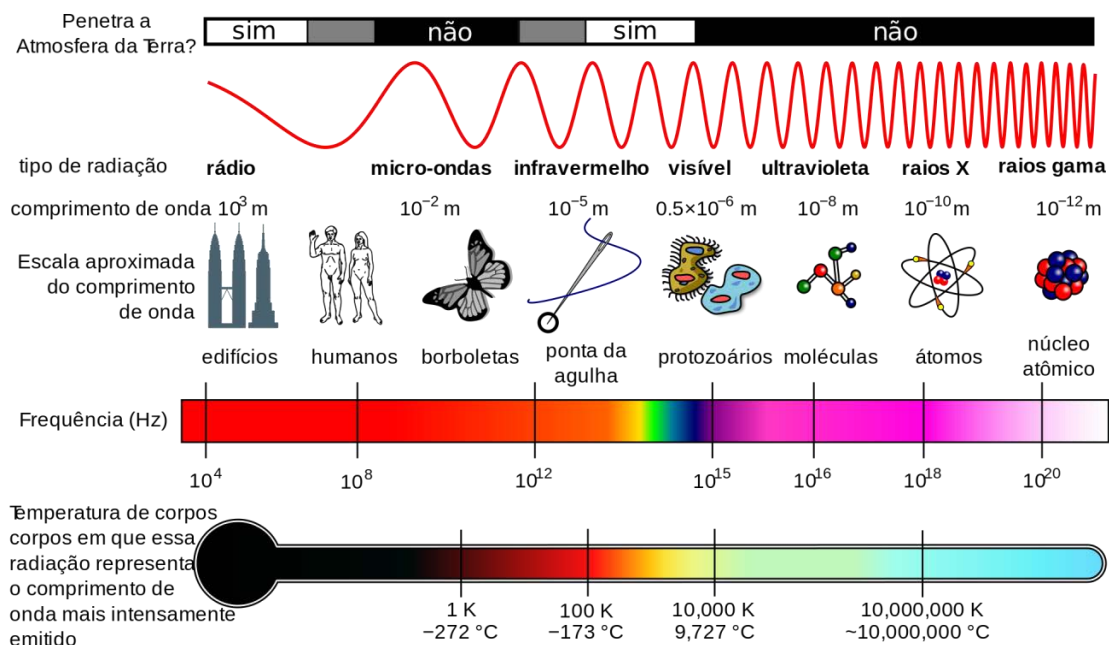


Figura 5: Espectro eletromagnético. (Fonte: Retirada do Wikipédia [19]).

Este tipo de aplicação da física nuclear permite obter diagnósticos conclusivos ao poder observar o estado fisiológico dos tecidos de forma não invasiva, através da marcação de moléculas participantes nesses processos fisiológicos com isótopos radioativos. Estes, por sua vez, denunciam sua localização por emitirem radiação nuclear, na forma de onda eletromagnética de comprimento de 0,01 nm a 1 nm ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$), encontrando-se dentro do espectro entre os raios x e raios gama, como pode ser visto na figura 5. A detecção localizada de muitos fótons gama com uma câmara gama permite formar imagens ou filmes que informem acerca do estado funcional dos órgãos ^[20].

A emissão de partículas beta ou alfa, que possuem alta energia, pode ser útil do ponto de vista terapêutico, para destruir células ou estruturas indesejáveis, mas não formam imagem.

Para maiores esclarecimentos, temos as seguintes definições de radiação:

- **Radiação Alfa (α):** Os raios alfa tem uma carga elétrica positiva. Consistem em dois prótons e dois nêutrons, e são idênticos aos núcleos dos átomos de hélio. Os raios alfa são emitidos com alta energia, mas perdem rapidamente essa energia quando passam através da matéria. Uma ou duas folhas de papel podem deter os raios alfa.

- **Radiação Beta (β):** São elétrons, partículas negativas com carga - 1 e número de massa 0. As partículas beta se propagam com velocidade quase igual à da luz. Alguns podem penetrar mais de 1 cm de madeira.

- **Radiação Gama (γ):** As radiações gama são ondas eletromagnéticas, e possuem carga e massa nulas, emitem continuamente calor e têm a capacidade de ionizar o ar e torná-lo condutor de corrente elétrica. Esses raios são fótons (partículas de radiação eletromagnética) e se propagam com a velocidade da luz. São muito mais penetrantes do que as partículas alfa e beta.

Na tabela 1 e figura 6 a seguir, pode-se observar algumas características dos tipos de radiações citadas anteriormente.

Tabela 1: Radiações eletromagnéticas. (Fonte: Retirada do Cola da Web ^[21]).

Radiação	Alfa (α)	Beta (β)	Gama (γ)
Poder de	Alto. A partícula alfa captura 2 elétrons do meio, se	Médio. Por possuírem carga elétrica menor,	Pequeno. Não possuem carga.

ionização	transformando em átomo de hélio	possuem menor poder de ionização	
Danos ao ser humano	Pequenos. São detidos pela camada de células morta da pele, podendo causar no máximo queimaduras	Médio. Podem penetrar até 2 cm e ionizar moléculas gerando radicais livres	Alto. Pode atravessar completamente o corpo humano, causando danos irreparáveis como alteração na estrutura do DNA
Velocidade	5% da velocidade da luz	95% da velocidade da luz	Igual a velocidade da luz: 300000 Km/s
Poder de penetração	Pequeno. Uma folha de papel pode deter	Médio. É 50 a 100 vezes mais penetrantes que a α . São detidas por uma chapa de chumbo de 2 mm	Alto. Os raios gama são mais penetrantes que os raios x. São detidos por uma chapa de chumbo de 5 cm

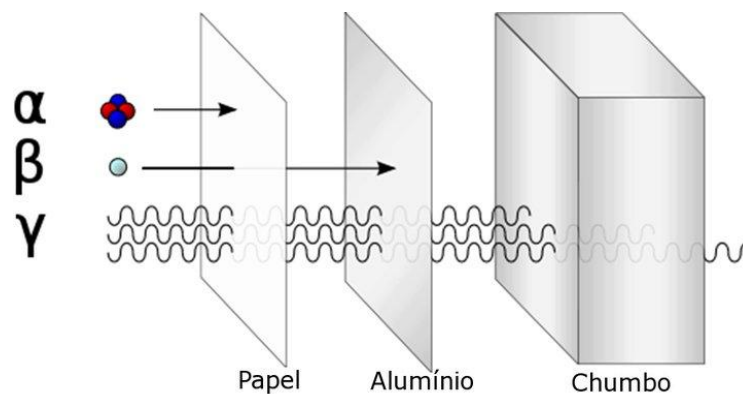


Figura 6: Escala de penetração dos tipos de radiações. (Fonte: Retirada do blog Química é Muito Bom ^[22]).

A importância deste tipo de exames tem merecido cada vez mais reconhecimento. A principal limitação à maior utilização da medicina nuclear é o custo. No entanto é impossível observar muitos processos fisiológicos de forma não invasiva sem a medicina nuclear. A quantidade de radiação que o paciente recebe em um exame de radiografia pode ser significativa, uma vez que a penetração dos raios gamas podem alterar estruturas celulares do ser humano devido seu alto poder de penetração.

5.3. Engenharia

Quando se trata de física nuclear, em especial no ramo da engenharia, pode-se citar a engenharia nuclear. De acordo com o site da editora abril da revista Guia do Estudante (2015) ^[23], a engenharia nuclear é:

“Este é o ramo da engenharia voltado ao desenvolvimento de novas tecnologias para a área de geração e aplicação de energia nuclear. Este engenheiro trabalha em usinas que produzem eletricidade tendo como fonte elementos radioativos, como urânio. Além de projetar, construir e operar reatores nucleares, ele também desenvolve e dá manutenção a equipamentos para proteção radiológica de uso da medicina, gerenciando seu funcionamento e supervisionando o cumprimento de normas de segurança. Pode administrar a aplicação de radiação nuclear também na conservação de alimentos e na preservação de obras de arte. Costuma trabalhar em equipes multidisciplinares, com físicos, matemáticos, químicos, geólogos e engenheiros de outras modalidades.” ^[23].

Nota-se, portanto, o vasto campo que a engenharia nuclear proporciona dentro do mercado de trabalho, por exemplo. Um engenheiro nuclear pode ser capaz de atuar tanto na área energética quanto no ramo da medicina, sendo que esta última possui uma abrangência significativa.

5.4. Artes e Arqueologia

Pode parecer difícil buscar uma interdisciplinaridade entre a física e as demais áreas de aprendizado. Mas é ainda mais interessante quando se consegue essa união das áreas do conhecimento, como é o caso da arqueologia e artes andando juntas com a física nuclear. As técnicas desenvolvidas para investigar os átomos e os núcleos podem ser usadas para analisar diversos materiais. Uma aplicação interessante é o estudo de peças artísticas e arqueológicas.

Conhecer as técnicas de fabricação e os materiais usados em objetos de arte pode confirmar a autenticidade de uma tela de um pintor famoso ou descobrir a origem de um vaso indígena de milhares de anos, além de ajudar a encontrar a melhor forma de restaurar e/ou conservar essas riquezas culturais. Uma curiosa aplicação atual da física e das técnicas nucleares está no estudo, na conservação e

na restauração do patrimônio cultural, incluindo objetos de arte, documentos históricos, peças arqueológicas e outros.

Entre as técnicas empregadas no estudo de objetos arqueológicos e artísticos, as que mais se destacam são as não destrutivas, em que a análise é feita sem a retirada de material das amostras, preservando-as e permitindo futuras reanálises. Essas técnicas, como as que usam feixes de íons gerados em aceleradores nucleares (Pixe e Pige), por exemplo, já são utilizadas no Brasil para o estudo de diferentes objetos de arte ou do patrimônio cultural.

A técnica é baseada na emissão de um feixe de partículas que interagem com a amostra analisada, o qual provoca a emissão de raios x ou raios gama característico de cada elemento que compõem a amostra analisada. Um detector específico de raios x ou raios gama determina a composição elementar do material e os resultados são obtidos rapidamente através da produção dos gráficos em computadores. A figura 7 a seguir ilustra este tipo de análise ^[24].

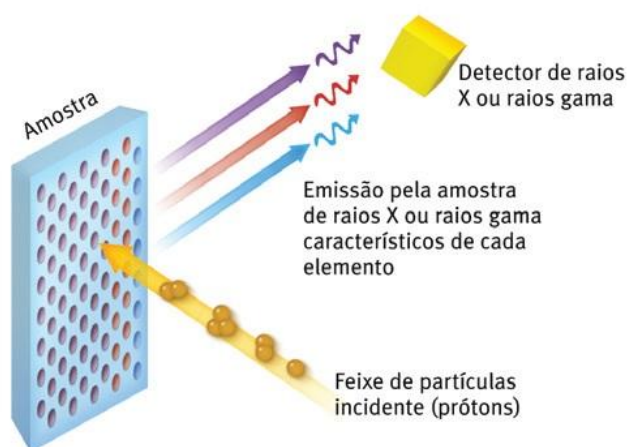


Figura 7: Esquema simplificado dos métodos Pixe (raios X) e Pige (raios gama). (Fonte: Retirada do site Uol - Ciência Hoje ^[24]).

Esses objetos podem ser de diferentes tipos (ossos, metal, rochas, couro, etc.), ter estrutura complexa (ligas metálicas, joias, adereços, armas, etc.), estar cobertos com uma ou várias camadas de pigmentos (pinturas, estátuas de madeira, manuscrito, etc.), e às vezes com uma camada protetora (verniz) e até apresentar superfícies deterioradas (corrosão, oxidação, etc.).

Além desta aplicação, físicos podem realizar datações através de uma técnica chamada de Método dos Traços de Fissão Nuclear. Com esta técnica de datação

através da análise em obsidianas (vidro vulcânico), é possível realizar um estudo das civilizações que habitavam um determinado lugar muito antes da emancipação do homem contemporâneo, visto que a obsidiana era um artefato muito utilizado como ferramenta de corte por povos primitivos. Neste contexto, há a inserção de estudiosos de áreas como arqueologia, geologia e até mesmo história.

5.5. Geologia

Na geociência, que é a ciência que estuda a geologia, o uso das técnicas nucleares possibilita a identificação de elementos radioativos presentes nos minerais e em rochas. Além dessa finalidade, a radioatividade também é usada para:

- Fornecer informações sobre litoestratigrafia;
- Identificação de sistemas geradores de calor e de anomalias hidrotermais, em busca de jazidas minerais com potencialidade de exploração;
- Prospecção de petróleo;
- Estudo do equilíbrio químico de águas;
- Perfilagem de poços;
- Geocronologia.

A física nuclear quando inserida na geologia, torna-se a base de uma área de conhecimento conhecida como geofísica nuclear, que é uma das vertentes da geologia, ciência que estuda a estrutura da Terra, a sua origem, natureza e transformações ^[25].

Em pesquisas de geocronologia, área que estuda o conjunto de métodos de datação usados para determinar a idade das rochas, fósseis, sedimentos e os diferentes eventos da história da Terra ^[26], a radioatividade tornou-se uma das ferramentas mais importantes devido à confiabilidade nos resultados de datação de processos geológicos e no cálculo da idade da Terra e do sistema solar ^[27].

Para que as técnicas de datação possam ser melhor entendidas, o conceito de isótopos deve também ser melhor esclarecido. Supondo que o núcleo de um determinado elemento químico possua um número Z de prótons e seja cercado pela mesma quantidade de elétrons (partículas de carga negativa), então o átomo é considerado eletricamente neutro, Z é dito seu número atômico e define a posição

do elemento na tabela periódica. O número de nêutrons é representado por N, enquanto A representa o número de massa (número de nêutrons somado com o número de prótons).

Átomos de um mesmo elemento que possuem número de nêutrons diferentes são chamados de isótopos. O urânio, por exemplo, possui 92 prótons, mas pode ter 142, 143 ou 146 nêutrons. Os diferentes isótopos são identificados pelo número de massa, no caso do urânio: ^{232}U , ^{235}U e ^{238}U .

Alguns elementos possuem um grau de radiação bastante elevado, como é o caso do cézio-137 mencionado anteriormente. A usina de Chernobyl só poderá ser considerada segura em 2065, quando os seus níveis de radiação estiverem baixos. Mas o que faz os níveis de radiação diminuírem? A resposta está na meia vida de cada elemento, uma característica de cada elemento instável. A meia vida de um elemento radioativo é o intervalo de tempo em que uma amostra deste elemento se reduz à metade. Este intervalo de tempo também é chamado de período de semidesintegração.

À medida que os elementos radioativos vão se desintegrando, no decorrer do tempo, a sua quantidade e atividade vão reduzindo e, por consequência, a quantidade de energia emitida por ele, em razão da radioatividade, também é reduzida.

O urânio-238 (^{238}U) sendo um elemento instável na natureza, o qual tem uma meia vida de 4,5 bilhões de anos (aproximadamente a idade da Terra), estabiliza-se através de um processo chamado de decaimento radioativo, que é a desintegração do elemento pai (urânio-238) emitindo partículas alfa e beta até atingir as condições de um elemento estável, conhecido como elemento filho, que neste caso é o chumbo-206.

Este trabalho de conclusão de curso é uma proposta didática para o ensino de física nuclear, as equações que aqui serão apresentadas são para ilustrar o trabalho para o leitor e não são de obrigatoriedade na metodologia de ensino. Embora as equações não sejam complexas, o ensino destas torna-se optativo para cada professor, mas que aqui elas serão apresentadas de forma sucinta. Ver-se-á agora algumas técnicas de datação que possuem como base fundamental a física nuclear.

5.5.1. Carbono Radioativo

Constantemente a radiação cósmica atinge a Terra, a colisão entre as partículas dessa radiação e os átomos de oxigênio e nitrogênio presentes na atmosfera terrestre produz nêutrons de alta energia. Por sua vez, os nêutrons colidem com os núcleos de nitrogênio, transformando-os em carbono quatorze (^{14}C), um isótopo do carbono. O ^{14}C emite uma partícula β , decaindo para ^{14}N (nitrogênio quatorze), com meia-vida de aproximadamente 5730 anos. Dessa forma, a produção de novo ^{14}C é balanceada pelo decaimento, preservando o equilíbrio natural.

No método do carbono radioativo, a quantidade restante de nuclídeos P (espécie atômica caracterizada pelo número de prótons, nêutrons e estado energético do núcleo) é obtida medindo-se a atual taxa de atividade das partículas- β , que é proporcional ao número de P . Este resultado é comparado ao valor inicial de nuclídeos pais, P_0 , assim, o tempo t passado desde o início do decaimento é calculado pela equação 1 abaixo, onde e é o número neperiano e equivale, aproximadamente, 2,72.

$$P = P_0 e^{-t} \quad (1)$$

O método do ^{14}C é bastante usado para datar eventos da época Holoceno, ou seja, mais de 10.000 anos atrás [27]. Rochas não podem ser datadas através do Carbono 14, existem outras técnicas que datam rochas e minerais.

5.5.2. Potássio - Argônio (K-Ar)

O potássio (K) é comum em rochas e minerais, enquanto o isótopo filho argônio (Ar) é um gás inerte que não se combina com outros elementos. O ^{40}K decai de duas maneiras:

- a) Por emissão de uma partícula- β , transformando-se em $^{40}\text{Ca}_{20}$;
- b) Por captura eletrônica, passando a $^{40}\text{Ar}_{18}$.

O método funciona bem em rochas ígneas (consolidada pelo resfriamento do magma) que não tenham passado por aquecimento desde sua formação, pois uma fase de aquecimento faria com que o ^{40}Ar escapasse facilmente na rocha fundida,

zerando o relógio de acumulação de ^{40}Ar . Este é um fator que limita a utilidade da técnica. A idade da rocha é obtida através da equação 2 abaixo ^[27].

$$T = 1,804 \times 10^9 \ln \left[9,524 \frac{^{40}\text{Ar}}{^{40}\text{K}} + 1 \right] \quad (2)$$

5.5.3. Argônio-Argônio (Ar-Ar)

Para solucionar algumas incertezas apresentadas no método K-Ar devido a uma possível fase de aquecimento que a amostra tenha sofrido, uma alternativa à técnica é usar a razão isotópica $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$. Para tanto, é necessário converter o ^{39}K presente na rocha em ^{39}Ar , que é obtido irradiando-se a amostra com nêutrons em um reator nuclear. Ao bombardear os núcleos de ^{39}K com nêutrons, apenas uma parte desses núcleos passará a ^{39}Ar , para conhecer esta quantidade, uma amostra de controle, com idade conhecida é irradiada ao mesmo tempo. Observando as variações nas razões isotópicas sabe-se a porcentagem de potássio convertido em argônio. A idade da rocha é dada pela equação 3.

$$T = 1,804 \times 10^9 \ln \left[J \frac{^{40}\text{Ar}}{^{39}\text{Ar}} + 1 \right] \quad (3)$$

Onde J é uma constante obtida da amostra de controle ^[27].

5.5.4. Urânio-Chumbo (U-Pb)

O urânio decai através de uma série de elementos filhos intermediários até estabilizar-se, sendo o chumbo o último produto do decaimento. O decaimento do urânio 238 (^{238}U) em chumbo 206 (^{206}Pb), e do ^{235}U em ^{207}Pb , pode ser simplificado da seguinte maneira:

$$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}} = e^{\lambda_{238}T} - 1 \quad (4)$$

$$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}} = e^{\lambda_{235}T} - 1 \quad (5)$$

Onde:

- λ_{238} é a constante de decaimento o isótopo ^{238}U ;

- λ_{235} é a constante de decaimento do isótopo ^{235}U ;
- T é a idade.

A razão entre $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ contra a razão $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ fornece a curva concórdia (figura 8). Todos os pontos dessa curva satisfazem as equações de decaimento (4) e (5) no mesmo instante de tempo T .

O chumbo é um elemento volátil que escapa facilmente dos minerais, essa perda na quantidade de chumbo é visualizada por pontos que se colocam fora da curva concórdia, estes pontos unidos fazem a chamada reta discórdia. O ponto de intersecção entre as duas curvas, indicado na figura pela letra A, representa a idade original da rocha, enquanto o ponto E indica o início da perda de chumbo na amostra, como pode ser visto na figura 8 ^[27].

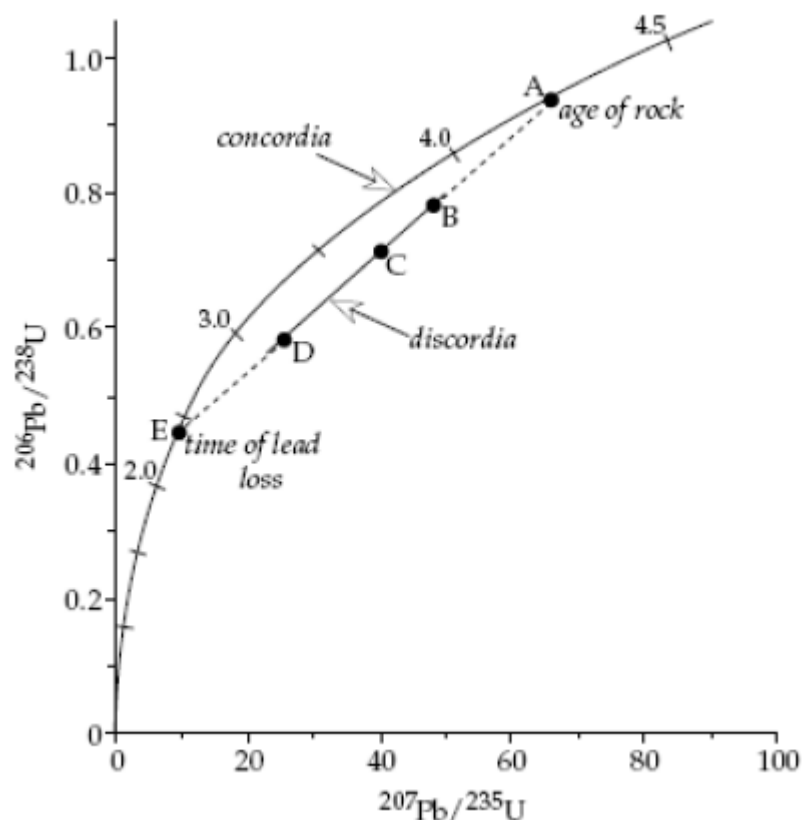


Figura 8: Gráfico que indica o diagrama concórdia versus discórdia. (Fonte: Arquivo PDF extraído do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas ^[27]).

Existe também outra maneira de se analisar o idade de uma rocha através do decaimento do ^{238}U . Ernest Rutherford foi quem propôs o método do decaimento radioativo que é aceito até hoje. Como dito anteriormente, o isótopo de ^{238}U sofre

decaimento radioativo, terminando como chumbo ^{206}Pb , como se pode ver na figura 9 a seguir:

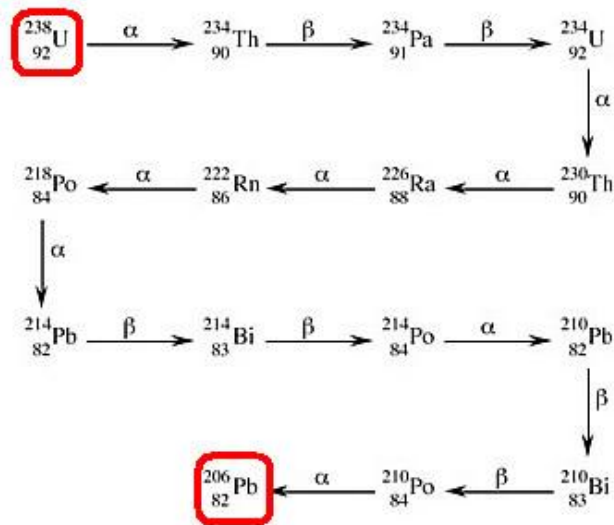


Figura 9: Decaimento radioativo do ^{238}U . (Fonte: Mundo Educação – Decaimento radioativo e a idade da Terra ^[32]).

O tempo de meia-vida do ^{238}U é de aproximadamente $4,5 \times 10^9$ anos (4,5 bilhões de anos). No caso do decaimento do urânio 238, um átomo seu resulta em um átomo de chumbo 206, estável. Desta forma realiza-se uma comparação das quantidades de urânio e chumbo presentes em minérios de urânio nas rochas ou em meteoritos, permitindo determinar as suas idades ^[32].

Por exemplo, na tabela 2 o ^{206}Pb relaciona-se com o ^{238}U , considerando uma quantidade inicial de urânio igual a 64:

Tabela 2: Exemplo comparativo da relação ^{238}U e ^{206}Pb . (Fonte: Mundo Educação – Decaimento radioativo e a idade da Terra ^[32]).

Número de meia vidas	Número de átomo de ^{238}U	Número de átomo de ^{206}Pb	Relação Pb/U
0	64	0	$0/64 = 0$
1	32	32	$32/32 = 1$
2	16	48	$48/16 = 3$
3	8	56	$56/8 = 7$
4	4	60	$60/4 = 15$

De acordo com o exemplo dado na tabela 2, determinada rocha possui a relação Pb/U igual a 15. Isso significa que ela foi formada a 4 meias-vidas do ^{238}U . Sabendo que uma meia vida corresponde a $4,5 \times 10^9$ anos, então 4 meias vidas serão $1,8 \times 10^{10}$ anos ou 18 bilhões de anos, que será o tempo de vida da rocha. Esta também é uma maneira de se analisar a idade de uma rocha utilizando o método urânio-chumbo.

5.5.5. Termoluminescência

Para se determinar a idade de objetos com mais de 50 mil anos ou cuja idade não tenha relação com compostos orgânicos, como por exemplo, vasos de cerâmica, usam-se outros métodos de datação. Uma técnica bem mais barata que a do carbono-14 e que vem sendo cada vez mais usada no mundo todo é a da termoluminescência (TL).

Esse método analisa minúsculos defeitos que estão no material de que é feita a amostra em decorrência da radiação a que ele está submetido: radiação cósmica, radiação do ambiente ao redor da amostra ou do próprio material de que ela é feita. Quando a radiação reage com a amostra, alguns elétrons são liberados de suas moléculas, sendo que dos elétrons liberados, alguns deles são aprisionados em defeitos da própria amostra. Portanto, algumas moléculas não recebem seus elétrons de volta e ficam ionizadas, de maneira que, com o passar dos anos mais elétrons vão sendo aprisionados nestes defeitos.

Aquecendo-se a amostra, a energia térmica que é fornecida é capaz de liberar os elétrons que antes estavam aprisionados nos defeitos da amostra, permitindo que estes se recombinem com as moléculas ionizadas, restituindo sua formação original. Nesse processo de recombinação, é emitida energia luminosa que constitui a termoluminescência.

Em laboratório é feito o aquecimento da amostra analisada até que a termoluminescência seja liberada. A intensidade da termoluminescência indica o tempo transcorrido desde a última vez em que a amostra sofreu aquecimento. No caso de uma cerâmica, ela era aquecida durante sua concepção para a lapidação, assim, a intensidade da termoluminescência fornece o tempo transcorrido desde que ela foi aquecida pela última vez. Com isso, pode-se datar objetos de até 1 milhão de anos.

Esse método foi introduzido no Brasil no final da década de 60 por Shiguelo Watanabe, do Instituto de Física da USP. Sua equipe fez um estudo sobre fragmentos de vasos e urnas funerárias encontradas no interior do estado de São Paulo. Sua pesquisa estava inserida no Projeto Paranapanema, idealizado em 1968 pela arqueóloga Luciana Pallestini, cujo objetivo atualmente é o estudo do cenário da ocupação humana na bacia do Rio Paranapanema (São Paulo e Paraná), em nível físico, biológico e socioeconômico [28].

5.5.6. Método dos Traços de Fissão (MTF)

O MTF é uma técnica usada na datação de minerais e materiais amorfos (obsidiana, por exemplo). A maioria dos minerais e obsidiana possui o ^{238}U como impureza, sendo este um isótopo que se fissiona de maneira espontânea na rede cristalina do mineral ou estrutura molecular do vidro. Esta fissão causa uma região de instabilidade eletrônica chamada de traço latente (Figura 10), o qual se encontra na ordem de angstroms (10^{-10} m), sendo que o cálculo da densidade deste traço latente é um parâmetro (dentre outros parâmetros) capaz de fornecer a idade do mineral.

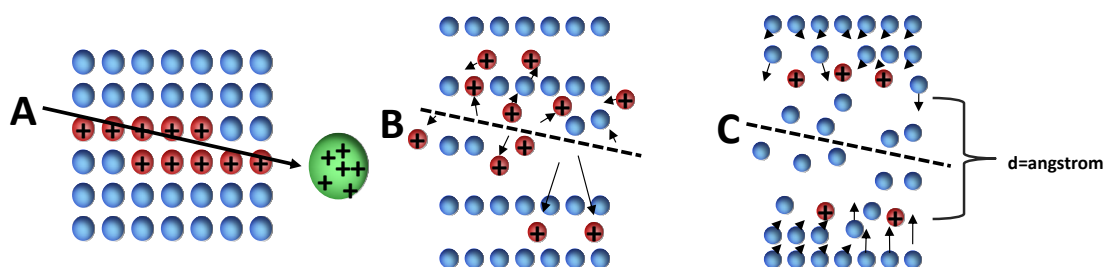


Figura 10: Formação do traço latente. A - Ionização da rede cristalina do mineral causada pela fissão do isótopo ^{238}U ; B - Repulsão Coulombiana entre as moléculas causada pela ionização; C - Região de instabilidade (traço latente). Fonte: (Apresentação de Tese de doutorado (Nakasuga, W. 2014)).

Durante períodos geológicos, a rocha que mantém o mineral confinado esta sujeita a inúmeras ações da natureza (terremotos, erupções vulcânicas, intemperismo, etc.). O fato é que, quando o mineral passa por um evento térmico sob elevadas temperaturas, energia térmica fornecida neste mineral faz com que a região de instabilidade eletrônica chamada de traço latente, antes desarranjada, se rearranje, zerando o “cronômetro natural” daquele mineral. Este fenômeno é

conhecido como *annealing*. Esta técnica fornece, na maioria das vezes, a idade do último evento térmico significativo que contribuiu para que o cronômetro natural do mineral zerasse, não se tratando, portanto, da sua idade de cristalização (formação). Contudo, a idade obtida via MTF pode estar se tratando da idade de formação do mineral, isso dependerá se o último evento térmico foi o da própria formação do mineral, o qual esteve sob condições específicas de temperatura, pressão, etc.

Os minerais mais aptos para datação via MTF são: Apatita, zircão, epídoto e mica muscovita. O vidro vulcânico (obsidiana), a qual é formada quando o magma se solidifica rapidamente. A obsidiana também pode ser utilizada para na datação via MTF devido a sua quantidade de ^{238}U , contudo, dada a sua ligeira formação, este não possui uma estrutura cristalina bem definida, portanto não é considerado um mineral, e sim um material amorfo.

Para que seja realizada a datação, é necessário que a mesma seja extraída de rochas através de um processo de britagem, moagem, separação por densidade, separação granulométrica, separação magnética e separação química, onde, após estas etapas, é realizado um lixamento, polimento e ataque químico ideal no mineral para que, posteriormente, seja realizado o cálculo da densidade superficial de traços fósseis e induzidos, sendo estes dois parâmetros calculados em laboratório.

Traço fóssil nada mais é que o traço latente tratado quimicamente, mas que agora possui um diâmetro na ordem de micrômetros, sendo possível realizar a análise através de um microscópio óptico. Já o traço induzido, fissionado pelo bombardeamento de nêutrons térmicos em um reator nuclear, representa a fissão do isótopo ^{235}U presente na amostra. Nas figuras 11 e 12 é possível observar os traços fósseis e induzidos, respectivamente, do mineral zircão.

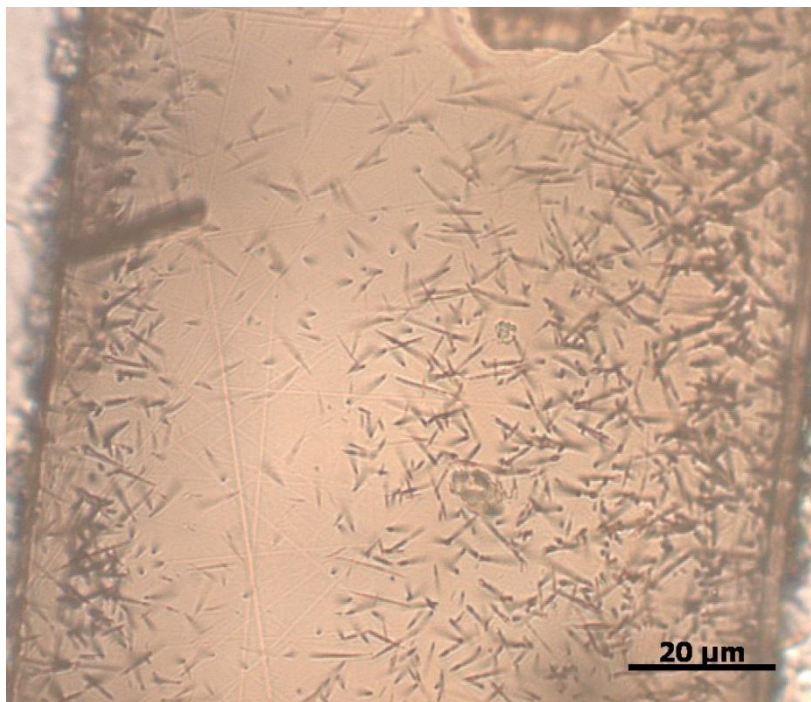


Figura 11: Imagem óptica de traços fósseis do mineral zircão em uma objetiva de 100x com um aumento ocular de 10x. (Fonte: Próprio autor)

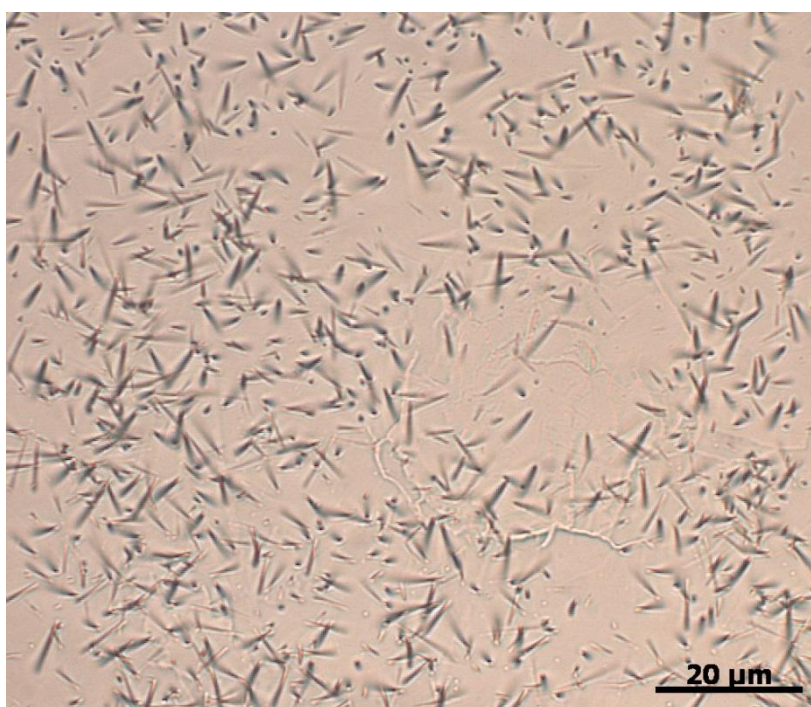


Figura 12: Imagem óptica de traços induzidos do mineral zircão em uma objetiva de 100x com um aumento ocular de 10x. (Fonte: Próprio autor)

Observa-se nas figuras acima a grande quantidade de traços, tanto fósseis quanto induzidos. O cálculo das densidades pode ser realizado graças aos sistemas de microscopia óptica existentes, no qual o microscopista ao analisar os traços, consegue realizar a contagem graças a uma matriz 10x10 (Figura 13) que esta desenhada na ocular do microscópio, de maneira que esta matriz desempenha um papel organizacional no ato da contagem, onde o microscopista realiza o cálculo da área a qual a amostra foi analisada dentro da matriz 10x10, bem como adota seus próprios critérios de análise.

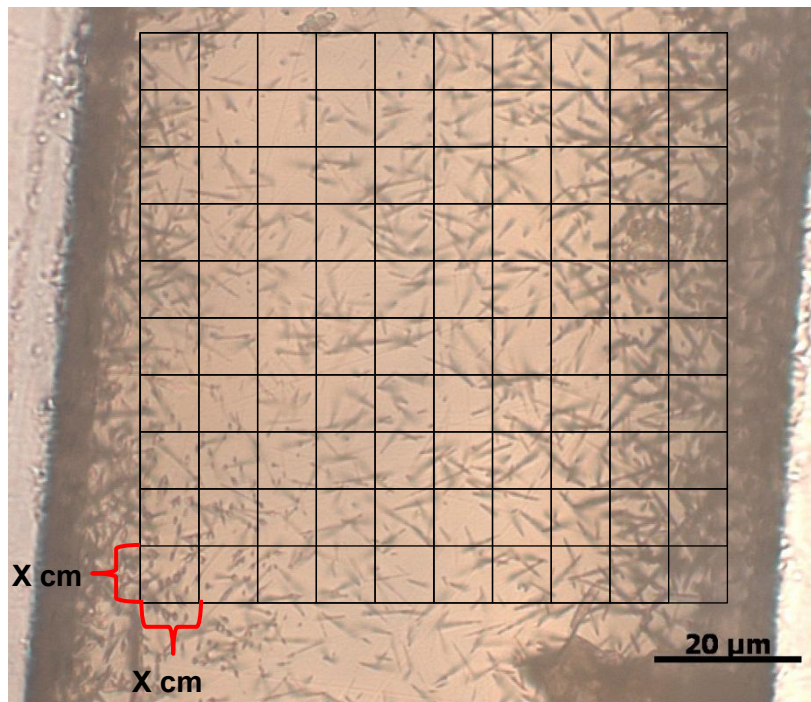


Figura 13: Representação da visão do microscopista ao analisar uma amostra em um sistema de microscopia óptica. (Fonte: Próprio autor).

Portanto, realizado o cálculo das densidades, é possível obter a idade via MTF através da equação 6:

$$T = \frac{1}{\lambda} \ln \left[1 + \frac{g(\rho_s/\rho_I)}{(\varepsilon^{238}/\varepsilon_I)} \left(\frac{\lambda}{\lambda_f} \right) \left(\frac{R_M}{C_{238}} \right) \right] \quad (6)$$

Para fins de conhecimento do educador, segue o significado de cada termo da equação:

- $\rho_s(i)$ é a densidade de traços fósseis (induzidos);
- λ é a constante de decaimento total do ^{238}U ;
- λ_f é a constante de decaimento do ^{238}U por fissão espontânea;

- C_{238} é a concentração isotópica do ^{238}U ;
- g é o fator de geometria (diferente para cada mineral);
- $\varepsilon(\varepsilon^{238})$ é um fator de eficiência que representa a razão entre o número de traços de fissão induzida (espontânea), observados por unidade de superfície e o número de fissões induzidas (espontâneas) ocorridas dentro do mineral, por unidade de volume.

6. GEOLOGIA NAS ESCOLAS

Não é novidade que o ensino de ciências (física, química e matemática), em geral, vem sendo cada vez mais desmotivador para muitos alunos do ensino médio. Neste sentido, mostrar uma aplicação da física, como é o caso da geociências, de forma didática faz com que a física adquira um caráter formador e motivador, além de se apresentar a física como uma disciplina interdisciplinar, pois na geociências tem-se as idades calculadas, o tipo de mineral, a origem do urânio e sua manufatura.

Outros temas como poluição da água, ar e solo podem muito bem contemplar a disciplina de química como calcular o pH da água, estimar o nível de poluição do solo, seus agentes contaminantes, quais as substâncias tóxicas presentes no solo, etc. Vislumbrar soluções para problemáticas como esta, é que envolvem o aluno no cotidiano, aguçando suas mentes para assuntos sociais e de fundamental importância na sociedade. Existem abordagens como Ciência Tecnologia, Sociedade e Ambiente (CTSA), que atualmente adquirem grande importância no ensino das ciências e o conteúdo de fissão do urânio, pode ser ensinado dentro desta abordagem.

Em outro contexto, pode-se falar de fatos conhecidos pelos alunos, como por exemplo o movimento das placas tectônicas. Na física é possível maravilhar-se com a dimensão do movimento de placas tectônicas, por exemplo, calcular a velocidade de deslocamento destas ou até mesmo o deslocamento que estas sofreram durante determinado período. Adentrar no manto terrestre e entender os fenômenos de convecção magmática, como funciona um vulcão (dimensão de força e pressão que atuam no mesmo), a velocidade e a força de impacto de um tsunami, as técnicas

básicas que envolvem a prospecção de petróleo, água, gás, carvão, ferro, etc., visto que tais técnicas possuem como base a física e, algumas delas, a física nuclear.

É interessante ressaltar que neste trabalho de conclusão de curso, evidenciou-se o uso de equações que, para a maioria dos alunos do ensino médio, são complexas e desmotivadoras. Propositamente, o aluno graduando inseriu tais equações, pois embora pareçam complexas não fogem das operações básicas: Adição, subtração, multiplicação e divisão. A matemática é o idioma da física, cabendo ao educador mostrar e ensinar esta ferramenta aos seus alunos. Um diálogo com o professor de matemática pode ajudar, pois um trabalho colaborativo é mais importante no ensino de ciências, justificando-se assim, a matemática apresentada neste trabalho.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Buscou-se neste trabalho, levantar o contexto histórico da concepção que antes se tinha da composição da matéria, da evolução das partículas elementares, bem como a história que culminou o uso da física nuclear na sociedade, trazendo algumas das aplicações que esta oferece, evidenciando os malefícios e os benefícios, dando um enfoque especial na aplicação na física nuclear aplicada à geologia.

Para se aplicar o trabalho em sala de aula, acredita-se ser necessário ter um bom embasamento em física, não só um embasamento matemático e teórico, pois afinal a física nuclear envolve conceitos precisos e complexos, mas embasamento no contexto histórico, pois envolver alunos com o passado, trazer a tona o pensamento de antigos filósofos e cientistas pode ser uma maneira de contextualizar o ensino de física.

As aplicações vistas aqui neste trabalho de conclusão de curso foram algumas das inúmeras aplicações da física nuclear. Espera-se que o enfoque do ensino da física nuclear não seja tão somente aos baseados neste trabalho, deseja-se que o professor tome este trabalho como base para o ensino de física, onde o mesmo tenha total liberdade de trabalhar apenas a física nuclear aplicada as artes e arqueologia, por exemplo, aprofundando-se ainda mais do que visto neste trabalho.

De maneira sucinta, conclui-se que o trabalho em questão é uma proposta didática a ser aplicada para alunos do 3º ano do ensino médio, buscando abrir horizontes que muitas vezes os alunos não conseguem vislumbrar, estimulando o interesse dos mesmos, onde se espera que haja um maior interesse no estudo de ciências, sobretudo no ensino de física, através da física nuclear e geociências.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] PCN+ - Ensino Médio. Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais de Física.

Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/arquivos/PCN_FIS.pdf>. Acessado em 13 de janeiro de 2016

[2] Wikipédia. Física Nuclear. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/F%C3%A4sica_nuclear>. Acessado em 14 de março de 2015.

[3] Mundo Educação. Disponível em:

<<http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/quimica/leucipo-democritofilosofando-sobre-atomos.htm>>. Acessado em 14 de março de 2015.

[4] UOL – Brasil Escola. Disponível em:

<<http://brasilecola.uol.com.br/filosofia/leucipo-democrito.htm>>. Acessado em 14 de março de 2015.

[5] Instituto de Química da UNESP – E-química. Disponível em: <http://www.e-quimica.iq.unesp.br/index.php?option=com_content&view=article&id=73:experimento-de-thonson&catid=36:videos&Itemid=55>. Acessado em 14 de março de 2015.

[6] Wikipédia. Elétron. Disponível em: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/EI%C3%A9tron>>. Acessado em 14 de março de 2015.

[7] Wikipédia. Modelo Atômico de Rutherford. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Modelo_at%C3%B4mico_de_Rutherford>. Acessado em 14 de março de 2015.

[8] Blog do Enem.

Disponível em: <<http://blogdoenem.com.br/modelos-atomicos-particulas-quimica-enem/>>. Acessado em 14 de março de 2015.

[9] UOL - Brasil Escola. Uma breve história do neutrôn.

Disponível em: <<http://brasilecola.uol.com.br/fisica/breve-historia-descoberta-neutron.htm>>. Acessado em 14 de março de 2015.

[10] Como Tudo Funciona. Projeto Manhattan.

Disponível em: <<http://ciencia.hsw.uol.com.br/projeto-manhattan.htm>>. Acessado em 14 de março de 2015.

[11] Mundo Educação. Acidente de Chernobyl e a Energia Nuclear.

Disponível em: <<http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/historiageral/acidente-chernobyl.htm>>. Acessado em 14 de março de 2015.

[12] G1. Educação. Chernobyl, maior acidente nuclear da história. Disponível em:

<<http://educacao.globo.com/artigo/chernobyl-maior-acidente-nuclear-da-historia.html>>. Acessado em 14 de março de 2015.

[13] UOL. Top 10: Piores acidentes Nucleares.

Disponível em: <<http://noticias.uol.com.br/internacional/listas/top-10-os-maiores-acidentes-nucleares.jhtm>>. Acessado em 14 de março de 2015.

[14] Wikipédia. Energia Nuclear.

Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Energia_nuclear>. Acessado em 20 de agosto de 2015.

[15] IG. Ultimo Segundo.

Disponível em: <<http://ultimosegundo.ig.com.br/mundo/2012-10-30/tempestade-sandy-deixa-usina-nuclear-em-alerta-na-regiao-de-nova-york.html>>. Acessado em 15 de outubro de 2015.

[16] 3D Science. Disponível em: <<http://3dciencia.com/blog/>>. Acessado em 15 de outubro de 2015.

[17] Brasil Escola. Medicina Nuclear.

Disponível em: <<http://brasilecola.uol.com.br/fisica/medicina-nuclear.htm>>. Acessado em 15 de outubro de 2015.

[18] Entendendo a Radiação Médica.

Disponível em: <<http://www.radiacao-medica.com.br/dados-sobre-radiacao/o-que-e-radiacao/>>. Acessado em 15 de outubro de 2015.

[19] Wikipédia. Espectro Eletromagnético.

Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Espectro_eletromagn%C3%A9tico>. Acessado em 15 de outubro de 2015.

[20] Wikipédia. Medicina Nuclear.

Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Medicina_nuclear>. Acessado em 15 de outubro de 2015.

[21] R7. Cola da Web. Tipos de Radiação: Alfa, beta e gama.

Disponível em: <<http://www.coladaweb.com/quimica/fisico-quimica/tipos-de-radiacao-alfa-beta-e-gama>>. Acessado em 15 de outubro de 2015.

[22] Blog: Química é muito bom.

Disponível em: <<http://quimicaemuitobom.blogspot.com.br/2011/11/leis-da-desintegracao-radioativa.html>>. Acessado em 15 de outubro de 2015.

[23] Guia do Estudante. Engenharia Nuclear.

Disponível em: <<http://guiadoestudante.abril.com.br/profissoes/engenharia-producao/engenharia-nuclear-686021.shtml>>. Acessado em 15 de outubro de 2015.

[24] Ciência Hoje. A física nuclear nas artes e na arqueologia.

Disponível em: <http://cienciahoje.uol.com.br/banco-de-imagens/lg/protected/ch/262/fisica_nuclear262.pdf/>. Acessado 21 de novembro de 2015.

[25] Dicionário Online Priberam.

Disponível em: <<https://www.priberam.pt/DLPO/geologia>>. Acessado em 21 de novembro de 2015.

[26] Wikipédia. Geocronologia.

Disponível em: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Geocronologia>>. Acessado em 21 de novembro de 2015.

[27] Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas - USP. Geofísica Nuclear. Disponível em: <http://www.iag.usp.br/~eder/ensinarcompesquisa/Geofisica_Nuclear_f.pdf>. Acessado em 14 de março de 2015.

[28] Com ciência. Arqueologia – Termoluminescência.

Disponível em: <<http://www.comciencia.br/reportagens/arqueologia/arq06.shtml>>. Acessado em 13 de janeiro de 2016.

[29] Serway, R., Jewett, J. *Princípios de Física 4. Óptica e física moderna*. 3ª ed., p. 1179 (2012).

[30] Física.net - História da Física.

Disponível em: <http://www.fisica.net/historia/historia_da_fisica_resumo.php>. Acessado em 08 de fevereiro de 2016.

[31] G1. Educação – Química.

Disponível em: <<http://educacao.globo.com/quimica/assunto/estrutura-atomica/modelos-atomicos.html>>. Acessado em 08 de fevereiro de 2016.

[32] Mundo Educação – Decaimento radioativo e a idade da Terra.

Disponível em: <<http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/quimica/decaimento-radioativo-idade-terra.htm>>. Acessado em 08 de fevereiro de 2016.