



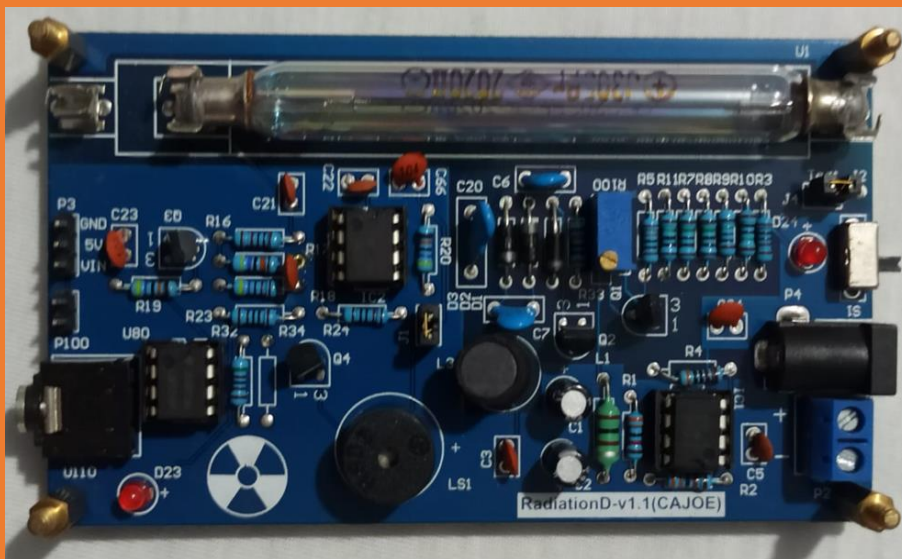
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL  
INSTITUTO DE QUÍMICA  
MESTRADO PROFISSIONAL EM QUÍMICA EM REDE NACIONAL-  
PROFQUI



CLAUDEMAR FREDERICE



RADIOATIVIDADE: uma proposta para a aprendizagem significativa para o ensino de química



Campo Grande – MS  
2023

CLAUDEMAR FREDERICE

RADIOATIVIDADE: uma proposta didática significativa para o ensino de química

Dissertação apresentado ao Curso de Pós-Graduação de Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional – PROFQUI pelo Instituto de Química, Universidade Federal de Campo Grande – MS, como requisito à obtenção de título de Mestre em Química.

**Orientador:**

**Prof. Dr. Marco Antonio Utrera Martines**

**Coorientador:**

**Prof. Dr. Onofre Salgado Siqueira**

Campo Grande  
2023

CLAUDEMAR FREDERICE

RADIOATIVIDADE: uma proposta didática significativa para o ensino de química

Dissertação apresentado ao Curso de Pós-Graduação de Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional – PROFQUI pelo Instituto de Química, Universidade Federal de Campo Grande – MS, como requisito à obtenção de título de Mestre em Química.

**Orientador:**

**Prof. Dr. Marco Antonio Utrera Martines**

**Coorientador:**

**Prof. Dr. Onofre Salgado Siqueira**

Campo Grande, MS, 20 de janeiro de 2023

### **COMISSÃO EXAMINADORA**

---

Prof. Dr Marco Antonio Utrera Martines  
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

---

Prof.<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Adriana Pereira Duarte  
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

---

Prof. Dr<sup>a</sup> Luzinatia Ramos Soares  
Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul

## **AGRADECIMENTOS**

Quero agradecer a Deus pela imensa força e coragem que me deu em conseguir quebrar as barreiras que antes eram vistas apenas como sonhos.

Agradecer a minha família – esposa, filhas, irmãos, aos colegas que são vários – de trabalho, do Curso do PROFQUI, onde sempre me apoiaram e incentivaram a priorizar os meus estudos, a buscar conhecimento e por acreditarem em minha capacidade.

Agradecer aos meus orientadores, Prof. Dr. Marco Antonio Utrera Martines, Prof. Dr. Onofre Salgado Siqueira e aos demais Professores que deram aulas durante o curso, onde sempre tiveram sabedoria, paciência, por me acompanhar com dedicação, paciência, por ensinar, aconselhar e acreditar na minha jornada.

Agradecer o Prof. Dr. Ivo Leite Filho que deu a ideia de trabalhar com o Contador Geiger-Müller em meu produto.

Agradecer aos idealizadores do programa PROFQUI e toda equipe envolvida, tendo como excelência a sua aplicação.

*“Sonho com o dia em que todos levantar-se-ão e compreenderão que foram feitos para viverem como irmãos”.*

*Nelson Rolihlahla Mandela*

## RESUMO

Nos últimos anos a educação básica está passando por grande mudança. A Base Nacional Comum Curricular tem como objetivo buscar nos alunos um projeto de vida de forma que desenvolvam princípios éticos e políticos, sempre trabalhando o lado socioemocional para a formação humana integral tendo como resultado o protagonismo estudantil. A disciplina de Química requer uma atenção especial, pois além da teoria deve-se priorizar a prática, porque é nesse momento que o aluno é estimulado a usar a imaginação na busca de uma explicação para o fenômeno que está acontecendo. Além de chamar a atenção, a prática deve estar de acordo com os objetivos a serem alcançados e assim enriquecer o saber de nossos alunos. Alguns conteúdos, como a Radioatividade, por exemplo, são difíceis de serem demonstrados experimentalmente por conta de sua complexidade experimental e custos elevados. Nos últimos anos, a Plataforma Arduino, que consiste em uma placa projetada com um microcontrolador e software livre, tem sido proposta como ferramenta no ensino, principalmente pelo seu baixo custo e fácil programação. Assim sendo, este trabalho de dissertação de mestrado envolve o desenvolvimento de metodologia para aula teórica e experimental de Radioatividade como uma proposta didática significativa de aprendizagem do aluno para o ensino na disciplina de Química do Ensino Médio. O objetivo é montar um produto teórico e prático, testando a Plataforma Arduino, já programada para ser utilizada como contador Geiger-Müller em aulas experimentais de Radioatividade para detectar radiação de objetos e minerais naturais brasileiros através de pesquisa exploratória. O material foi aplicado a professores das escolas estaduais na Rede Estadual de Ensino de Mato Grosso do Sul – MS, e que avaliaram e validaram a eficácia do produto. A avaliação e validação foi por meio de um questionário elaborado por mim, onde os resultados dos dados analisados se deu por meio de somatória dos valores das respostas, divididos pelo número de participantes, sendo que sessenta a cem por cento foi considerado satisfatório, quarenta a cinquenta e nove por cento como insatisfatório, com revisão e alteração de alguns pontos indesejados e abaixo de quarenta por cento como totalmente ruim e o projeto repensado. Ao final do projeto, produzi um kit como material didático de baixo custo com parte teórica e prática, contendo um contador Geiger-Müller e objetos que emitem radiação para serem identificados em aulas experimentais de radioatividade.

**Palavra-chave:** Arduino; Material Didático; Experimento de Radioatividade; Ensino de Química; Contador Geiger-Müller.

## ABSTRACT

In recent years, basic education has undergone a great change. The Common National Curriculum Base aims to give students a life project so that they develop ethical and political principles, always working on the socio-emotional side for integral human development, resulting in student protagonism. The Chemistry discipline requires special attention, because besides theory, practice must be prioritized, because it is at this moment that the student is encouraged to use his imagination in the search for an explanation of the phenomenon that is happening. Besides drawing attention, the practice must be in accordance with the objectives to be achieved and thus enrich the knowledge of our students. Some contents, such as radioactivity, for example, are difficult to demonstrate experimentally due to their experimental complexity and high costs. In recent years, the Arduino platform, which consists of a board designed with a microcontroller and free software, has been proposed as a teaching tool, mainly for its low cost and easy programming. Therefore, this research project involves the development of a methodology for a theoretical and experimental lesson on Radioactivity as a significant didactic proposal for student learning for teaching in the subject of High School Chemistry. The objective is to assemble a theoretical and practical product, testing the Arduino Platform, already programmed to be used as a Geiger-Müller counter in experimental Radioactivity classes to detect radiation from Brazilian natural objects and minerals through exploratory research. The project was applied to teachers from state schools in the State Education Network of Mato Grosso do Sul - MS, in which they evaluated and validated the effectiveness of the product. The evaluation and validation were done by means of a questionnaire prepared by me, where the results of the analyzed data were given by summing the values of the answers, divided by the number of participants, where sixty to one hundred percent was considered satisfactory, forty to fifty-nine percent as unsatisfactory, with revision and change of some undesired points, and below forty percent as totally bad and the project rethought. At the end of the project, I produced a kit as low-cost didactic material with a theoretical and practical part, containing a Geiger-Müller counter and objects that emit radiation to be identified in experimental radioactivity classes.

**Keyword:** Arduino; Didactic Material; Radioactivity Experiment; Chemistry Teaching; Geiger-Müller Counter.

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 - imagem dos sais de Urânio que estava sob o papel negro .....                                                                                                                 | 23 |
| Figura 2 - Eletrômetro de Quadrante ou Dolezalek usado para medir correntes ou cargas de ionização muito pequenas .....                                                                 | 26 |
| Figura 3 - Eletroscópio de folha de ouro para mensurar as radiações beta e gama .....                                                                                                   | 27 |
| Figura 4 - Comportamento das radiações frente ao campo elétrico .....                                                                                                                   | 28 |
| Figura 5 - A cada tempo de meia vida, cai para a metade a atividade radioativa de um determinado material .....                                                                         | 39 |
| Figura 6 - Fissão do átomo.....                                                                                                                                                         | 42 |
| Figura 7 - Instabilidade Nuclear.....                                                                                                                                                   | 45 |
| Figura 8 - Bomba Trinity .....                                                                                                                                                          | 49 |
| Figura 9 - Littleboy e Fatman, bombas lançadas sobre Hiroshima e Nagasaki.....                                                                                                          | 50 |
| Figura 10 - A bomba Ivy Mike possuía dois estágios: 1º era de fissão, 2º de fusão. ....                                                                                                 | 51 |
| Figura 11 - Bomba de fusão nuclear, Ivy Mike.....                                                                                                                                       | 51 |
| Figura 12 - Bomba Tsar .....                                                                                                                                                            | 52 |
| Figura 13 - Reação em cadeia autossustentada .....                                                                                                                                      | 54 |
| Figura 14 - Construção de Angra III .....                                                                                                                                               | 55 |
| Figura 15 - Inseto marcado por radioisótopo para identificar por quem é predado. Após identificar, são liberados no local insetos predadores para ajudar a combater os indesejados..... | 57 |
| Figura 16 - A direita, bulbo que foi irradiado com boa qualidade para consumo após cinco meses na prateleira.....                                                                       | 58 |
| Figura 17 - Radiografia de peças metálicas usando gamagrafia.....                                                                                                                       | 58 |
| Figura 18 - Representação do Contador Geiger-Müller .....                                                                                                                               | 63 |
| Figura 19 – Dispositivo de radiação antigo feito por Hans Geiger, e em, 1932 foi usado por James Chadwick na descoberta do nêutron. ....                                                | 64 |
| Figura 20 - Contador Geiger-Müller muito usado até os anos 90 .....                                                                                                                     | 64 |
| Figura 21 - Mapa conceitual de acordo com as teorias de Ausubel e Novak .....                                                                                                           | 72 |
| Figura 22 - Print da tela de avaliação do meu "Google Forms". ....                                                                                                                      | 82 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 - Informações sobre massa das partículas e de sua energia de ligação .....              | 33 |
| Tabela 2 - Breve descrição de bombas de reação nuclear .....                                     | 53 |
| Tabela 3 - Resultados encontrados em alguns Periódicos sobre experiência de Radioatividade ..... | 74 |
| Tabela 4 - Planilha de itens usados na elaboração do projeto com seus respectivos valores .....  | 81 |
| Tabela 5 - Resultado de escolha das alternativas de cada questão .....                           | 89 |

## LISTA DE SIGLAS E SIMBOLOS

- ${}_0n^1 \rightarrow$  Nêutron
- $\frac{1}{2}$  vida  $\rightarrow$  Tempo de meia vida
- ${}_1H^1 \rightarrow$  Hidrogênio
- ${}_1H^2 \rightarrow$  Deutério (hidrogênio)
- ${}_1H^3 \rightarrow$  Trítio (hidrogênio)
- ${}_1p^1 \rightarrow$  Próton
- $\text{\AA} \rightarrow$  Ångström
- $A \rightarrow$  Massa atômica
- $\text{Am} \rightarrow$  Amerício
- $\text{Ar} \rightarrow$  Argônio
- $\text{At} \rightarrow$  Astató
- $\text{AVR} \rightarrow$  Regulador de Voltagem Automático
- $\text{Bi} \rightarrow$  Bismuto
- $\text{BNCC} \rightarrow$  Base Nacional Comum Curricular
- $\text{C} \rightarrow$  Carbono
- $\text{C}^{14}\text{O}_2 \rightarrow$  Dióxido de carbono radioativo
- $\text{Co} \rightarrow$  Cobalto
- $\text{Cs} \rightarrow$  Césio
- $\text{dC} \rightarrow$  Depois de Cristo
- $\text{dpm} \rightarrow$  Desintegrações por minutos
- $e \rightarrow$  Elétron
- $\text{E. F.} \rightarrow$  Ensino Fundamental
- $\text{E. I.} \rightarrow$  Ensino Infantil
- $\text{E. M.} \rightarrow$  Ensino Médio
- $\text{EUA} \rightarrow$  Estados Unidos da América
- $\text{F} \rightarrow$  Flúor
- $g \rightarrow$  Grama
- $g/cm^3 \rightarrow$  Gramas por centímetros cúbicos
- $\text{GWh} \rightarrow$  Gigawatt-hora
- $\text{He} \rightarrow$  Átomo de hélio
- $\text{He}^{+2} \rightarrow$  Núcleo de hélio

- I → Iodo
- In → Índio
- Ir → Irídio
- ITER → International Thermonuclear Experimental Reactor
- K → Potássio
- Kg → Quilograma
- Km → Quilometro
- Kr → Criptônio
- LDB → Lei de Diretrizes e Base da Educação Nacional
- lm → limite
- Lu → Lutécio
- MeV → Megaelétron-volt
- Mo → Molibdênio
- MS → Mato Grosso do Sul
- MWh → Megawatt-hora
- N → Nitrogênio
- N/P → Nêutron/Próton
- Np → Neptúnio
- O → Oxigênio
- Pb → Chumbo
- $\text{Pb}^{210}(\text{NO}_3)_2$  → Nitrato de chumbo radioativo
- Pd → Paládio
- PET → Termografia por emissão de pósitron
- Po → Polônio
- Ra → Rádio
- Rn → Radônio
- SED → Secretaria de Educação de Mato Grosso do Sul
- Sn → Estanho
- Tc → Tecnécio
- Te → Telúrio
- Th → Tório
- Tl → Tálho

- $\text{TNT} \rightarrow \text{Trinitrotolueno}$
- $\text{U} \rightarrow \text{Urânio}$
- $\text{u.m.a} \rightarrow \text{Unidade de massa atômica}$
- $\text{W} \rightarrow \text{Watt}$
- $\text{Yt} \rightarrow \text{Ítrio}$
- $\text{Z} \rightarrow \text{Número atômico}$
- $\alpha \rightarrow \text{Alfa}$
- $\beta^- \rightarrow \text{Beta}$
- $\beta^+ \rightarrow \text{Pósitron}$
- $\gamma \rightarrow \text{Gama}$
- $\nu \rightarrow \text{Neutrino}$
- $\bar{\nu} \rightarrow \text{Antineutrino}$

## SUMÁRIO

|            |                                                              |           |
|------------|--------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b>   | <b>INTRODUÇÃO .....</b>                                      | <b>14</b> |
| <b>2</b>   | <b>RADIOATIVIDADE .....</b>                                  | <b>22</b> |
| <b>2.1</b> | <b>História da Radioatividade e Evolução .....</b>           | <b>22</b> |
| 2.1.1      | ANTOINE HENRI BECQUEREL .....                                | 22        |
| 2.1.2      | CASAL CURIE .....                                            | 24        |
| 2.1.3      | ERNEST RUTHERFORD .....                                      | 25        |
| 2.1.4      | JOHANNES (HANS) WILHELM GEIGER.....                          | 29        |
| 2.1.5      | FREDERICK SODDY .....                                        | 30        |
| <b>2.2</b> | <b>O Átomo .....</b>                                         | <b>31</b> |
| <b>2.3</b> | <b>Tipos de radiações .....</b>                              | <b>34</b> |
| 2.3.1      | RADIAÇÃO ALFA .....                                          | 34        |
| 2.3.2      | RADIAÇÃO BETA .....                                          | 35        |
| 2.3.3      | RADIAÇÃO GAMA .....                                          | 36        |
| 2.3.4      | RADIAÇÃO PÓSITRON.....                                       | 37        |
| 2.3.5      | CAPTURA DE ELÉTRONS K .....                                  | 37        |
| <b>2.4</b> | <b>Desintegração radioativa e o tempo de meia-vida .....</b> | <b>38</b> |
| <b>2.5</b> | <b>Série de decaimento radioativo .....</b>                  | <b>41</b> |
| <b>2.6</b> | <b>Fissão Nuclear .....</b>                                  | <b>42</b> |
| <b>2.7</b> | <b>Fusão Nuclear .....</b>                                   | <b>47</b> |
| <b>2.8</b> | <b>Usos da Radioatividade – Produção de Bombas.....</b>      | <b>48</b> |
| 2.8.1      | PROJETO MANHATTAN.....                                       | 48        |
| 2.8.2      | BOMBA DE FUSÃO .....                                         | 50        |
| <b>2.9</b> | <b>Usos da Radioatividade - Fins Pacíficos .....</b>         | <b>53</b> |
| 2.9.1      | ENERGIA NUCLEAR .....                                        | 54        |
| 2.9.2      | MEDICINA NUCLEAR.....                                        | 55        |
| 2.9.3      | AGRICULTURA.....                                             | 56        |
| 2.9.4      | INDÚSTRIA .....                                              | 58        |
| 2.9.5      | ARQUEOLOGIA .....                                            | 59        |
| <b>3</b>   | <b>DETECTOR DE RADIAÇÃO .....</b>                            | <b>63</b> |
| <b>3.1</b> | <b>Funcionamento do contador Geiger-Müller .....</b>         | <b>63</b> |
| <b>3.2</b> | <b>Plataforma Arduino .....</b>                              | <b>65</b> |
| <b>4</b>   | <b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>                             | <b>66</b> |

|       |                                                                        |     |
|-------|------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.1   | David Paul Ausubel .....                                               | 66  |
| 4.2   | Joseph Donald Novak.....                                               | 70  |
| 5     | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA/LITERATURA .....                                 | 73  |
| 6     | METODOLOGIA DA PESQUISA.....                                           | 78  |
| 6.1   | Fundamentação metodológica .....                                       | 78  |
| 6.2   | Sujeito da pesquisa .....                                              | 78  |
| 6.3   | Local da pesquisa.....                                                 | 79  |
| 6.4   | Instrumento de coleta de dados para a avaliação do produto.....        | 79  |
| 7     | ORÇAMENTO .....                                                        | 81  |
| 8     | AValiação DO PRODUTO .....                                             | 82  |
| 8.1   | Análise das respostas .....                                            | 82  |
| 8.2   | Resultado das respostas .....                                          | 88  |
| 8.2.1 | RESUMO DA ANÁLISE DAS RESPOSTAS.....                                   | 90  |
| 9     | CONSIDERAÇÕES FINAIS.....                                              | 91  |
| 10    | REFERÊNCIAS .....                                                      | 92  |
| 11    | APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO PARA PROFESSORES.....                        | 102 |
| 12    | APÊNDICE B – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO<br>(TCLE)..... | 106 |
| 13    | APÊNDICE C – AUTORIZAÇÃO INSTITUCIONAL .....                           | 109 |
| 14    | APÊNDICE D – PRODUTO EDUCACIONAL .....                                 | 111 |

## 1 INTRODUÇÃO

A educação básica, principalmente nas escolas públicas deveriam ter um maior investimento financeiro na área de Ciências da Natureza para realizar aulas experimentais com mais frequência para ficarem mais atrativas, principalmente na disciplina de Química para chamar a atenção de seu público e melhorar a aprendizagem. O elo entre teorias e práticas fortalece o vínculo entre professor e alunos e a sua ausência gera apatia e afeta continuamente a sociedade de modo geral (VALADARES, 2001). Alguns conteúdos de Química, que é a disciplina mais visada em experiências, nem sempre é tão simples de se fazer demonstrações em sala de aula. Esse fato pode estar associado ao material que a escola não possui por ter um alto custo de compra, falta de preparo ou informações por parte dos educadores ou até mesmo por um local adequado como um laboratório. Vamos pensar no conteúdo “Radioatividade”, como fazer uma aula de experimentação que evidencie a presença de algum tipo de radiação por um determinado objeto? Pensando nisso, como meio de auxiliar os professores com algo que seja palpável e assim estimular os alunos em sala de aula, elaboramos um kit contendo material teórico e prático com potencial de aprendizagem significativo de apoio com baixo custo, voltado para identificar objetos que possa emitir radiação. Com esse intuito podemos utilizamos a Plataforma Arduino já programado para identificar radiação (Contador Geiger-Müller) que pode ser utilizado em sala de aula convencional, não requerendo um laboratório.

A questão norteadora a ser respondida neste trabalho é – Quais as contribuições de uma sequência didática, que tem por base um detector de radiação Geiger-Müller (baixo custo; Plataforma Arduino) para os professores do E. M. que queiram realizar aulas experimentais sobre radioatividade?

Nossos alunos têm uma grande dificuldade de percepção dos conteúdos de Química, e pode estar relacionado ao fato da metodologia trabalhada em sala de aula não condizer com a realidade do aluno, sendo aplicada de forma inadequada, com teorias, explicação do conteúdo, resolução de atividades, provas ao final do mês/bimestre, esquecendo de contextualizar com o seu cotidiano, levando ao desanimo e a aprendizagem ficando de forma mecânica (ROCHA; VASCONCELOS, 2016).

A Química é uma área da Ciência que estuda a matéria e suas transformações, sendo assim não podemos dar como acabada, e para isso temos que investigar de forma até mesmo interdisciplinar, usar a tecnologia como recurso pedagógico para uma aprendizagem significativa (BRASIL, 2000). A experiência deve ser pertinente e com situações mais próximas

do dia a dia do aluno e de forma contextualizada a fim de obter melhor significado para o trabalho e o exercício da cidadania (BRASIL, 2013, 2001). O aluno ao entrar em contato com teorias e práticas deverá adquirir competências e habilidades intensas para a sua concepção integral (BRASIL, 2017a). A experimentação é muito importante para fazer ponte entre um conhecimento já teoricamente legitimado e um novo subsunçor que possa aparecer na estrutura cognitiva do aluno.

A experiência pode despertar a vontade dos alunos pela pesquisa e melhorar o relacionamento com os professores, motivando-os a procurarem interpretações coerentes para os fenômenos que acontecem no meio em que vive, sendo defendida por vários autores há muitos anos, como por exemplo Aristóteles, “quem possua a noção sem a experiência, e conheça o universal ignorando o particular nele contido, enganar-se-á muitas vezes no tratamento” (COCCO; CARVALHO, 1984, p. 12). Ensinar através da experimentação e de forma contextualizada promove as investigações e discussões, enriquecendo o conhecimento, com poder de abrir portas para o mundo do trabalho e científico.

Tomar a experimentação como parte de um processo pleno de investigação é uma necessidade, reconhecida entre aqueles que pensam e fazem o ensino de ciências, pois a formação do pensamento e das atitudes do sujeito deve se dar preferencialmente nos entremeios de atividades investigativas (GIORDAN, 2018, p. 44).

Discutir um determinado fenômeno sem o conhecimento científico é assumir o risco de formular hipóteses equivocadas (GIORDAN, 2018). Teorias e práticas devem estar vinculadas na construção do saber científico e assim despertar o desejo de investigar os fenômenos e promover a aprendizagem significativa.

Experiências em sala de aula tem um grande potencial didático como auxílio no ensino/aprendizagem sobre conceitos de ciências, servindo como alicerce na disciplina de Química, abrangendo discussões científicas. A interação entre professor/aluno deve reforçar a capacidade crítica do educando, fortalecendo conceitos do seu cotidiano, desmitificando ideias do tipo “onde nasce o arco-íris tem um pote de ouro”. A experimentação é elemento que compõe a construção e evolução do pensamento crítico e epistemológico da ciência. O conceito do fazer experimentos ligado diretamente a dimensão epistemológica tem como princípio conduzir os alunos na construção do aprender como fazer ciências de forma científica, articulando conceitos estudados anteriormente. Apesar da capacidade e potencialidade citadas em uma aula experimental, não garante resultados esperados para uma aprendizagem, o que depende de alguns fatores, como o envolvimento por parte dos alunos. Toledo relata, “Porém, como já foi

discutido, apenas a presença de experimentos não significa qualidade de ensino, assim como a disponibilidade de equipamentos, laboratórios e reagentes” (TOLEDO; FERREIRA, 2016, p. 111). Andrade e Vianna comenta que “As aulas experimentais podem ser um alicerce, que aliadas a práticas avaliativas mediadoras e reguladoras auxiliam, significativamente, no processo de aprendizagem dos estudantes” (ANDRADE; VIANA, 2017, p. 508).

A utilização de teorias/práticas no ensino de Química surge da necessidade de conhecimentos sobre os fenômenos da natureza que contribui para a desmitificação dos conceitos ditos como certos. Sem falar que esse conhecimento não brota na cabeça de ninguém da noite para o dia, como um sonho que vira realidade.

A ciência não brota pronta, na cabeça de “grandes gênios”. Muitas vezes, as teorias que aceitamos hoje foram propostas de forma confusa, com muitas falhas, sem possuir base observacional e experimental. Apenas gradualmente as ideias vão sendo aperfeiçoadas, através de debates e críticas, que muitas vezes transformam totalmente os conceitos iniciais (MARTINS, [s.d.], p. 22).

Compreender os fenômenos da natureza, como uma reação de fusão nuclear libera tanta energia na junção de átomos de hidrogênio transformando-os em átomos de hélio não foi algo tão simples para os cientistas no passado. Elaborar uma hipótese a partir de ideias para chegar a uma possível verdade requer um trabalho árduo, onde além de comprovar experimentalmente tem que haver um bom argumento sobre a sua conjectura, pois muitos cientistas podem discordar de seus resultados, da mesma forma deve ser o professor em sala de aula na hora de auxiliar seus alunos. A ciência depende de seu contexto social, econômico e cultural para evoluir e difundir novos conhecimentos, o que nos remete a pesquisa científica, quebrando barreiras e desempenhando um papel fundamental no ensino/aprendizagem, proporcionando uma formação adequada aos alunos e estimulando seu projeto de vida.

O despertar pelo interesse do protagonismo juvenil é bem mais sucedido quando há uma concordância entre teorias e práticas experimentais que sustentam e subsidiam atividades em sala de aula para prender a atenção, vislumbrando o horizonte dos alunos (LABURÚ, 2006).

Quando se tem aulas experimentais ocorre uma potencialidade de aprendizagem mais sucedida no ensino por meio da observação e interpretação pessoal, onde os alunos irão acionar o seu subsunçor. Portanto a experiência é considerada um elemento-chave na formação dos alunos, tanto para uma carreira acadêmica quanto para a sua vivência pessoal, pois surge de sua análise os “por que” e dessa forma acaba por motivar a investigação do fenômeno (SILVA, I; SILVA, A, 2019).

O assunto radioatividade pode não ser novo para os alunos, uma vez que em algum momento já podem ter entrado em contato nas disciplinas de Ciências, Geografia, História, Física, Biologia, em revistas, noticiários de rádios, tvs, redes sociais. Na maioria das vezes as notícias estão relacionadas a algum tipo de desastres que ocorre de forma intencional como o lançamento das bombas atômicas sobre Hiroshima e Nagasaki no Japão, onde milhares de pessoas morreram. Ou não intencional, como a explosão da usina nuclear de Chernobyl próximo de Pripiat na Ucrânia que se deu por falhas humanas. Também a usina nuclear de Fukushima I no Japão, mas essa ocasionado pelo tsunami que foi provocada por um maremoto de magnitude elevada. O acidente radiológico de Goiânia conhecido como Césio-137 quando coletores de ferro velho entraram em uma clínica abandonada e pegaram um aparelho que era usado em radioterapia e repassado para terceiros, onde acabou sendo desmontado e o material radioativo passado de mão em mão, contaminando várias pessoas, onde algumas acabaram morrendo. É dessa forma que na maioria das vezes os alunos têm contato com o tema radioatividade, ficando uma visão somente do lado obscuro. Não podemos esquecer de mostrar os lados benéfico que são vários e essências no tempo atual.

Os professores devem buscar algo que faça sentido para os alunos, que não seja somente conteúdos que estão nos livros didáticos que é muito pobre de conhecimento científico (AQUINO; CHIARO, 2013).

O Referencial Curricular do Ensino Médio de MS trás em competências e habilidades que o aluno deve adquirir conceitos, saberes e aplicação atual da radioatividade bem como de seu perigo também (SUL, 2012).

Não devemos esquecer de falar sobre os mais diversos usos benéficos da radioatividade, como na medicina, agricultura, arqueologia, geologia, produção de eletricidade. São várias as aplicações benéficas que podemos mencionar/trabalhar com os alunos, não expondo apenas o lado ruim como tema central de conhecimento, dando a impressão que a radioatividade é um perigo eminente.

A Base Nacional Comum Curricular – BNCC que é um documento normativo que define o conjunto de conhecimentos imprescindíveis a todos os alunos da modalidade educação básica no Ensino Médio (E. M.), em Competências Gerais fala sobre a criatividade de investigar e testar hipóteses:

Exercitar a curiosidade intelectual e recorrer à abordagem própria das ciências, incluindo a investigação, a reflexão, a análise crítica, a imaginação e a criatividade, para investigar causas, elaborar e testar hipóteses, formular e resolver problemas e criar soluções (inclusive tecnológicas) com base nos conhecimentos das diferentes áreas (BRASIL, 2017, p. 09).

Em competências específicas em Ciências da Natureza e suas Tecnologias para o E. M. a BNCC argumenta que ao trabalhar Matéria e Energia deve-se propor ações individuais e coletivas que possibilite o emprego da análise entre matéria e energia com possibilidades de emissão de radiação para o ambiente e suas consequências na saúde e de matrizes energéticas voltadas para a radioatividade (BRASIL, 2017b). Ainda em competências específicas – Vida, Terra e Cosmos – defende a análise e interpretação de reações nucleares para explicar fenômenos que ocorrem nas estrelas, procedimentos de datação para descobrir a idade de um fóssil ou de uma rocha e como a matéria se formou. Contextualizar a história da ciência é fundamental para que sejam interpretados de forma coerente a evolução da vida, abrindo um leque grande para um debate em sala de aula, favorecendo o protagonismo dos alunos e superando os obstáculos frente a situações do cotidiano. Apresentar conhecimentos científicos através da contextualização e práticas, contempla o aluno frente as transformações impostas por reações físicas, químicas ou nucleares a construir conhecimentos sólidos sobre a natureza da matéria.

Aguçar a curiosidade dos alunos pela radioatividade através de teorias e práticas reforça a identificação de fenômenos que antes não era observados ou apenas ditos como algo que simplesmente ocorre, sem se preocupar em encontrar uma explicação científica para tal acontecimento. Como pensar em uma educação científica sem a investigação estar presente. Essa investigação envolve teorias/práticas e resultados, confirmando um postulado já reconhecido ou chegando a um novo.

Com a mudança do novo E. M., fala-se muito em letramento científico e começa no Ensino Fundamental (E. F.), que envolve a capacidade de aplicar os conhecimentos já adquiridos e ganhar novos saberes através da observação de fenômenos da natureza. Pode-se designar uma ação corriqueira como em desenvolver uma experiência simples em deixar um gelo derreter sobre uma vasilha e explicar quais os fenômenos estão presentes ou uma mais complexo como a produção de uma bomba atômica e dizer detalhadamente como ocorre a liberação de tanta energia em uma reação.

No Ensino Médio a ampliação e o aprofundamento desse letramento científico estão inseridos nas aprendizagens dos componentes curriculares da área de Ciências da Natureza. Os conhecimentos articulados entre Biologia, Física e Química possibilitam vivências práticas e investigativas que exercitam e ampliam a curiosidade, a observação, a criatividade e a criticidades dos estudantes, despertando-os para o conhecimento e cultura científica com vistas a assumirem responsabilidades, serem aptos a traçarem seus projetos de vida e a ingressarem no mundo do trabalho (SUL, 2021, p. 95).

O Novo Currículo de Referência do Ensino Médio de MS enfatiza a explanação em Ciências da Natureza e suas Tecnologias como objetos de conhecimentos a aplicação de conteúdos voltados a radiação como na medicina nuclear, datação de fósseis por carbono-14, produção de energia (SUL, 2021). As três disciplinas que fazem parte da Ciências da Natureza e suas Tecnologia no Ensino Médio pela BNCC que são Química, Física e Biologia, a sua aprendizagem é baseada em investigação e experimentação, chegando a novas descobertas ou na reconstrução das principais evidências científicas. A aprendizagem nessa área pode se dar por nível macroscópico e microscópico, através de leitura ou experimentação, onde o aluno se aproprie de forma eficaz e primordial, vivenciando os modelos pertinentes de situações reais para a sua formação integral e com responsabilidade, se torna um protagonista na trajetória de seu projeto de vida.

Já no Catálogo de Unidades Curriculares da Secretaria de Educação (SED) de MS, na Unidade Curricular 01 em “Acidentes Químicos – Ignorância ou Negligência?”, adverte sobre a exposição das radiações prolongadas que são prejudiciais para o ser vivo, animal ou vegetal (SED, 2022). Veja que é fundamental dar condições de entendimento para o aluno saber sobre os riscos que a radioatividade pode oferecer de forma instantânea ou a longo prazo, e ao mesmo tempo em mostrar que é possível através da experimentação a identificação de que em um determinado ambiente ou objeto pode conter níveis de radiação acima do limite e que isso pode até mesmo danificar o sistema biológico, modificando o núcleo da célula, ocasionando queimaduras e até mesmo evoluir para doenças mais graves como um câncer. A exposição de radiação ionizante também pode levar a alterações no sistema reprodutor e ser repassado para a sua prole, como uma mutação genética, podendo ser física ou mental, e até mesma as duas em um mesmo indivíduo, sendo que muitos chamam de “aberração da natureza”.

A BNCC do E. M. frisa muito a questão da cultura digital que são conceitos voltados a tecnologia como uso da internet, aplicativos de celulares/computadores como os softwares de simulação de realidade virtual.

Assim, propostas de trabalho que possibilitem aos estudantes o acesso a saberes sobre o mundo digital e a práticas da cultura digital devem também ser priorizadas, já que impactam seu dia a dia nos vários campos de atuação social. Sua utilização na escola não só possibilita maior apropriação técnica e crítica desses recursos, como também é determinante para uma aprendizagem significativa e autônoma pelos estudantes (BRASIL, 2017, p. 478).

O incentivo do uso de tecnologias voltadas a experimentação por parte da BNCC do Currículo de Referência de MS do Ensino Infantil (E. I.) e E. F. juntamente com o Catálogo da SED traz informação de uso da Plataforma Arduino, sendo que seu produto final pode ser usado pela comunidade local (SED, 2022; SUL, 2018). Há vários projetos que podem ser desenvolvidos em uma escola do Ensino Médio com o uso da Plataforma Arduino como programar uma lâmpada para acender e apagar com a presença de uma pessoa e através da luz solar, irrigar uma horta/jardim, entre outros.

A Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional - LDB, em seu artigo 35 tem como finalidades a compreensão científica, onde teorias e práticas experimentais levam ao aprofundamento dos conteúdos e se consolidam de forma autônoma, intelectual e crítico, preparando o aluno para o mundo do trabalho (BRASIL, 1996). A evolução do pensamento científico-crítico se constrói com a teoria/observação/experimentação e assim chegar a um resultado, podendo ser confirmado, negado ou modificado a conjectura. As aulas práticas em sala têm como finalidade auxiliar o professor, levando o educando ao interesse do conhecimento científico para aprimorar habilidades necessárias as novas condições ou até mesmo para o mercado de trabalho.

Como já exposto, nossos alunos precisam ser atraídos, incentivados para terem mais afinidades com a química, e assim não cair no “Química, para que te quero?” de Denise Fraga (ADRICOPULO, 2014). Seguindo essas observações partimos das seguintes hipóteses:

- Alunos têm uma melhor aprendizagem significativas quando além de aulas teóricas também há práticas.
- Usando a Plataforma Arduino como contador Geiger-Müller é uma forma de contextualizar os interesses dos alunos.
- Quando se leva em consideração o conhecimento prévio dos alunos fundamentado na aprendizagem significativa da Teoria de Ausubel têm-se melhores resultados no ensino de Radioatividade.

Nesta pesquisa o objetivo geral é montar um material potencialmente aplicável no E. M. visando conceitos de teorias e práticas de radioatividades relacionados com as concepções de Ausubel.

Já os objetivos específicos são:

- Elaborar um kit com teorias e práticas de radioatividades para professores analisarem a sua viabilidade de aplicação em sala de aula do E. M. para que possa contribuir para uma aprendizagem significativa.
- Identificar objetos que libere algum tipo de radiação e que possam ser levados para a sala de aula.
- Elaborar um produto educacional constituído por um kit (contador Geiger-Müller mais amostras radioativas; baixo custo) e a parte teórica.

## **2 RADIOATIVIDADE**

### **2.1 História da Radioatividade e Evolução**

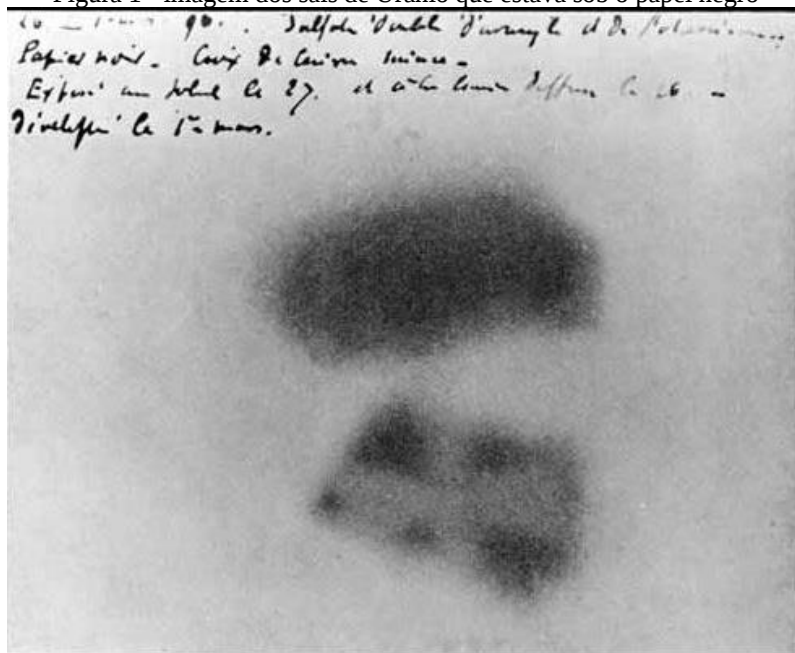
A Ciência é construída através da observação, experimentação, o que leva a uma possível descoberta. E quando algo de novo é encontrado, a investigação para tal fenômeno continua para entender seu feito. Isso acaba por desencadear outras investigações, levando a novas revelações e até mesmo refutar algo que era tido como certo.

A história da Radioatividade não é diferente. Vamos começar analisando a sua evolução começando pelos raios catódicos que levou a descoberta dos raios-X pelo físico alemão Wilhelm Conrad Röntgen em 1895 que logo em seguida intensificou as pesquisas nessa área.

#### **2.1.1 ANTOINE HENRI BECQUEREL**

Em 1896 Antoine Henri Becquerel cientista francês, começou a examinar a conjectura de Jules Henri Poincaré de que poderia ter ligação entre a emissão de raios-X e a fluorescência da parede de vidro do tubo dos raios catódicos. Becquerel fez várias experiências e observou ser possível haver um novo fenômeno. Com sede de fazer novas descoberta dedicou suas pesquisas na absorção da radiação e emissão de fosforescência em compostos de urânio. Resolveu testar se urânio metálico e sais de urânio que supostamente poderiam fazer os mesmos feitos dos raios-X, marcar uma chapa fotográfica. Pegou uma chapa fotográfica e revestiu com papel negro espesso e sob esse papel colocou o sulfato duplo de urânio e potássio e deixou exposto ao sol por várias horas. Quando revelou o filme percebeu que ficou marcado com as formas dos cristais que tinha utilizado.

Figura 1 - imagem dos sais de Urânio que estava sob o papel negro



Fonte: <https://www.ufrgs.br/colégiodeaplicacao/wp-content/uploads/2020/06/Radioatividade-1a-Parte-quimica.pdf>

Pensava-se que a radiação estava relacionada a luz do sol. No dia seguinte a este resultado da imagem dos sais de urânio na chapa fotográfica, o céu ficou nublado e Becquerel deixou seu novo experimento na obscuridade, dentro de uma gaveta de um móvel, e depois de três dias consecutivos sem a presença do sol, resolveu revelar assim mesmo e para sua surpresa apareceu com mais intensidade as impressões do objeto (MARTINS, 1990). Mas acabou por não fazer nenhuma relação com esse feito.

Becquerel fez várias experiências na tentativa de esclarecer esse novo fenômeno. Suas buscas foram em cima de compostos de urânios e urânio metálico e acreditava que a radiação aumentava com a excitação da luz, mesmo depois do resultado obtido de quando deixou por três dias seu experimento no escuro dentro da gaveta de um móvel. Outros cientistas da época não chegaram a tal conclusão, que a emissão dos raios estava relacionada realmente com a intensidade da luz do sol. Becquerel chegou a dizer que eram raios transversais de pequeno comprimento de onda como a luz e a emissão tipo fosforescência. E por pensar assim, acabou no desanimo, certamente por estar esgotado de tantas tentativas na intenção de se ter uma comprovação mais concreta acerca do tema e assim deixou de realizar pesquisas nessa área (CORDEIRO; PEDUZZI, 2011).

Até 1898 era conhecido como raios de urânio ou raios de Becquerel, quando entra em cena o casal Curie – Pierre Curie e Marie Sklodowska Curie. Becquerel incentivou Marie Curie a estudar esse fenômeno que ele mesmo abandonara.

### 2.1.2 CASAL CURIE

Mesmo antes de se pesquisar sobre esse fenômeno Pierre Curie juntamente com seu irmão mais velho Paul-Jacques construíram a Balança de Quartzo e era acoplada ao Eletroímetro de Quadrante, que podia detectar quantidade muito pequena de corrente elétrica. Em 1898 foi usada pelo casal Curie em suas investigações sobre os raios de Becquerel (SANTOS, 2020). Esse aparelho que mede a ionização produzida pela radiação é muito mais preciso que o método fotográfico de Becquerel. Marie em suas árduas pesquisas começou a constatar que era realmente um novo fenômeno e que estava relacionado ao átomo e não as moléculas das substâncias como pensava Becquerel. Marie Curie que não sabia do trabalho de Gerhard Carl Schmidt, ambos constataram que outro elemento químico já conhecido, o Tório, também emitia radiação. A radiação não era um caso isolado apenas do urânio. Marie Curie com seus méritos sobre as pesquisas, passou a chamar os raios de Becquerel de radioatividade e as substâncias que as emitiam de radioativas (MARTINS; 1990). Deixou ainda mais claro ao dizer que em seus experimentos a radiação não aumentava na presença da luz do sol e nem quando era aquecida como relatava Becquerel em seus artigos (OLIVEIRA, 2019).

Os estudos do casal Curie incluíram minerais contendo urânio como a pechblenda, torbernita, autonita. Marie Curie relatou que a pechblenda e a torbernita era muito mais radioativa que o urânio puro e suspeitou a presença de um outro elemento químico. Empregando o método de química analítica foi possível encontrar um material 400 vezes mais potente que o urânio com propriedades químicas e físicas semelhante ao bismuto e que estava unido ao mesmo. Para chegar a tal feito, ela purificou incansavelmente, em média, mais de cinco toneladas de minério contendo ínfimos traços de material radioativo (PUGLIESE, 2007). Após confirmado esse novo elemento Marie Curie lhe deu o nome de Polônio, referenciando ao seu país de origem.(MARTINS, 1990). Como as pesquisas não param, Marie Curie percebeu que havia outro elemento emitindo radiação e agora com propriedades semelhante ao bário e batizou de Rádio por ser mais radioativo que qualquer outro elemento químico conhecido até aquele momento (AFONSO, 2010). O descobrimento da radioatividade levou ao prêmio Nobel de Física em 1903 pelo casal Curie juntamente com Becquerel. Mesmo Becquerel sendo contestados por muitos na comunidade científica por ter abandonado as pesquisas antes de chegar à conclusão, também acabou sendo considerado descobridor da radioatividade. Mas o que interessa é que a participação de todos os envolvidos nesse prêmio foi fundamental e que agora abria uma corrida incansável e podendo dizer interminável para estudar esse novo fenômeno. Marie Curie ficou conhecida mundialmente por vários pontos, como: ser a primeira

mulher a ganhar o prêmio Nobel como já citado em um momento que a ciência era dominada pelo sexo masculino onde a presença feminina era rejeitada, por suas incansáveis pesquisas na área da Radioatividade o que levou a ganhar o segundo prêmio Nobel em 1911, agora em Química pela descoberta dos elementos Polônio e Rádio, por ser a primeira pessoa até aquele momento a ganhar duas vezes o principal prêmio na Ciência (FENELON; ALMEIDA, 2001). Realmente ela fez a diferença. Ernest Rutherford deu um passo importante para a radioatividade em 1898 quando estabeleceu a existência de dois tipos deferentes de radiação do urânio.

Não podemos deixar de mencionar a ilustre visita de Marie Curie ao Brasil em três estados – Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais em 1926 (NASCIMENTO; BRAGA, 2011). Chegou ao Rio de Janeiro em julho após ser convidada a visitar o Instituto Franco-Brasileiro de Alta Cultura, onde proferiu algumas palestras (NASCIMENTO; BRAGA, 2011). Como a vida cientista de Marie Curie foi voltada para a pesquisa na área da radioatividade, principalmente para a medicina, também foi convidada a visitar o Instituto de Radium de Belo Horizonte em Minas Gerais e proferir palestras sobre a possibilidade de cura de câncer com esse método, que na ocasião era novo e prometia ser revolucionário. O Instituto de Radium foi criado em 1922 a pedido de médicos e cientistas que nesse período já se preocupavam com enfermidades vindas de vários tipos de câncer (FENELON; ALMEIDA, 2001).

### 2.1.3 ERNEST RUTHERFORD

Rutherford em 1898 estudando a radiação do urânio e a condução elétrica estabeleceu a existência de duas radiações distintas, onde percebeu que uma era mais rápida e penetrante que deu o nome de beta ( $\beta$ ) e outra mais lenta e facilmente retida que a chamou de alfa ( $\alpha$ ) (CAMPBELL, 2001). Para essa descoberta, Rutherford tinha como suporte dois equipamentos para verificar se os resultados eram realmente confiáveis. Um era o eletrômetro de quadrante ou Dolezalek em homenagem ao seu criador Friedrich Dolezalek que servia para medir a diferença de potencial através de forças de atração e repulsão elétrica, e o eletroscópio de folha de ouro, que media ínfimas quantidades de radiação (SILVA, 2019).

Figura 2 - Eletrômetro de Quadrante ou Dolezalek usado para medir correntes ou cargas de ionização muito pequenas



Fonte: Inv. 70580. © Museu de História da Ciência, Universidade de Oxford  
<https://mhs.web.ox.ac.uk/collections-online#/item/hsm-catalogue-1434>

Figura 3 - Eletroscópio de folha de ouro para mensurar as radiações beta e gama



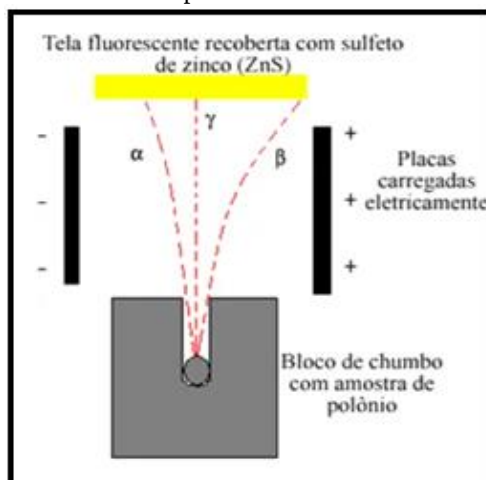
Fonte: [http://sky2.campus.mcgill.ca/rutherford/rutherford\\_collection.a5w](http://sky2.campus.mcgill.ca/rutherford/rutherford_collection.a5w)

Friedrich Oskar Giesel, em 1899, estudando as radiações que ele ainda chamava de raios de Becquerel, notou que a emissão da partícula  $\beta$  era comparável com os raios catódicos de Joseph John Thomson, e que sofriam mudanças de posição frente a um campo magnético. Os raios catódicos que Giesel se refere aos elétrons que Thomson havia descoberto em 1897. A mudança da direção da partícula  $\beta$  em um campo magnético seguia a mesma orientação dos elétrons, possuindo a mesma carga elétrica ( $\beta^-$ ), sendo negativa e sem massa considerável (GIESEL, 1899).

Os raios gama ( $\gamma$ ) viria a ser descoberto em 1900 por Paul Ulrich Villard quando estudava os raios dos sais de rádio que percebeu a existência de uma terceira radiação muito mais rápida e penetrante em relação a partícula  $\beta^-$  e também não sofria interferência de campo magnético e elétrico (MCGILL, 2019). Na verdade, o nome de raios  $\gamma$  foi dado por Rutherford em 1903, o que leva muitos a pensarem que foi este o descobridor da terceira radiação emitidas por elementos químicos radioativas.

Nesse mesmo ano, 1903, em parceria com Frederick Soddy constataram a carga positiva das partículas  $\alpha$ , que seu desvio era menor e no sentido oposto da partícula  $\beta^-$ , pois ainda não tinham certeza do valor real da carga elétrica, se era  $1+$ ,  $2+$  ou  $3+$ .

Figura 4 - Comportamento das radiações frente ao campo elétrico

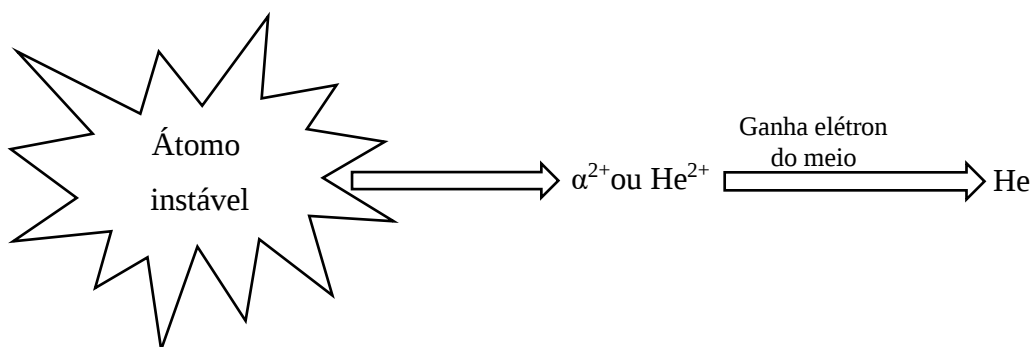


Fonte: <https://www.manualdaquimica.com/fisico-quimica/emissoes-radioativas-alfa-beta-gama.htm>

Soddy e Rutherford desenvolveram a teoria da desintegração atômica dos elementos e perceberam também que as substâncias radioativas se desintegravam em um intervalo de tempo, conceito hoje de meia-vida (TRANCOSO, 2016).

Rutherford ganhou o prêmio Nobel de Química em 1908, mesmo sendo um físico, por suas investigações sobre a desintegração dos elementos e a química das substâncias radioativas (CAMPBELL, 2001).

Em 1908, juntamente com Hans Geiger descobriram o valor da carga elétrica da partícula  $\alpha$  que era  $2+$ , que na época eles falavam em  $2e+$  (MARQUES, 2006). Tratavam a carga positiva como elétron positivo, isso porquê ainda não tinham conhecimento do próton. No ano seguinte, em 1909, realizou experimentos concludentes com Thomas Royds quanto a partícula alfa era de fato núcleos de Hélio ( $\text{He}^{2+}$ ) projetados para fora de núcleos instáveis com carga  $2+$  e que aos poucos conseguiam capturar elétrons do meio, ficando estável a sua relação quanto a carga elétrica.



Em 1911 publicou um dos seus maiores feitos que foi “O Espalhamento das Partículas alfa e beta pela Matéria e a Estrutura do Átomo”, onde em conjunto com Geiger e Marsden que já vinham investigando por vários anos esse fenômeno. Certificou que os desvios das partículas  $\alpha$  e  $\beta^-$  depois de serem arremessada contra uma lâmina finíssima de ouro era devido ao átomo possuir um centro muito pequeno e denso, onde concentrava praticamente toda a sua massa (SILVA, 2019). Essa contribuição foi de grande relevância para as pesquisas na área da radioatividade.

Rutherford não falava que o átomo possuía núcleo, e sim uma região central onde concentrava a massa. Publicou um artigo em 1914 sobre “A Estrutura do Átomo”, onde afirma que esse centro possui carga positiva. Mas só em 1918 em uma outra publicação é que se refere aos prótons, e que os mesmos são núcleos de hidrogênio de carga positiva.

A jornada de Rutherford pode se dizer que foi dedicada totalmente a radioatividade, cunhou o termo de meia-vida, fez importantes descobertas na desintegração atômica dos átomos onde descobriu as partículas  $\alpha$  e  $\beta^{1-}$ . Identificou que a partícula  $\alpha$  tem carga  $2+$  e que são núcleos de  $\text{He}^{2+}$  expelido de núcleos maiores a uma alta velocidade. Que o átomo possui um centro, sendo este pequeno e denso, e com cargas positivas. Fez a transmutação do nitrogênio em oxigênio ao bombardear com partícula  $\alpha$ , o que era um sonho dos alquimistas, e ainda de certa forma teve contribuição no descobrimento do nêutron em 1932, sendo James Chadwick o descobridor.

Praticamente dez anos após a descoberta da radioatividade, para identificar o valor carga elétrica da partícula  $\alpha$ , Joahnnes Wilhelm Geiger inventou o contador Geiger para detectar a presença de radiação emitidas por substâncias radioativas.

#### 2.1.4 JOHANNES (HANS) WILHELM GEIGER

Hans Geiger conhecido como inventor do contador Geiger, aparelho utilizado para identificar a presença de partícula  $\alpha$  e que em 1908 trabalhou junto com Rutherford na contagem de partículas por partículas nos seguintes experimentos: método elétrico que utilizou a sua criação e por cintilação. Teve várias contribuições para o campo da ciência que muitas das vezes nem é lembrado como no experimento “O Espalhamento das Partículas alfa e beta pela Matéria e a Estrutura do Átomo”, que nos livros didáticos trazem apenas o nome de Rutherford. Geiger sempre procurava melhorar seu aparelho que usava na contagem de partícula  $\alpha$ , e em 1928 juntamente com seu aluno de doutorado Walther Müller aprimorou de forma a detectar outras radiações ionizante. Hoje é fundamental na identificação de radiações emitidas por substâncias

radioativas (CHODOS, 2012). De 1928 até os nossos dias, vários tipos de detectores de radiações foram desenvolvidos com determinado propósito de uso, custo entre outros.

#### 2.1.5 FREDERICK SODDY

Soddy teve grandes contribuições na investigação da radioatividade. Em parceria com Rutherford identificaram a desintegração atômica de elementos instáveis, o conceito de meia vida, a comprovação da carga elétrica da partícula  $\alpha$ . Em 1908 já comentava sobre a energia liberada na fragmentação do átomo que era cerca de um milhão de vezes superior as já conhecida nas reações químicas. Rutherford em 1903 usou o termo “emanação” para representar substâncias de natureza gasosa produzidas constantemente por outras substâncias, sendo essas quando formadas tinham o poder de ionizar os gases que estavam a sua volta. Soddy com outros colegas de profissão começaram a investigar as emanações do Tório-X, que no caso eram produzidas pelo Tório, na tentativa de descobrir quais eram esses elementos químicos. Na época perceberam a presença de átomos de He por análises espectrais. Chegaram a deduzir que a emissão da partícula  $\alpha$  culminaria no átomo de He. Mas até aquele momento – 1903 – não tiveram êxito quanto a essa afirmação, pois não tinham como afirmar se era proveniente de impurezas da amostra de tório ou se eram realmente partículas  $\alpha$  que se transformavam em He. Também analisaram amostras de emanação do rádio. Soddy foi incansável nas investigações sobre a emanação, e em 1911 começou a render frutos quando escreveu um artigo dizendo que a perda de uma partícula  $\alpha$  parecia provocar mudança do rádio (Ra), não para a próxima família na Tabela Periódica, mas sim na anterior. Logo percebeu que na verdade deslocava em duas unidades antes. Se pensarmos no caráter eletronegativo que aumenta da esquerda para a direita na Tabela Periódica, com a emissão de uma partícula  $\alpha$ , o produto é mais leve, decaindo em duas unidades nessa fila e de caráter eletronicamente positivo.

Isso resultou na Lei do Deslocamento, conhecida hoje como a “primeira lei da radioatividade”.

Até 1913 Soddy e outros cientistas estavam usando o termo “elementos de rádio quimicamente inseparáveis” no lugar de “emanação do rádio”, que depois de várias tentativas conseguiram a separação desses elementos químicos e anunciou que eram elementos quimicamente iguais, mas com diferentes massas resultantes, que chamou de isótopos. Ele usou esse termo após decifrar os elementos quimicamente iguais do Rádio e do Tório, e o que caracteriza um elemento químico na Tabela Periódica é a carga nuclear e não o peso atômico. Ou seja, radioelementos de diferentes massas que ficassem na mesma posição na Tabela

Periódica eram iguais quimicamente. Daí onde Soddy usou o termo “isótopos” para distinguir elementos químicos de mesma carga nuclear, mas com massas diferentes entre si.

Ainda em 1913, com auxílio de cientistas como Kasimir Fajans, Georg von Hevesy e Bertrand Arthur William Russell, Soddy avançou na reformulação da lei do deslocamento. Cada partícula  $\alpha$  expelida causa um deslocamento de dois lugares decrescente de valência na Tabela Periódica e quatro unidades de sua massa atômica. O elemento filho então teria seu número atômico em duas unidades menor que o átomo pai e quatro unidades menor em relação a massa. Ex.

- ${}_Z X^A$  ou  $X^A$ , onde X representa um elemento qualquer, Z é o número atômico e A a massa atômica do elemento químico:  ${}_Z X^A \rightarrow {}_2 \alpha^4 + {}_{Z-2} Y^{A-4} \rightarrow Y$  é o átomo filho;
- ${}_{92} U^{235} \rightarrow {}_2 \alpha^4 + {}_{90} Th^{231}$

Também definiram que a emissão de uma partícula  $\beta^-$  resulta em um deslocamento, agora crescente de valência na Tabela Periódica, aumentando assim em uma unidade o seu número atômico e permanecendo a mesma massa. Hoje é conhecido como a segunda Lei da radioatividade. Ex.

- ${}_Z X^A \rightarrow {}_{Z+1} Y^A + \beta^-$
- ${}_{82} Pb^{209} \rightarrow \beta^- + {}_{83} Bi^{209}$

Lembrando que o termo “Primeira e Segunda Lei da Radioatividade” é apenas didático, Soddy não mencionou esses termos em seus artigos e naquela época ainda não tinham conhecimento dos prótons e dos nêutrons.

## 2.2 O Átomo

O átomo é formado por duas partes: núcleo, constituído das partículas nêutron sem carga elétrica e próton de carga positiva. Essas partículas estão ligadas entre si por forças extremamente fortes e de curto alcance, e reduz drasticamente com o aumento da distância entre elas (LEE, 1999). Os prótons e nêutrons são designados de *núcleons* e podem se mover dentro do núcleo, como um fragmento de uma partícula dentro de líquidos. A outra parte são os orbitais atômicos, onde há uma maior probabilidade de se encontrar os elétrons, que possuem carga negativa. Um átomo no seu estado fundamental é dito como neutro, pois há compensação das cargas entre núcleo – positiva, e orbitais – negativa, desde que o número entre prótons/elétrons

sejam o mesmo. Em média, o tamanho do raio dos átomos são de 1 a 2 Å<sup>1</sup>. O seu núcleo é mínimo. O oxigênio por exemplo possui um raio da ordem de  $2,5 \times 10^{-5}$  Å (LEE, 1999). Alguns livros costumam fazer comparações com o tamanho do átomo do tipo “se o núcleo fosse do tamanho de um caroço de azeitona e estiver no centro do campo de futebol do estádio do Maracanã, a sua eletrosfera (orbital atômico) seria o restante do estádio”. É difícil fazer uma comparação entre as duas partes que forma o átomo.

O núcleo concentra praticamente toda a massa do átomo com a soma das partículas prótons e nêutrons, com densidade em torno de  $2,4 \times 10^{14}$  g/cm<sup>3</sup>, densidade elevadíssima, uma vez que os elétrons praticamente não têm massa. A massa do átomo pode ser expressa por “unidade de massa atômica” (u.m.a), que é utilizada para representar a massa do C-12 no estado fundamental em 1/12 de sua parte. Saber se um átomo é estável, é necessário ter a sua massa.

A massa de um átomo de hidrogênio, é igual à massa de um próton e de um elétron. Em todos os demais átomos, a massa do átomo é menor que a soma das massas dos prótons, nêutrons e elétrons que o constituem. A diferença é conhecida como *defeito de massa* e está relacionada à *energia de ligação nuclear*, que mantém unidos prótons e nêutrons no núcleo (LEE, 1999, p. 466).

Para saber a quantidade de massa que foi convertida em energia na ligação entre partículas na formação do núcleo podemos subtrair o valor que seria a massa real do núcleo do átomo pelo valor da massa do núcleo do átomo em questão e o resultado multiplicar pelo fator de conversão. Energia e massa estão associadas na fórmula de Albert Einstein –  $\Delta E = \Delta mc^2$ . Vamos usar os dados que estão na tabela a seguir para resolver os seguintes exemplos:

---

<sup>1</sup> - 1 Å =  $1 \times 10^{-10}$  m.

1 Å =  $1 \times 10^5$  fm

1 fm =  $1 \times 10^{-15}$  m

\*fm = fentômetro

\* Å = angstrom

Tabela 1 - Informações sobre massa das partículas e de sua energia de ligação

|                                                                                                                   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\Delta E \rightarrow$ variação de energia – energia liberada                                                     |
| $\Delta m \rightarrow$ variação de massa – perda ou defeito de massa                                              |
| $c \rightarrow$ velocidade da luz – $2,988 \times 10^8$ m/s                                                       |
| ${}_1p^1 \rightarrow 1,007277$ u.m.a.                                                                             |
| ${}_0n^1 \rightarrow 1,008665$ u.m.a.                                                                             |
| 931 $\rightarrow$ fator de conversão de u.m.a. em $\text{MeV}^2$                                                  |
| Energia necessária em média para romper uma ligação entre <i>núcleons</i> – próton ou nêutron $\rightarrow 8$ MeV |

Fonte: (LEE, 1999)

- Como deveria ser a massa atômica do He sem nenhuma perda de massa – He  $\rightarrow 4,0319$  u.m.a.

Ex. 1 – He  $\rightarrow 4,0028$  u.m.a.Perda de massa  $\rightarrow 4,0319 - 4,0028 = 0,0291$  u.m.a. $0,0291 \times 931 = 27,1$  MeVEx. 2 – He  $\rightarrow 4,00671$  u.m.a.Perda de massa  $\rightarrow 4,0319 - 4,00671 = 0,02519$  u.m.a. $0,02519 \times 931 = 23,45$  MeV

Logo o átomo de He do Ex. 1 é mais estável, a energia de ligação entre os *núcleons* é superior em relação ao Ex. 2, já que converteu maior quantidade de massa em energia.

Vamos dar uma olhada com mais calma dentro do núcleo do átomo. Em um núcleo com mais de um próton há repulsão entre as cargas de mesmo sinal, porém mais fraca em um átomo estável que a força de atração. Se a força de repulsão for maior, no caso em um átomo instável, a qualquer momento pode ocorrer a fissão. A interação que mantém unidos os *núcleons* – próton-próton, próton-nêutron, nêutron-nêutron, vem dos mésons ( $\pi$ ), podendo ter carga positiva, negativa ou neutra (SOUZA; DANTAS, 2010). Os mésons tem massa intermediária entre próton/elétron, o que justifica a interação de curto alcance entre os *núcleons*. A interação pode ocorrer da seguinte forma:

---

<sup>2</sup> 1MeV =  $1,6022 \times 10^{-16}$  KJ/mol

- $p \xrightarrow{\pi^+} n$
- $n \xrightarrow{\pi^0} n$
- $p \xrightarrow{\pi^0} p$
- $n \xrightarrow{\pi^-} p$

Próton pode se converter em um nêutron ou vice-versa, depende da transferência da carga do méson (LEE, 1999).

## 2.3 Tipos de radiações

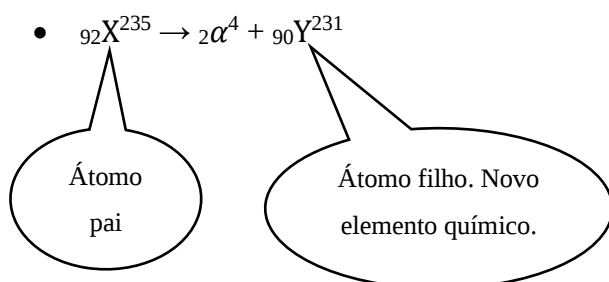
Primeiro vamos entender a diferença entre radiação ser uma partícula ou onda eletromagnética. As radiações que possuem massa e carga elétricas ou apenas uma das duas opções mencionadas são consideradas como partículas. Já as radiações que não possuem massa ou carga elétrica são consideradas como onda (ANGUERA, 2017). As radiações eletromagnéticas são ondas que se encontram desacopladas das cargas elétricas que lhe deram origem, ou seja, proveniente de oscilações em fase dos campos elétricos e magnéticos. E podem ser classificadas de acordo com sua frequência: ondas de rádio, Tv, micro-ondas, infravermelho, ultravioleta, raios-X e  $\gamma$ . Elas diferem em benéficas ou maléficas pelo poder de ionizar átomos e moléculas, o que depende da sua quantidade de energia.

Radiação não-ionizante ou ditas como benéficas são aquelas que possuem baixa energia, que não conseguem ionizar átomos ou moléculas, como as de rádio, Tv, micro-ondas. Já as ionizantes, quando exposto sem os devidos cuidados podem ser maléficas, pois carregam energia suficiente para ionizar átomos e moléculas como os raios-X que são provenientes de reações nos orbitais atômicos do átomo e os raios  $\gamma$  que são de reações vindas de núcleos atômicos (PINO; GIOVEDI, 2005).

### 2.3.1 RADIAÇÃO ALFA

Radiação ou partícula  $\alpha$  são provenientes de átomos com núcleos instáveis, decorrentes de processos de desintegração. Átomos com número atômico ou massa atômica elevada podem emitir partículas  $\alpha$ , procurando a estabilidade (PEREIRA, 2014). As partículas  $\alpha$  são consideradas núcleos de Hélio de carga positiva ( $\text{He}^{+2}$ ), com dois prótons e dois nêutrons, que depois de um certo tempo ganham elétrons do meio, ficando neutro (He). Dessa forma quando um átomo pai ao emitir uma partícula  $\alpha$ , o átomo filho terá redução de prótons ou número

atômico (Z) em duas unidades e seu número de massa (A) em quatro unidades. Sendo que a massa é a soma de prótons e nêutrons. Ex.;

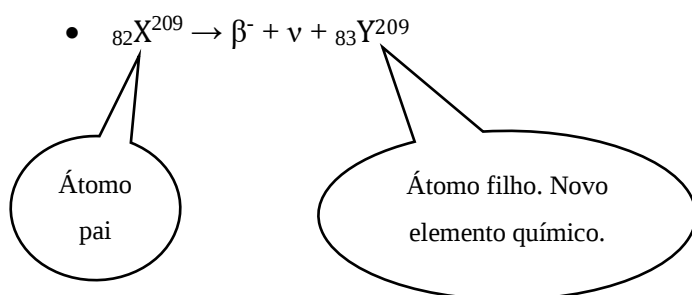


Se após a emissão de uma partícula  $\alpha$  o átomo não adquirir a estabilidade necessária, poderá ocorrer novas emissões de radiação da mesma ou de outras, até ficar estável. A massa do núcleo filho somada a partícula  $\alpha$  deve ser a mesma do átomo pai, não levando em conta a pequena diferença da perda de massa que é usado na ligação dos *núcleons*.

O poder de penetração das partículas  $\alpha$  é muito pequena, sendo até mesmo barrada pela pele humana (GROPPO, 2013). O fato de ser barrada facilmente está relacionado a sua massa ser quatro u.m.a, mas por ter carga elétrica pode causar ionizações e levar a queimaduras/ferimentos na pele ao longo do seu percurso. Se for inalada junto ao ar, ingerida através de algum tipo de alimento ao absorvida através de ferimento, tem potencial de ocasionar sérios riscos à saúde, como até mesmo o surgimento de câncer.

### 2.3.2 RADIAÇÃO BETA

Radiação ou partícula  $\beta^-$  ocorre quando a instabilidade no núcleo do átomo é devido ao excesso de nêutron em relação a prótons em sua linha de equilíbrio (SECCO, 2016). Para isso, um nêutron se transforma em uma partícula  $\beta^-$ , um próton e um neutrino ( $\nu$ ). O próton permanece no núcleo, o que aumento o número atômico do elemento em uma unidade, mas seu número de A permanecera inalterado. O  $\nu$  e a partícula  $\beta^-$  são expelidos do núcleo em alta velocidade. Ex.;



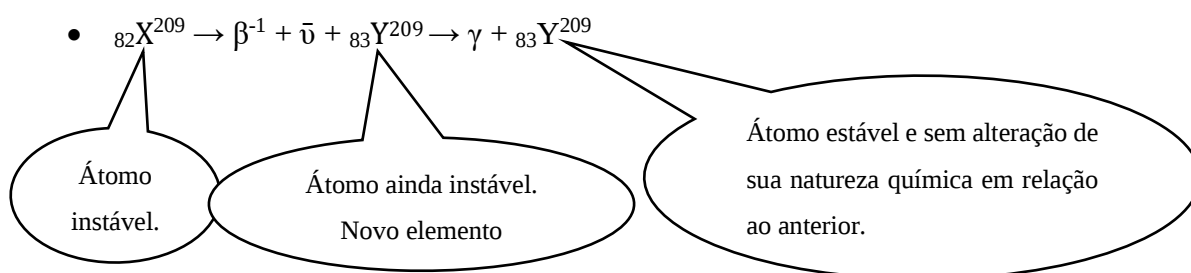
A partícula  $\beta^-$  é considerada como um elétron de alta energia. O elétron praticamente não possui massa, o que não altera significativamente o número de A entre os átomos pai/filho. O neutrino não tem carga nem massa, tendo muito pouca interação com a matéria, com alto poder de penetração, sendo muito difícil a sua identificação. A emissão dos  $\nu$  pelos átomos ocorre para a sua estabilização após a emissão de uma partícula  $\beta^-$  pelo núcleo. Na verdade, a emissão do  $\nu$  está em praticamente todas as transformações nucleares. Toda vez que ocorre a emissão de uma radiação, o elemento resultante é mais estável e com o seu tempo de  $\frac{1}{2}$  vida mais longo, o que deixa mais próximo da linha de estabilidade.

O poder de penetração da partícula  $\beta^-$  é maior que a  $\alpha$ , podendo chegar em torno de 1 cm no tecido humano, acarretando lesão na pele e consegue ionizar átomos e moléculas (BUONOCORE et al., 2019). Representa alto risco biológico, principalmente se ingerida ou inalada pelo ar.

### 2.3.3 RADIAÇÃO GAMA

Radiação ou raios gama ( $\gamma$ ) são consideradas como ondas eletromagnéticas (fótons) de alta energia. Não possuem massa e não são desviadas pelo campo elétrico ou magnético por não possuir carga elétrica. Mesmo não possuindo carga elétrica conseguem ionizar átomos e moléculas, mas em menor proporção em relação as partículas  $\alpha$  e  $\beta^-$ .

São liberados por núcleos que ainda não adquiriu a sua estabilidade mesmo após a emissão de partículas como exemplo as  $\alpha$  e  $\beta^-$ , pois sempre há sobra de energia, sendo essas convertidas em radiação  $\gamma$  (DIERKA, 2017) Ex.;



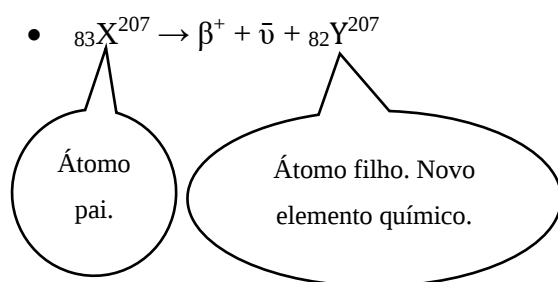
Quando um átomo instável emite uma radiação  $\gamma$  não altera o número atômico e nem a sua A atômica, pois não possui massa. São extremamente penetrantes por não possuírem massa e carga, atravessa facilmente o corpo humano, oferecendo alto risco biológico, podendo modificar proteínas e alterar o DNA, ocasionando sérios riscos de saúde. Há grande possibilidade de modificar as células reprodutivas, gerando descendentes portador de defeito genéticos, com algum tipo de anomalia, ditos também como “aberrações da natureza”.

### 2.3.4 RADIAÇÃO PÓSITRON

A existência do pósitron ( $\beta^+$ ) foi conjecturada em 1928 por Paul Adrien Maurice Dirac ao apresentar a teoria do buraco negro. Em 1932 Carl David Anderson, estudando e fotografando os raios cósmicos em uma câmara de ionização conseguiu provar a existência da partícula  $\beta^+$ .

A estabilidade do átomo também pode ocorrer com a emissão da partícula  $\beta^+$ , que é a antimatéria do elétron. Suas características, exceto a carga elétrica, são idênticas ao elétron, com a sua massa praticamente desprezível, alta energia de ionização. Esse tipo de reação de emissão ocorre em menor proporção em relação as já comentadas.

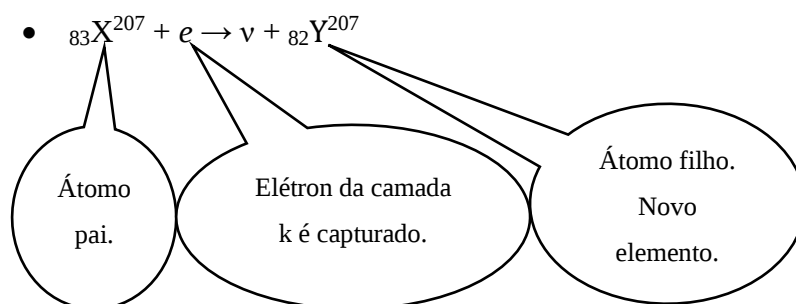
No caso, pode ocorrer em átomos instáveis com excesso de prótons em relação ao nêutron. Para isso o próton se converte em um nêutron e libera a partícula  $\beta^+$  e o antineutrino ( $\bar{\nu}$ ). Após a liberação da partícula  $\beta^+$  o número atômico diminui em uma unidade e seu número de A permanece constante. A massa da partícula  $\beta^+$  e do  $\bar{\nu}$  é desprezível. Ex.;



As características do  $\bar{\nu}$  é semelhante ao  $\nu$ . A diferença que a primeira é antimatéria do  $\nu$ . Quando uma partícula  $\beta^+$  é liberado, rapidamente interage com um elétron do meio e ambos se aniquilam, emitindo dois fótons, que são raios  $\gamma$  (MACHADO; PLEITEZ; TIJERO, 2006). A emissão desses dois raios  $\gamma$  ocorre a  $180^\circ$  um do outro, cada uma carregando a metade da energia de aniquilação.

### 2.3.5 CAPTURA DE ELÉTRONS K

Também há possibilidade de acontecer a captura eletrônica com a diminuição em uma unidade o número atômico sem a liberação da partícula  $\beta^+$ , onde um elétron do próprio átomo é absorvido pelo núcleo e um próton se transforma em um nêutron com liberação de energia na forma de radiação  $\nu$  e raio-X (DIERKA, 2017). Ex.;



Esse processo é denominado de captura de elétrons da camada k. O elétron capturado é o da camada k e que instantaneamente é repostado por outro de um nível mais energético, e com isso ocorre o processo de emissão dos raios-X. Nesse processo o átomo não fica deficiente de cargas elétricas, ou seja, não se transforma em um íon positivo ou negativo, pois a captura do elétron é compensada pela conversão do próton em um nêutron.

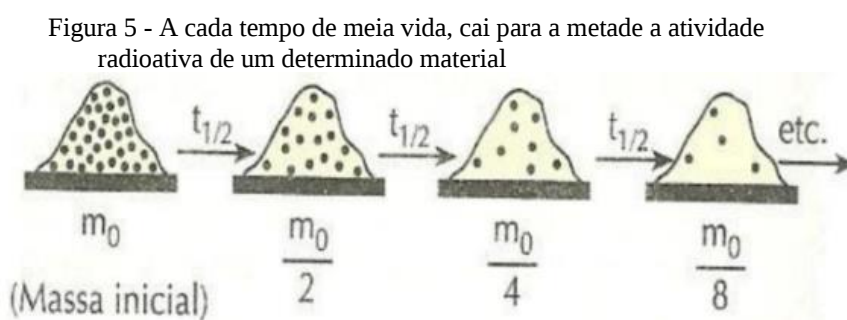
## 2.4 Desintegração radioativa e o tempo de meia-vida

O termo desintegração ou decaimento radioativo, foi cunhado por Soddy e Rutherford em 1903, no artigo “A causa e a natureza da radioatividade”. Chegaram a esse resultado depois de várias pesquisas na área de emissão de radiações e identificaram que elementos radioativos estavam passando por transformações atômicas. Perceberam também que o novo material produzido se formava a uma taxa constante, e aparecia o tório-X como produto através do tório, que é na verdade era um isótopo do rádio (CORDEIRO, 2011). Para provar que na emissão de radiação um novo elemento químico se formava, Soddy e Rutherford tiveram que fazer a separação do tório com o tório-X empregando o método da precipitação com a amônia, onde constataram que depois de um tempo definido e de várias experiências feitas e incansáveis, o tório-X se formava novamente (SODDY, 1922).

Dizer que o átomo se transformava em outro não era tão simples naquele momento, pois a comunidade científica ainda era muito resistente em aceitar esse tipo de transformação. Podemos dizer um nome que na época era muito respeitado, Mendeleev, hoje conhecido como pai da Tabela Periódica que acreditava veemente que o átomo era imutável e logo iriam perceber que não passava de um sonho alquimista e que apenas tentava explicar algo que não iria ter sucesso. Mesmo com essas evidências certamente não foi fácil lutar contra mentes fechadas, as vezes temendo até mesmo pelo sucesso dos colegas.

Agora, se um químico purificasse, digamos, chumbo da prata e descobrisse sempre que o purificava que a prata reformada, ele teria que concluir que o chumbo estava se transformando em prata. O fato de que isso não aconteça está na base da crença na imutabilidade dos elementos. Portanto, a conclusão de que na radioatividade elementos estão se transformando em outros é igualmente direta (SODDY, 1922).

Já o conceito de meia-vida foi usado por Rutherford por volta de 1900 quando percebeu que em seus experimentos que usava uma porção de papel como barreira de radiações provinda do tório ou outros elementos radioativos e suas correntes de ionizações, conseguiu notar que a intensidade da radiação decaía pela metade depois de um certo tempo. Identificou que cada elemento radioativo tinha um determinado tempo para decair pela metade as emissões radioativas. Ou seja, o tempo transcorrido pelo urânio em decair pela metade de sua reatividade não era compatível com o tempo do tório. Dessa forma, tempo de meia-vida representa o intervalo transcorrido que um determinado elemento radioativo leva para se desintegrar pela metade a sua reatividade, transformando-se em outro elemento químico. Ex.;

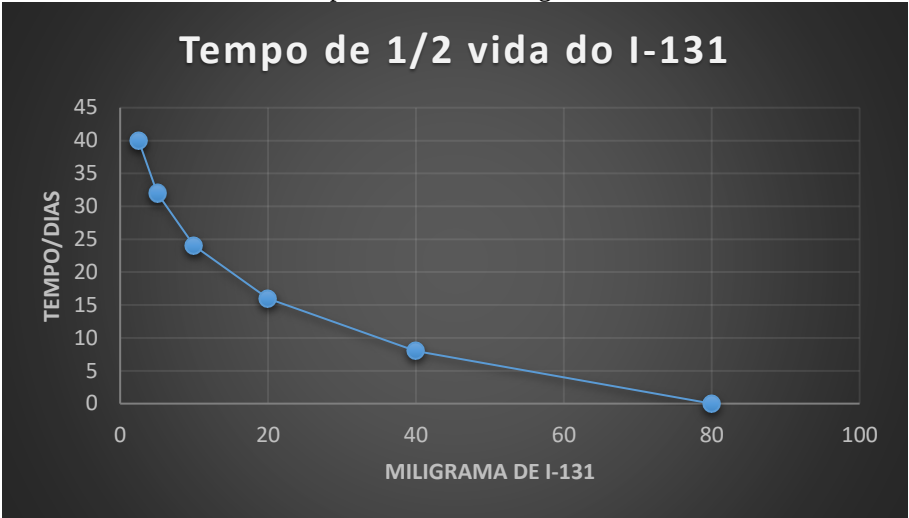


Fonte: [https://qconassetsproduction.s3.amazonaws.com/slides/materiais\\_de\\_apoio/3967/40a2ebb65211cf95bd3fa9e11cb80a4fdd9dda28.pdf](https://qconassetsproduction.s3.amazonaws.com/slides/materiais_de_apoio/3967/40a2ebb65211cf95bd3fa9e11cb80a4fdd9dda28.pdf)

O processo de desintegração do átomo em um intervalo de tempo depende somente da quantidade de átomos radioativos e de qual o átomo que está sendo trabalhado. A massa total não influencia no tempo de  $\frac{1}{2}$  vida.

Os isótopos radioativos também possuem diferentes tempos de  $\frac{1}{2}$  vidas. Podemos citar o uso do iodo-125 ( $^{125}\text{I}$ ) e o iodo-131 ( $^{131}\text{I}$ ), ambos usados na medicina para tratamento da tireoide, câncer de próstata e entre outras. O  $^{125}\text{I}$  tem sua  $\frac{1}{2}$  vida de 59,6 dias (SOUZA, 2009)(SOUZA; OLIVEIRA; SIMONETTI, 2010), enquanto do  $^{131}\text{I}$  é de 8 dias (SOUZA M. et al., 2006). Supondo que um paciente em tratamento de tireoide seja injetado via oral 80 mg, após 40 dias ainda restará em seu organismo 2,5 mg desse isótopo radioativo. Podemos utilizar o gráfico para acompanhar melhor o decaimento do medicamento.

Gráfico 1 - Decaimento radioativo do I-131. Em um gráfico o decaimento radioativo será de forma exponencial e não chegará a zero.



Fonte: próprio autor.

O  $^{125}\text{I}$  decai por captura eletrônica, se transformado no  $^{125}\text{Te}$ . Já o  $^{131}\text{I}$  por liberação de partícula  $\beta^-$ , formando  $^{131}\text{Xe}$ .

Existem vários radionuclídeos instáveis que passam por vários decaimentos radioativos para chegar a configurações mais estáveis, que pode ocorrer por emissão de partículas como:  $\alpha$ ,  $\beta^-$ ,  $\beta^+$ , captura de elétrons k e ondas eletromagnéticas como  $\nu$  ou  $\gamma$ , e obedece a lei da desintegração.

A tabela a seguir mostra o tempo de  $\frac{1}{2}$  vida de alguns radionuclídeos:

| Radionuclídeo | Tempo de $\frac{1}{2}$ vida |
|---------------|-----------------------------|
| Pd-103        | 17 dias                     |
| Ir-192        | 74 dias                     |
| Cs-137        | 30 anos                     |
| Ra-226        | 1622 anos                   |
| U-238         | 4,5 bilhões de anos         |
| U-235         | 713 milhões de anos         |
| To-232        | 13,9 bilhões de anos        |
| To-228        | 1,9 bilhões de anos         |
| Po-210        | 140 dias                    |
| Po-211        | 0,005 segundos              |

Uns dos métodos utilizados para estimar a idade da Terra é a datação radiométrica das rochas que usa o fenômeno da radiação. A rocha mais utilizada na datação da Terra é o zircão ( $\text{ZnSiO}_4$ ) que contém em torno de 0,1% de urânio, sendo encontrado o  $\text{U}^{238}$  e o  $\text{U}^{235}$  numa proporção de 138/1. O  $\text{U}^{238}$  decai no  $\text{Pb}^{206}$ , já o  $\text{U}^{235}$  no  $\text{Pb}^{207}$ , ambos são utilizados na datação geológica. A idade da Terra é estimada em torno de 4,56 bilhões de anos (CARNEIRO; MIZUSAKI; ALMEIDA, 2015).

A transmutação de um elemento químico em outro somente por meio de reações químicas pode se dizer que é improvável, uma vez que a quantidade de energia liberada nesse tipo é no máximo de 1.000 kJ/mol e as nucleares em torno de  $1 \times 10^9$  kJ/mol, uma diferença extremamente enorme (LEE, 1999). Essa quantidade de energia justifica o motivo da temperatura de uma reação química não ter efeito em uma reação nuclear.

## 2.5 Série de decaimento radioativo

Na natureza há três séries de elementos radioativos pesados que são tório (Th), urânio (U) e o actínio (Ac), que são essenciais na sequência de tempo de  $\frac{1}{2}$  vida mais longos. Podemos adicionar o quarto elemento, o neptúnio (Np), um transurânico artificial. Por meio de sucessivos decaimentos radioativos chegam a isótopos estáveis. Os três elementos que ocorrem de forma natural, chegam aos isótopos estáveis do chumbo, sendo –  $\text{Pb}^{206}$ ,  $\text{Pb}^{207}$  e  $\text{Pb}^{208}$ . O Np chega ao  $\text{Bi}^{209}$ .

- ${}_{92}\text{U}^{238} \rightarrow 8\alpha + 6\beta^- + {}_{82}\text{Pb}^{206}$
- ${}_{92}\text{U}^{239} \rightarrow 3\alpha + 3\beta^- + {}_{89}\text{Ac}^{227} \rightarrow 5\alpha + 3\beta^- + {}_{82}\text{Pb}^{207}$
- ${}_{90}\text{Th}^{232} \rightarrow 6\alpha + 4\beta^- + {}_{82}\text{Pb}^{208}$
- ${}_{93}\text{Np}^{237} \rightarrow 7\alpha + 4\beta^- + {}_{83}\text{Bi}^{209}$

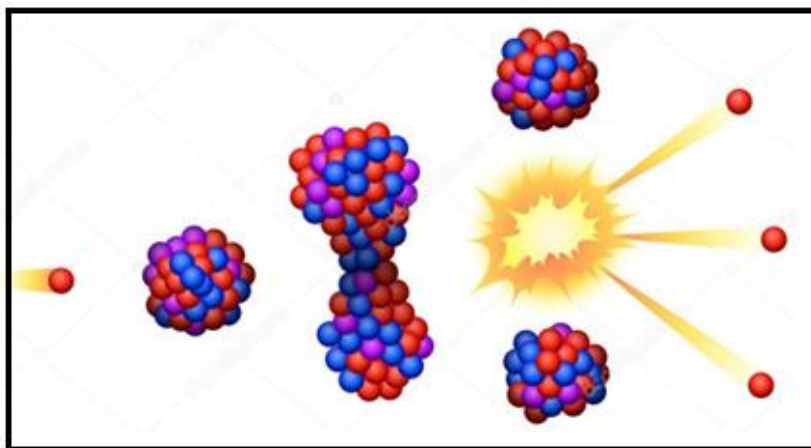
Lembrando que as emissões das partículas  $\alpha$  e  $\beta^-$  não seguem uma sequência lógica, podendo ser liberada uma seguida da outra ou não. A cada emissão de partículas  $\alpha$  e  $\beta^-$  é formado um isótopo radioativo como produto intermediário com o seu tempo de  $\frac{1}{2}$  vida podendo ser na casa dos milésimos de segundos, minutos ou até mesmo por vários anos (LIMA, 2006). Exemplos de produtos intermediários – Am, Ra, Rn, At, Tl, Po, entre outros. Até mesmo isótopos radioativos do Pb e Bi como produto final que estão listados acima,  $\text{Pb}^{212}$ ,  $\text{Pb}^{209}$ ,  $\text{Bi}^{210}$ ,  $\text{Bi}^{212}$ . Também pode ocorrer outros tipos de emissão de radiação como  $\beta^+$ ,  $\gamma$ ,  $\nu$ ,  $\bar{\nu}$ , lembrando que as três últimas não transformam os átomos em outros, apenas ajuda na estabilidade.

O  $U^{235}$ ,  $U^{238}$  e o  $Th^{232}$  podem ser usados em datação geológica, hidrológica, arqueológica (LIMA, 2006).

## 2.6 Fissão Nuclear

Fissão significa quebra, repartição em partes menores. Falando de fissão atômica é a divisão de núcleos com massas elevadas pelo bombardeamento de nêutrons formando geralmente dois outros átomos menores com liberação de grande quantidade de energia e novos nêutrons.

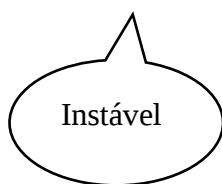
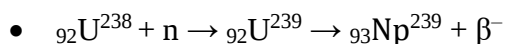
Figura 6 - Fissão do átomo



Fonte: <https://br.depositphotos.com/vector-images/fiss%C3%A3o.html>

Para ter uma ideia de liberação de energia, a fissão de 40 g de urânio equivale a 40 mil litros de óleo diesel (TAVARES, 2019).

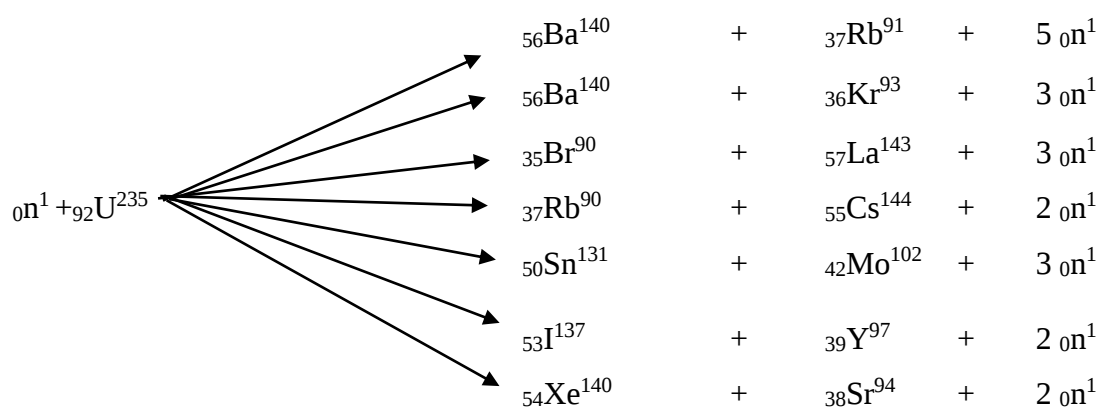
Logo após a descoberta do nêutron em 1932 por Chadwick pesquisadores da época perceberam que era possível produzir novos elementos químico pelo bombardeamento através dessa partícula. Até meados de 1932 os cientistas tentavam produzir novos elementos usando a partícula  $\alpha$ , os chamados artificiais. O problema é que núcleos grandes como do urânio, último elemento químico encontrado na natureza ao ser bombardeado por partículas de carga positiva, não consegue vencer a barreira colombiana, não resultando em nenhuma reação. Mas com a descoberta do nêutron chegaram a grandes feitos, conseguiram produzir elementos como número atômico acima de 92, os chamados transurânicos. De início a intenção era bombardear núcleos grandes como do urânio por nêutron, e que após essa inserção ocorreria a liberação de partícula  $\beta^-$ , formando um novo elemento imediatamente superior em uma unidade de número atômico. Ex.;



E conseqüentemente o neptúnio seria bombardeado por nêutron, formando o plutônio, e assim sucessivamente. Mas na prática não era isso o que estava acontecendo. Muitos cientistas perceberam que tinha algo errado, mas até o momento não aceitavam ser possível divisão nuclear.

Até que em 1939 Meitner e Frisch publicaram um artigo explicando sobre tal anomalias, onde cunhou o termo “Fissão Nuclear” (TAVARES, 2019).

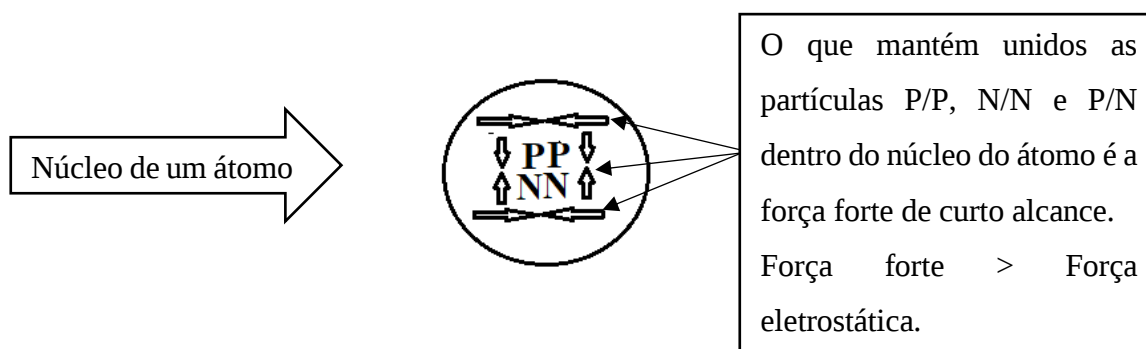
Tudo começou depois de observarem que elementos químicos como bário, criptônio, lantânio, molibdênio entre outros estavam aparecendo como produto final. Perceberam também que esses elementos não seguiam uma ordem de formação. Cada divisão, geralmente eram encontrados dois elementos químicos que somados as suas massas e mais os nêutrons liberados resultava na massa inicial. Hoje é sabido que há uma diferença mínima na massa final, nas casas dos 0,2 unidades. Essa diferença vem da massa do nêutron, sendo a mesma usado na liberação de energia no momento da reação. O que explica a quantidade de tanta energia liberada na reação de fissão. Abaixo estão listadas algumas possibilidades de elementos formados na fissão nuclear.



Um problema encontrado na época foi a produção de novos isótopos de elementos químicos já conhecidos. Para aquele momento não era tão fácil a distinção do isótopo do rádio ou de qualquer outro (CORDEIRO; PEDUZZI, 2015). Lembrando que o ponto que mais chamou a atenção dos dois pesquisadores, Meitner e Frisch, foi a grande quantidade de energia liberada na reação de fissão.

A fissão nuclear foi comparada como uma gota líquida por Niels Bohr e Fritz Kalckar em 1936 mesmo antes desse novo fenômeno ser aceito pela comunidade científica (FIOLHAIS, 1992). Gotas pequenas possui a sua forma esférica devido a força de coesão, que é mutuamente mais atrativa do que em gotas maiores do mesmo líquido. Uma gota, a partir de um tamanho máximo a sua esfericidade começa a ficar crítica e a se deformar, podendo ocasionar a sua ruptura espontânea ou por qualquer perturbação. Átomos com núcleos atômicos baixos são estáveis, praticamente impossíveis de serem fissionados porque é preciso vencer a barreira de fissão (GOLDEMBERG, 1972). Os *núcleons* são mantidos por forças de curto alcance e átomos com número atômico acima de 90 e massa elevada a repulsão entre os prótons fica maior e a fissão pode ocorrer com facilidade. O U-235 por ter massa elevada, tem a sua geometria distorcida, de forma assimétrica, e ao receber um nêutron irá provocar a fragmentação do núcleo, formando dois ou mais elementos químicos.

A forma rígida do átomo em relação a sua deformação e consequentemente a fissão depende da relação do número de nêutrons e prótons (N/P). Elementos químicos com relação de 1N/1P são estáveis, no caso com números atômicos até 20. Acima desse valor é necessário cada vez mais um aumento de nêutron na relação N/P para contrabalancear a repulsão entre a carga elétrica dos prótons (SOUSA, 2009).

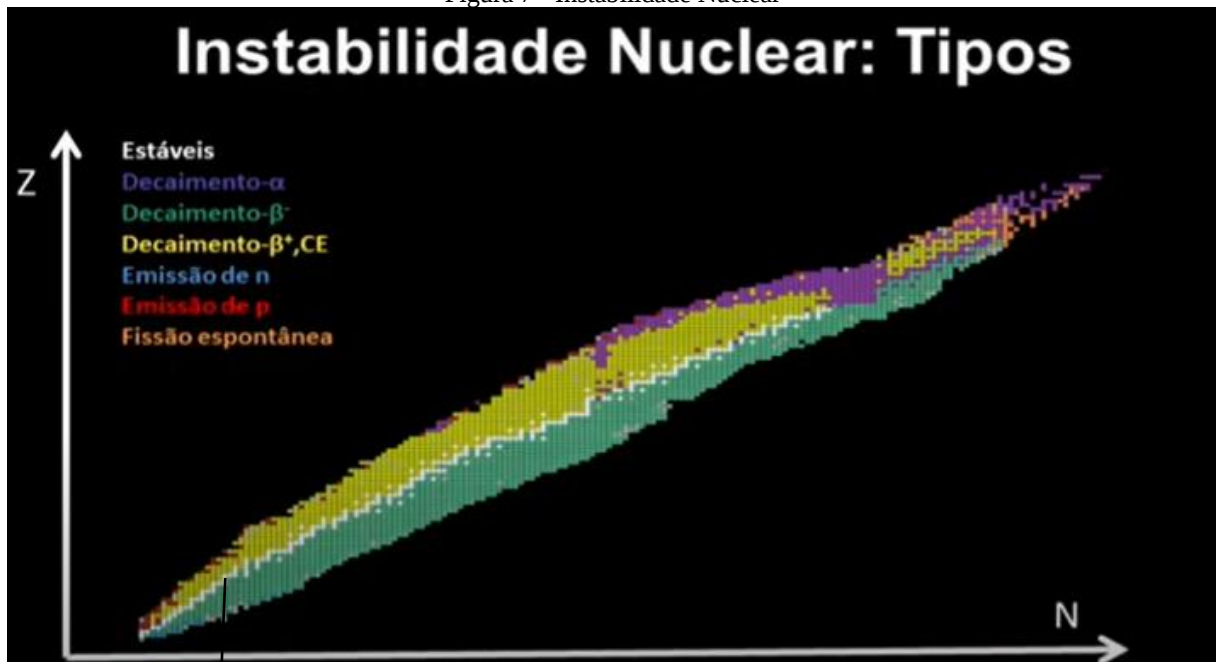


Esse aumento pode chegar com uma certa estabilidade na relação N/P de até 1,55. Após esse valor torna-se instável a relação das partículas dentro do núcleo. O U-235 é um bom exemplo:

- $N = A - P \rightarrow N = 235 - 92 = 143 \rightarrow 143N/92P = 1,55$

Essa relação pode ser melhor percebida através de gráficos:

Figura 7 - Instabilidade Nuclear



Fonte: Print da tela do vídeo do Professor Luis Gregório Dias da Silva pela Univesp – Estrutura da Matéria: aula 05, Radioatividade. <https://www.youtube.com/watch?v=cZyMzlmRtKU>

A linha branca representa núcleos estáveis, conhecida como faixa ou zona de estabilidade.

Núcleos fora da zona de estabilidade são instáveis e emitem radiação decaindo em um novo elemento, indo dentro ou muito próximo da linha. As emissões e tipos de radiações podem ocorrer por/quando:

- Emissão de partícula  $\alpha$  (acima da linha de estabilidade);
- Emissão de partícula  $\beta^+$  (acima da linha de estabilidade);
- Captura de elétrons da camada K (acima da linha de estabilidade);
- Emissão de partícula  $\beta^-$  (abaixo da linha de estabilidade);
- Emissão de nêutron (abaixo da linha de estabilidade e praticamente nem é percebido na imagem 10);
- Emissão de próton (acima da linha de estabilidade);
- Fissão espontânea, acontece com núcleos de massas elevadas, quando a relação N/P não é suficiente para manter o núcleo estável, ocasionando a sua ruptura praticamente ao meio.

A reação de fissão tem várias aplicabilidades como na produção de energia, onde a demanda só cresce. Alguns meios de geração de energia que são utilizados no momento terão que ser substituídos, como as termoelétricas que são movidas a combustíveis fósseis que irá se esgotar e contribui em muito para o aquecimento global devido a emissão de gases poluentes como o dióxido de carbono, as hidrelétricas pela descentralização das chuvas e até mesmo por questão ambiental, onde represa uma grande área podendo levar a extinção de animais e vegetais típicos da região e diminuição no espaço utilizado na produção de alimentos.

Um átomo que sofre a fissão poderá desencadear a fissão de outros, tipo um efeito dominó, nesse caso chamamos de reação em cadeia. Nêutrons produzidos na fissão poderão induzir outra fissão ou escapar do material físsil e assim incorporar a um outro tipo de reação nuclear: Se nas reações de fissão forem produzidos mais de um nêutron e estes ocasionar a fissão de outros átomos, teremos uma reação em cadeia ramificada de forma descontrolada e com um aumento repentino na temperatura devido a energia liberada, como exemplo nas bombas atômicas. Já em uma usina nuclear essa reação tem que ser controlada, caso contrário pode acontecer a mesma fatalidade de Chernobyl em 1986. Dentro dos reatores nucleares está o urânio enriquecido na forma de pequenas pastilhas chamadas de combustíveis e que fica no interior das barras de controle (MURA, 2010). Essas barras de controle estão juntos aos moderadores que tem a finalidade de absorver o excesso de nêutrons, fazendo com que em média apenas um nêutron participe da reação. Os moderadores mais comuns que podem ser usados em um reator nuclear é o grafite e água pesada (FERNANDES et al., 2021).

Não podemos esquecer da massa crítica que é necessário para que uma reação em cadeia se autossustente. Essa massa crítica depende de alguns fatores como:

- Pureza da amostra para que os nêutrons não sejam barrados por átomos não físsil;
- Geometria do material, pois é bem mais fácil um nêutron escapar de uma barra fina ao invés de uma esfera;
- Densidade do material, o que aumenta a probabilidade de ocorrência nas colisões entre nêutron e núcleo atômico.

Observando esses detalhes não é tão simples obter uma reação em cadeia autossustentada a nível de produzir uma bomba atômica, pois só o processo de purificação do material físsil é muito trabalhoso e requer equipamento altamente sofisticado, como na purificação do urânio por exemplo (ABRÃO; FRANÇA, 1970).

## 2.7 Fusão Nuclear

Fusão em química é a união de dois átomos com liberação extremamente enorme de energia, maior até mesmo que a reação de fissão. Para essa reação acontecer é necessário que a energia cinética dos núcleos seja grande o suficiente para vencer a barreira colombiana e assim ocasionar a fusão. Devido a barreira colombiana, a fusão ocasionada de forma intencional, acontece em átomos de núcleos leves como do hidrogênio e lítio, pois quanto maior o número de prótons mais energia será necessária. A reação de fusão acontece constantemente no sol, nas estrelas, onde para formar átomos de He-4 é necessário temperaturas em torno de 10 a 14 milhões de Kelvin (VARELLA, 2017). Em 1939 Hans Albrecht Bethe publicou a sua teoria sobre a energia que fazia as estrelas brilharem estava relacionado com a reação de fusão. O artigo foi publicado pelo nome de “Produção de energia nas estrelas” e relata que átomos de  ${}^1_1\text{H}$  se fundem em  ${}^1_1\text{H}^2$  e posteriormente em  ${}^2_2\text{He}^4$  (BETHE, 1939). No sol podem ocorrer as seguintes reações:

- ${}^1_1\text{H}^1 + {}^1_1\text{H}^1 \rightarrow {}^1_1\text{H}^2 + \beta^+ + \nu + 0,42 \text{ MeV}$
- ${}^1_1\text{H}^1 + {}^1_1\text{H}^2 \rightarrow {}^2_2\text{He}^3 + \gamma + 5,49 \text{ MeV}$
- ${}^2_2\text{He}^3 + {}^2_2\text{He}^3 \rightarrow {}^2_2\text{He}^4 + {}^1_1\text{H}^1 + {}^1_1\text{H}^1 + 12,86 \text{ MeV}$

A unidade Megaelétron-volt (MeV) é usada para medir valores muito baixo de energia, exemplo: 1 MeV corresponde a  $1,602177 \times 10^{-12} \text{ J}$ . O valor de 12,86 MeV é por átomos de He-4 formado. Em uma reação que envolve inúmeros átomos esse valor se torna altíssimo. Algumas reações já foram produzidas em laboratórios e até mesmo em testes de bombas atômicas como a de Hidrogênio. Exemplos de reações produzidas em laboratórios:

- ${}^1_1\text{H}^2 + {}^1_1\text{H}^2 \rightarrow {}^2_2\text{He}^3 + \text{n} + 3,2 \text{ MeV}$
- ${}^1_1\text{H}^2 + {}^1_1\text{H}^2 \rightarrow {}^2_2\text{H}^3 + {}^1_1\text{H}^1 + 4,0 \text{ MeV}$
- ${}^1_1\text{H}^2 + {}^1_1\text{H}^3 \rightarrow {}^2_2\text{He}^4 + \text{n} + 17,6 \text{ MeV}$

Há projetos sendo desenvolvidos para se conseguir a reação de fusão controlada para a produção de energia isento de gases poluentes, como o ITER “International Thermonuclear Experimental Reactor” que está sendo construído na França em parceria com vários países. A China além de estar envolvida com o ITER também tem projetos próprios nessa corrida de produção de energia através da fusão nuclear (WILTGEN, 2021). A intenção é converter átomos de deutério e trítio em plasma a elevadíssima temperatura, sendo controlados por poderosos ímãs na casa dos 100 milhões de graus, ocasionando a sua fusão, transformando-

os em núcleos de  $\text{He}^4$ , aproveitando esse calor para transformar água líquida em vapor para mover as turbinas gerando energia limpa em larga escala. O plasma é o quarto estado físico da matéria com apenas íons positivos gasosos e os elétrons livres, onde as colisões entre os núcleos poderão acontecer de forma efetiva, vencendo a barreira colombiana. A China em 2018 conseguiu essa façanha por 101,9 segundos (WILTGEN, 2021). Nessa maratona para a fusão controlada está sendo investido valores absurdos, o ITER por exemplo está em torno de 121 bilhões de dólares. Mas pode se dizer que não é nada se comparado com a promessa que em um futuro não muito distante se possa produzir energia limpa e de forma ilimitada.

## **2.8 Usos da Radioatividade – Produção de Bombas**

Após a descoberta da reação da fissão nuclear abriu corrida na produção de bombas atômicas. De início os EUA lideraram o rank principalmente com o projeto Manhattan iniciado em 1942. Esse fato foi em decorrência da segunda guerra mundial, onde foram lançadas duas bombas atômicas sobre o Japão dizimando milhares de pessoas.

### **2.8.1 PROJETO MANHATTAN**

Em 1942 os EUA, depois de entrar na segunda guerra mundial, em um cenário de poder armamentício deu início ao projeto de construção de bombas atômicas por fissão nuclear liderado por Enrico Fermi. O projeto teve que ser acelerado depois que Bohr se refugiou nos EUA por que estava sendo perseguido pelos nazistas. Assim que Bohr chegou, procurou Einstein a quem já tinha um certo conhecimento para avisar que os alemães tinham conhecimento sobre a reação de fissão e estava tentando produzir a primeira bomba atômica. Antes de Bohr sair da Dinamarca recebeu a visita de seu colega alemão Werner Karl Heisenberg, onde lhe entregou um suposto diagrama de um reator nuclear. Após análise, já nos EUA, verificou que esse diagrama era impróprio, mas ficou a dúvida se era realmente porque ainda não tinha conhecimento ou estavam tentando mascarar o andamento da produção da bomba (MERÇON; QUADRAT, 2004).

Esse projeto além de ultrapassar todos os valores já gastos em guerra, onde consumiu bilhões dos cofres dos EUA, também reuniu a maior concentração de cientista já visto para desenvolver um único projeto. Toda a pesquisa foi feita em um laboratório da Universidade de Chicago, quando em 02 de dezembro de 1942 foi testado com sucesso a fissão nuclear controlada

e autossustentada, chegando a produzir 200 W (TAVARES, 2019). Praticamente três anos depois, em julho de 1945 foi lançado sobre o deserto de Alamogordo no novo México a primeira bomba atômica como teste, a Trinity. Era constituída de  $\text{Pu}^{239}$  e liberou 23 GWh, equivalente a 20 mil toneladas de Trinitrotolueno - TNT.

Um mês depois do primeiro teste da bomba nuclear, no dia 06 de agosto de 1945 foi lançada sobre a cidade de Hiroshima a bomba Little Boy – menininho, sendo que seu material radioativo era de  $\text{U}^{235}$  enriquecido, e no dia 09 do mesmo mês a Fat Man – homem gordo, tendo como material físsil o  $\text{Pu}^{239}$ , agora o alvo era Nagasaki. Somando esses dois eventos, estima-se que mais de 300 mil pessoas perderam suas vidas no momento da explosão e ao passar dos anos em consequência de seus efeitos.

Figura 8 - Bomba Trinity



Fonte: <https://zheit.com.br/post/the-gadget-a-primeira-bomba-atmica>

Figura 9 - Littleboy e Fatman, bombas lançadas sobre Hiroshima e Nagasaki



Fonte: <https://www.al.sp.gov.br/alesp/banco-imagens/detalhe/?id=65778>

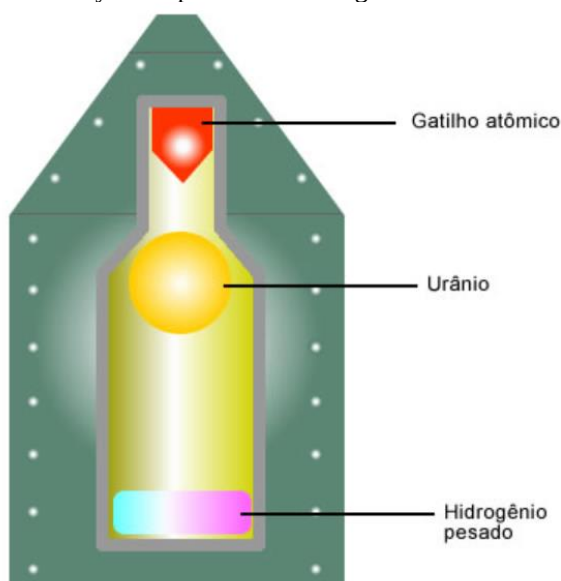
O mundo testou pela primeira vez de forma descomunal do poder de destruição de uma bomba atômica, onde vidas humanas foram tratadas como um objeto qualquer, sem valor moral ou sentimental.

### 2.8.2 BOMBA DE FUSÃO

Depois do Japão ter experimentado de forma brutal o poderio de aniquilação por bombas atômicas lançadas pelo EUA, outros países começaram a se preparar com armamentos desse tipo. Em 1949 os soviéticos testaram com sucesso a sua primeira bomba atômica por fissão. O que estimulou os americanos a produzir um novo tipo de bomba muito mais potente, a de Hidrogênio, que na verdade é uma reação de fusão nuclear. Para a época como seria possível fundir átomos de hidrogênio em hélio? Mesma reação que acontece no sol e nas estrelas sob elevadíssima temperatura. Agora sob o comando do húngaro Edward Teller e aproveitando os conhecimentos de Bethe, construiu a primeira bomba de fusão por nome de Ivy Mike, que ficou conhecida como de Hidrogênio. Foi testada com sucesso em 1952 no atol de Enewetak, situado na região central do Oceano Pacífico. A reação de fusão liberou incríveis 10,4 megatons, o mesmo que 10,4 milhões de toneladas de TNT. Para ocasionar a reação de fusão, é necessária uma reação primária de fissão para oferecer calor suficiente e fundir átomos de hidrogênio em hélio.



Figura 10 - A bomba Ivy Mike possuía dois estágios: 1º era de fissão, 2º de fusão.



Fonte: <https://bistury.wordpress.com/2012/06/04/a-ilha-que-desapareceu-em-segundos/>

No local da explosão abriu uma cratera de 55 metros de profundidade e 2 Km de diâmetro, e subiu uma nuvem de 20 Km de altitude em menos de 2 minutos.

Figura 11 - Bomba de fusão nuclear, Ivy Mike



Fonte: <https://autojournalism.com/top-10-nuclear-bomb-in-the-world/>

Os EUA realizaram vários testes de bomba de fusão e a mais sucedida chegou a incríveis 15 megatons. A antiga URSS também realizou testes bem sucedidos, e chegou a superar o rank no poder de destruição em uma única bomba, que ficou conhecida como Tsar.

O projeto inicial da Bomba Tsar era de 100 megatons, mas temendo seu poder de destruição caiu para 50, o equivalente a 50 milhões de toneladas de TNT. Após a detonação, o seu poder de destruição foi estimado em 54 megatons. A URSS testou no dia 30 de outubro de 1961 numa ilha em Nova Zembla, oceano Ártico (ÁLVARES; CRISTINA, 2018). A nuvem de poeira com sedimentos radioativos em formato de cogumelo atingiu 64 Km de altura e 35 de largura (NUCLEAR, [s.d.]). No local, solo, rocha virou magma. Tinha três estágios, primeiro uma bomba de fissão do tipo implosão, segundo era termonuclear, também de fissão e dependia das condições da implosão primário para assim oferecer temperaturas ideais para o terceiro e último estágio que é a fusão do deutério e trítio em hélio.

Figura 12 - Bomba Tsar



Fonte: <http://www.nuclearweaponarchive.org/Russia/TsarBomba.html>

Ela possuía alguns inconvenientes que não a tornava útil em uma guerra. Tinha oito metros de comprimento, dois metros de diâmetro e sua massa era em torno de 30 mil Kg, o que deixava o avião lento e fácil de ser abatido por seus inimigos. Os países desde então passaram a se preocupar na corrida por mísseis muito mais rápidos e com longo alcance, o que torna mais difícil de ser interceptado por seus opositores. Toda essa corrida por armamento é apenas para mostrar que tem maior poder de destruição e assim impor medo e oprimindo os países mais pobres e até mesmo no sentido de se beneficiar em trocas comerciais.

Abaixo há algumas informações sobre as bombas comentadas:

Tabela 2 - Breve descrição de bombas de reação nuclear

| Bomba      | Tipo de reação | Material físsil e massa                        | Comprimento e largura                         | Massa total | Poder de destruição | Informações adicionais                                                                 |
|------------|----------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| Trinity    | Fissão         | 6 Kg de $\text{Pu}^{239}$                      |                                               |             | 20 mil quilotons    | Primeiro teste de uma bomba atômica lançada no Novo México.                            |
| Little Boy | Fissão         | 60 Kg de $\text{U}^{235}$                      | 3 m de comprimento e 72 cm de diâmetro.       | 4400 Kg     | 16 mil quilotons    | Lançada sobre Hiroshima, deixando 70 mil mortes na hora e mais 130 nos anos seguintes. |
| Fat Man    | Fissão         | 8 Kg de $\text{Pu}^{239}$                      | 2,34 m de comprimento e 1,52 m de diâmetro    | 4500 Kg     | 21 mil quilotons    | Lançada sobre Nagasaki, deixando 40 mil mortos no local e 100 nos anos seguintes.      |
| Ivy Mike   | Fissão e Fusão | Urânio – fissão.<br>Deutério e trítio – fusão. | 4,5 metros de comprimento e 1,35 de diâmetro. | 10500 Kg    | 10,4 megatons       | Apenas teste.                                                                          |
| Tsar       | Fissão e Fusão | Urânio – fissão.<br>Deutério e trítio – fusão. | 8 metros de comprimento e 2 de diâmetro.      | 27000 Kg    | 50 megatons         | Apenas teste.                                                                          |

## 2.9 Usos da Radioatividade - Fins Pacíficos

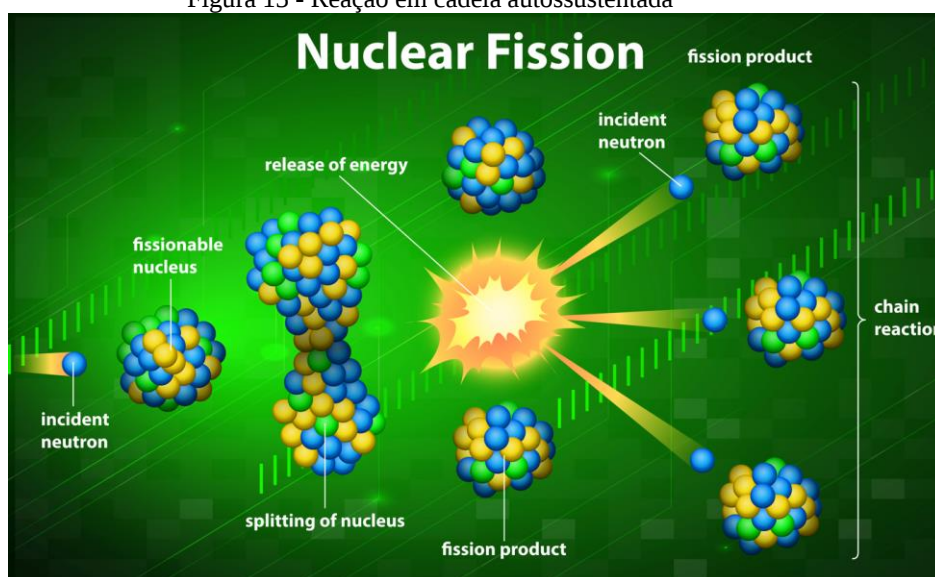
A radioatividade é sempre lembrada pelo seu lado obscuro, talvez porque os conhecimentos sobre reações de fissão e fusão tenha sido descoberto no momento em que o mundo estava vivendo uma crise de poder militarista, podendo dizer que seu uso ficou praticamente, entre 1930 e 1965, voltado na produção de armas nucleares. Mas não demorou para perceber suas inúmeras vantagens e a cada dia que passa a humanidade se beneficia de suas aplicações de forma benéficas.

### 2.9.1 ENERGIA NUCLEAR

No início da descoberta da radioatividade, Soddy em 1908 já comentava que o Rádio liberava uma enorme quantidade de energia, uma diferença extremamente grande quando comparado as reações de que tinham conhecimento até aquele momento. Após o fim da Segunda Guerra Mundial, os cientistas começaram a fazer pesquisa na área e vários reatores que antes foram projetados na construção de bombas passaram a produzir energia como testes na intenção de obter uma nova forma de geração de eletricidade.

O primeiro reator com produção de energia elétrica para consumo da população foi inaugurado em 1954 na Obninsk na Rússia com capacidade de 5 MWh de potência (TAVARES, 2019). Um reator nuclear para produzir energia de forma adequada é necessário que a reação de fissão seja controlada e autossustentada. E para obter uma reação autossustentada é preciso que pelo menos um dos nêutrons emitidos pela fissão seja capturado por outro núcleo, e esse novo nêutron que foi liberado na reação provoque a fissão de outro núcleo e assim sucessivamente.

Figura 13 - Reação em cadeia autossustentada



Fonte: <https://br.depositphotos.com/36146839/stock-illustration-nuclear-fission.html>

A primeira usina nuclear no Brasil, a ter início de construção, foi em Angra dos Reis, no Rio de Janeiro em 1971, a Angra I, com tecnologia americana (PASSOS et al., 2011). Depois de duas tentativas frustradas, foi inaugurada em 1985 com capacidade de 640 MWh.

Ainda no final dos anos 70, agora com tecnologia alemã, deu início a construção de Angra II, sendo finalizada em 2000 com produção de 1350 MWh. Angra III ainda está em construção e prevê uma produção de 1405 MWh (ELETRONUCLEAR, [s.d.]).

Figura 14 - Construção de Angra III



Fonte: <https://www.eletronuclear.gov.br/Nossas-Atividades/Paginas/Angra-3.aspx>

Há uma reserva extremamente grande de material físsil para produzir energia em relação ao petróleo que poderá se esgotar em breve. Alguns pontos positivos na produção de energia por fissão – não emite gases poluentes, exige pouca área em sua construção. E como nem tudo é perfeito existe pontos negativos como o lixo nuclear que vai se acumulando ao longo dos anos, perigo de acontecer um acidente como em Chernobyl na Ucrânia em 1986 que até hoje o lugar é inabitável.

A energia nuclear tem diversas aplicações. Um bom exemplo é nos submarinos nucleares, onde são mantidos submersos por mais tempos devido ao reator nuclear não utilizar oxigênio na produção de energia.

### 2.9.2 MEDICINA NUCLEAR

O uso da radioatividade para fins pacífico não é novo, pode ser dizer que vem desde quando descobriu a radioatividade. A diferença é com investimentos bem menores, o que atrasou em muito o andamento para novas descobertas. De certa forma, até mesmo excêntrico, alguns medicamentos contendo rádio ou urânio radioativos nos anos 1920 começaram a ser comercializados com a promessa para a cura de várias enfermidades ou como produtos para de beleza. O primeiro traçador biológico foi proposto em 1913 pelo químico George Charles de Hevesy usando o  $\text{Pb}^{210}$  radioativo no nitrato de chumbo –  $\text{Pb}^{210}(\text{NO}_3)_2$ . Ele conseguiu rastrear e

medir a radioatividade e o papel do  $\text{Pb}^{210}$  pelas plantas e animais (ROBILOTTA, 2006). Em 1943 foi agraciado com o prêmio Nobel de Química por essa descoberta.

Após a Segunda Guerra Mundial as atenções se voltaram sobre o uso da radioatividade na área da saúde. Em 1952, os reatores nucleares, além de bombas e produção de energia, passaram a ter funções na medicina como produzir os primeiros radiofármacos com a finalidade no tratamento de câncer (TAVARES, 2012). Também foi possível obter as primeiras imagens por substâncias radioativas pelo corpo humano. Um radiofármaco é um medicamento biológico que contém um elemento radioativo com um tempo de  $\frac{1}{2}$  vida relativamente curto e que é reconhecido e absorvido pelo organismo como semelhante a alguma substância que é produzida por algum órgão ou tecido.

Hoje existem vários radiofármacos que podem ser utilizados no tratamento de células cancerígenas ou como traçadores para obter imagens detalhas em Cintilografias. Para diagnóstico de um possível tumor cancerígeno, é injetado no paciente por via oral ou venal radiofármacos como  $\text{I}^{123}$  e  $\text{Tc}^{99}$  em exames de Cintilografias, o  $\text{F}^{18}$  em Termografia por emissão de pósitrons – PET. Em tratamento de câncer os radiofármacos são usados para serem absorvidos por um determinado órgão e assim agir sobre as células cancerígenas. Os mais utilizados nesse caso são:  $\text{I}^{131}$ ,  $\text{Sm}^{153}$ ,  $\text{P}^{32}$ ,  $\text{Ra}^{223}$ ,  $\text{In}^{111}$ ,  $\text{Ga}^{67}$ ,  $\text{Mo}^{99}$ , entre outros. Eles atacam as células cancerígenas emitindo radiações  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ . O  $\text{I}^{131}$  por exemplo é um beta emissor.

### 2.9.3 AGRICULTURA

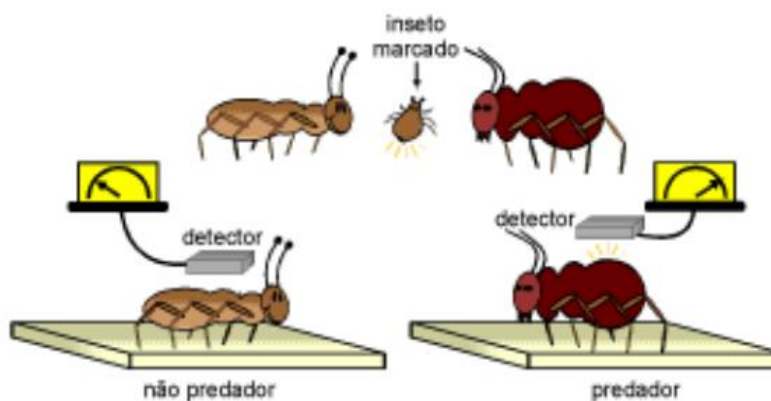
A radioatividade tem diversas aplicações na agricultura e George Charles de Hevesy é pioneiro nessa área. Em 1913 desenvolveu o primeiro traçador radioativo usando o  $\text{Pb}^{210}$  para acompanhar o metabolismo de plantas. Hoje uma planta que absorve um determinado traçador radioativo pode até ser radiografado, observando o que é absorvido pelas raízes, folhas, caules e frutos, e assim obter informações sobre qual tipo de nutriente a planta necessita para se desenvolver melhor (CARDOSO, 2007). Traçadores radioativos também podem ser usados em insetos como em abelhas, formigas, para acompanhar seu comportamento, o que comem, por quem são predados, onde moram.

A esterilização de machos por radiação  $\gamma$  para competir com outros normais, reduzindo ou até mesmo eliminando por completo pragas das mesmas espécies (HAMMARSTRON et al., 2017). Essa técnica está sendo empregado cada vez mais por agricultores, tendo vários pontos positivos, como eliminar o uso de agrotóxico que seria usado para esse fim, evitando a poluição dos alimentos, solo, água e do ar.

Mutações em plantas também podem ser induzidas por radiação para desenvolver novas espécies mais resistentes a pragas, ao clima e até mesmo em melhorar o rendimento na produção.

O emprego de radiar alimentos vem sendo usado desde 1963 com intuito de prolongar por mais tempo os produtos nas prateleiras de venda ao consumidor. A radiação ionizante, a  $\gamma$ , retarda o brotamento de tubérculos e bulbos e elimina insetos e microrganismos que iriam deteriorar em poucos dias os alimentos. Os principais radioisótopos empregados nessa técnica é o  $\text{Co}^{60}$  e o  $\text{Cs}^{137}$ .

Figura 15 - Inseto marcado por radioisótopo para identificar por quem é predado. Após identificar, são liberados no local insetos predadores para ajudar a combater os indesejados.



Fonte: <https://www.gov.br/cnen/pt-br/material-divulgacao-videos-imagens-publicacoes/publicacoes-1/aplicacoesdaenergianuclear.pdf>

Figura 16 - A direita, bulbo que foi irradiado com boa qualidade para consumo após cinco meses na prateleira.

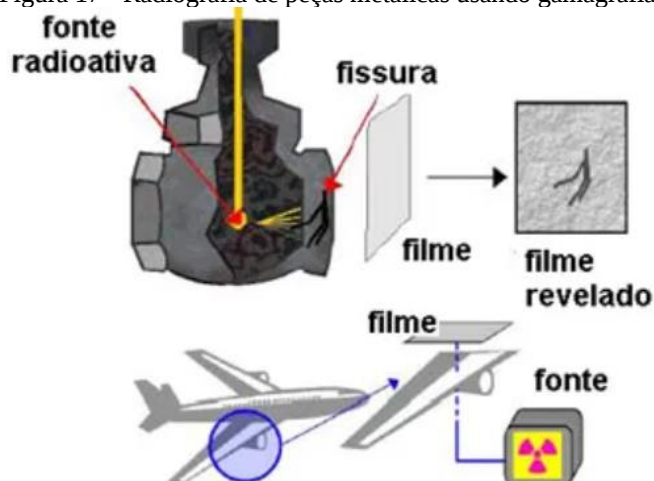


Fonte: <https://empeaconsultoria.com.br/irradiacao-de-alimentos/>

#### 2.9.4 INDÚSTRIA

Na indústria a radioatividade tem inúmeras aplicações. Traçadores radioativos também são usados nas indústrias para mapear líquidos e fluídos subterrâneos. A gamagrafia é fundamental para descobrir possíveis fissuras nas asas e turbinas de aviões, que consiste na técnica de radiografia detalhada através de raios  $\gamma$  (SOUZA; OLIVEIRA; SIMONETTI, 2010).

Figura 17 - Radiografia de peças metálicas usando gamagrafia,



Fonte: <https://www.preparaenem.com/quimica/radioatividade-na-industria.htm>

A Radioesterilização por meio de radiação  $\gamma$  cada vez mais está sendo empregado como um meio altamente seguro, eficiente, rápido e econômico. Um bom exemplo é nos itens hospitalares como bisturis, pinças, e até mesmo nos itens descartáveis como luvas, seringas, agulhas, evitando possíveis contaminações onde é levado o lixo hospitalar.

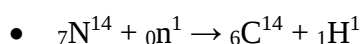
### 2.9.5 ARQUEOLOGIA

A Arqueologia é uma ciência que investiga o passado da zoologia e da botânica, usando diversos meios como as pinturas rupestres, utensílios produzidos por algumas comunidades, restos de fóssil. Aqui o uso da radioatividade também se faz presente, sendo de extrema importância para descobrir a idade de um determinado fóssil, como dos dinossauros. Para fósseis com cerca de até 70 mil anos de idade, utiliza-se o carbono-14 ( $C^{14}$ ) radioativo, e acima o mais comum é o potássio-40 ( $K^{40}$ ). O  $K^{40}$  é radioativo e ao longo dos anos se transforma no argônio-40 ( $Ar^{40}$ ) que é estável, sendo possível datações de até 4,5 bilhões de anos (CRUZ, 2002).

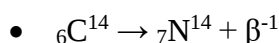
Em 1949 o químico norte-americano Willard Frank Libby desenvolveu o método da datação do  $C^{14}$ , hoje muito usado para descobrir a idade de fósseis, sendo que ele foi agraciado com o prêmio Nobel de Química em 1960 por essa descoberta (FRANCISCO; LIMA; ARÇARI, 2002). Libby percebeu que a quantidade de  $C^{14}$  presente nos seres vivos, animais ou vegetais provenientes do dióxido de carbono radioativo –  $C^{14}O_2$  era a mesma comparada com o ar atmosférico. A taxa de absorção e decomposição do  $C^{14}O_2$  se mantém constante nos seres vivos e que após a morte começa a se desintegrar, sendo que a sua  $\frac{1}{2}$  vida é de 5730 anos.

No Brasil, o fóssil humano feminino que foi encontrado em uma gruta de Lagoa Santa – Minas Gerais em 1970 foi utilizado o método do  $C^{14}$  para descobrir a sua idade (ARAÚJO, 2022), sendo o mais antigo na América do Sul, com cerca de 12500 a 13000 anos. Outro exemplo é o Sudário de Turim, que supostamente era o manto que cobriu o corpo de Jesus Cristo, e que após análise do  $C^{14}$ , o linho presente tinha crescido entre 1250 e 1400 dC. E no caso confirmando ser uma fraude esse manto.

O  $C^{14}$  é formado nas camadas superiores da atmosfera, onde átomos de nitrogênio-14 ( $N^{14}$ ) são bombardeados por nêutrons vindo dos raios cósmicos.



Depois que o  $N^{14}$  se transforma no  $C^{14}$ , este reage com o oxigênio ( $O_2$ ) presente na atmosfera formando o  $C^{14}O_2$  radioativo, sendo incorporado nos vegetais através da fotossíntese e nos animais pela alimentação. Após a morte começa o processo inverso, um nêutron se transforma em um próton com liberação de uma partícula  $\beta^-$ .



Como a concentração de  $C^{14}$  em um ser vivo permanece a mesma, é só fazer a comparação do que resta em um fóssil e encontrar a sua idade pelo tempo de  $\frac{1}{2}$  vida. Fóssil com menos de 100 anos não é possível usar a datação do  $C^{14}$  por não ter sofrido desintegrações suficientes para a sua determinação. Hoje há muitos questionamentos sobre esse método, se é realmente seguro por dizer que a concentração de  $C^{14}$  permanece a mesma no momento atual.

A proporção de átomos de  $C^{14}$  presente em um ser vivo é de 1 para  $1 \times 10^{12}$  do carbono estável, e um grama apresenta em torno de 14 desintegrações por minutos – (dpm) (FARIAS, 2002). Sendo que o processo de decaimento radioativo é de ordem um, e podemos usar a equação cinética de primeira ordem, onde a concentração de um determinado elemento radioativo em relação ao tempo será a metade após um período de  $\frac{1}{2}$  vida. Ex.;

- $\ln[A]_t = -kt + \ln[A]_0$

Podemos substituir a  $[A]_t$  como sendo a metade de  $[A]_0$

- $[A]_t = \frac{1}{2} [A]_0$

\* $[A]_t \rightarrow$  concentração do elemento radioativo após um determinado tempo;

\* $[A]_0 \rightarrow$  concentração inicial do elemento radioativo

\* $[A]_t \rightarrow$  pode ser substituído por  $[N]_t$ , que representa a concentração do número total de núcleos radioativos em uma amostra

\* $\ln \rightarrow$  logaritmo neperiano de base  $e$

\* $e \rightarrow$  número de Euler

\* $k \rightarrow$  constante de velocidade

\* $t_{1/2} \rightarrow$  tempo de meia vida. É uma constante específica de cada elemento, sendo calculada experimentalmente em laboratório

\* $t \rightarrow$  tempo transcorrido

- $\ln \frac{1}{2} [A]_0 = -kt_{1/2} + \ln [A]_0$
- $\ln \frac{1}{2} [A]_0 - \ln [A]_0 = -kt_{1/2}$
- $\frac{\ln \frac{1}{2} [A]_0}{[A]_0} = -kt_{1/2}$
- $\frac{\ln \frac{1}{2} [A]_0}{[A]_0} = -kt_{1/2}$
- $\ln \frac{1}{2} = -kt_{1/2} \rightarrow -\ln \frac{1}{2} = kt_{1/2} \rightarrow \ln 2 = kt_{1/2}$
- $t_{1/2} = \frac{\ln 2}{k} \rightarrow t_{1/2} = \frac{0,693}{k}$

Para reações de ordem 0  $\rightarrow t_{1/2} = \frac{[A]_0}{2k}$ , ordem 2  $\rightarrow t_{1/2} = \frac{1}{k[A]_0}$ . Nesses dois casos o tempo de  $\frac{1}{2}$  vida depende da natureza da reação e da concentração inicial do reagente, enquanto de ordem 1  $\rightarrow t_{1/2} = \frac{0,693}{k}$  não importa a quantidade da concentração inicial do reagente, apenas da natureza da reação, ou seja, do elemento químico radioativo.

Sabendo o tempo de  $\frac{1}{2}$  vida do elemento radioativo é possível calcular a sua constante (o tempo de  $\frac{1}{2}$  vida é calculada experimentalmente em laboratório). Ex.;

- Estrôncio-90 –  $\text{Sr}^{90}$  tem sua  $\frac{1}{2}$  vida de 28,8 dias:  $k = \frac{0,693}{28,8} = 0,024 \text{ dias}^{-1}$ ;
- Radônio-222 –  $\text{Rn}^{222}$  tem sua  $\frac{1}{2}$  vida de 3,8 dias:  $k = \frac{0,693}{3,8} = 0,182 \text{ dias}^{-1}$ ;
- $\text{C}^{14}\text{O}_2$  tem sua  $\frac{1}{2}$  vida de 5730 anos:  $k = \frac{0,693}{5730} = 0,00012 \text{ anos}^{-1}$  ou  $1,21 \times 10^{-4} \text{ anos}^{-1}$ .

Uma aplicação fundamental da datação do  $\text{C}^{14}$  foi na comprovação da idade de vários pergaminhos encontrados em 1947 pelo pastor Mohamed Adh-Dhib quando procurava por uma cabra nas cavernas de Hirbet Qumran, perto do Mar Morto em Israel (FARIAS, 2002). Após a análise criteriosa do  $\text{C}^{14}$ , percebeu que sua atividade era de 11 dpm/g, sendo que o mesmo em um ser vivo é de 14 dpm/g. Usando a fórmula:

- $\ln[A]_t = -kt + \ln[A]_0$
- $\ln[11]_t = -1,21 \times 10^{-4} t + \ln[14]_0$
- $\ln[11]_t - \ln[14]_0 = -1,21 \times 10^{-4} t$
- $2,397 - 2,639 = -1,21 \times 10^{-4} t$
- $-0,242 = -1,21 \times 10^{-4} t$
- $t = \frac{0,242}{1,21 \times 10^{-4}} = 2.000 \text{ anos}$

Assim foi comprovada a autenticidade de que os pergaminhos remontam o tempo e vida de Cristo. Podemos identificar o total de massa que resta de um elemento radioativo em um fóssil se soubermos a sua idade. Exemplo fictício: Um dinossauro vivo possui 1 kg de  $C^{14}$ . Quanto restará de  $C^{14}$  após 11460 anos de sua morte?

- $\ln[A]_t = -kt + \ln[A]_0$
- $\ln[A]_t = -1,21 \times 10^{-4} \times 11460 + \ln[1]_0$
- $\ln[A] = -1,386 + 0$ . A seguir temos que eliminar o  $\ln$  elevando  $e$  a potência em ambos os lados
- $e^{\ln[A]} = e^{-1,386}$ . Ao elevar  $e$  em ambos os lados, o  $\ln$  se cancela
- $e^{\ln[A]} = e^{-1,386}$
- $[A]_t = 0,25 \text{ kg}$

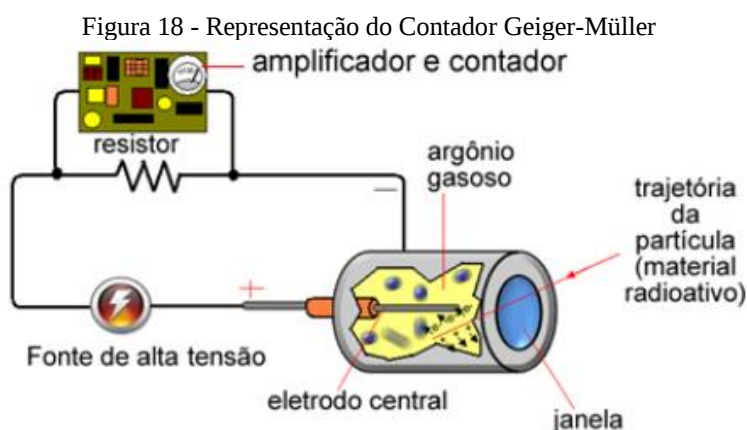
Para esse resultado podemos proceder de outra maneira. Sabendo da idade do fóssil, podemos dividir esse valor pelo seu tempo de  $\frac{1}{2}$  vida. Ao fazer isso irá encontrar o total de  $\frac{1}{2}$  vidas –  $11460/5730 = 2 \frac{1}{2}$  vidas. Se a cada  $\frac{1}{2}$  vida, a concentração inicial cai pela metade, ao final teremos 0,25 kg, chegando ao mesmo resultado anterior.

A fórmula anterior é viável quando quer saber o que resta de massa do elemento radioativo com valores um pouco mais elevados de  $\frac{1}{2}$  vidas.

### 3 DETECTOR DE RADIAÇÃO

#### 3.1 Funcionamento do contador Geiger-Müller

Seu funcionamento consiste basicamente de um tubo metálico que serve como cátodo (se o tubo for de vidro pode usar o grafite como cátodo), um fio condutor bem no centro e isolado do cátodo que desempenha a função do ânodo e que está ligado a uma alta tensão elétrica. Esse tubo, que tem o nome de “tubo Geiger-Müller”, possui gases inertes a baixa pressão e está conectado a um sistema de amplificação e registro de sinal (GORSKI; BRUZINGA; LIMA, 1990). Para a entrada das partículas  $\alpha$  e  $\beta^-$ , pode se usar folha de mica que é colada ao tubo, e lembrando que o contador Geiger-Müller também consegue identificar a presença das radiações  $\gamma$  e os raios-X.



Fonte: <http://www2.decom.ufop.br/imobilis/instrumentacao-inteligente-transdutores-parte-03/>

Os gases inertes e a pressão a ser utilizadas dentro do tubo Geiger-Müller depende da radiação a ser identificada.

Por exemplo, para a detecção de elétrons, prótons e partículas alfa é comum o emprego de Argon e álcool a uma pressão de 10 cmHg uma vez que uma partícula ionizante cuja trajetória seja da ordem de 1 cm dentro do contador produz na pior das hipóteses vários pares de íons que dão origem as avalanches.

No caso de contadores destinados a medida de radiação X ou gama escolhe-se o gás em função da energia da radiação a ser detectada sendo comum o emprego de gases de Kripton e Xenon. (SEVEGNANI, 1988, p. 25).

Ao entrar radiação dentro do tubo o gás ali presente é ionizado, formando íons e elétrons livres, dessa forma o campo elétrico gerado entre os eletrodos acelera os íons positivos rumo ao cátodo, já os elétrons vão em direção ao ânodo. Na região do ânodo ocorre a chamada

“avalanche”, onde os elétrons ganham energia e ioniza moléculas de gases, e este evento vai acontecendo por todo o fio. Isso produz uma única ocorrência ionizante e acaba por conceber um pulso elétrico, que é apontado no circuito do contador.

Figura 19 – Dispositivo de radiação antigo feito por Hans Geiger, e em, 1932 foi usado por James Chadwick na descoberta do nêutron.



Fonte: <https://www.scienceandsociety.co.uk/results.asp?image=10313942&itemw=4&itemf=0003&itemstep=1&itemx=2>

Figura 20 - Contador Geiger-Müller muito usado até os anos 90



Fonte: <https://www.admnucleartechnologies.com.au/geiger-counters>

Hoje podemos contar com vários tipos de contadores Geiger-Müller e com preços bem elevados. Um dispositivo que está relativamente acessível é a Plataforma Arduino e pode ser programado para identificar radiações, usando como material didático de baixo custo nas escolas de Ensino Médio ou até mesmo em Universidades.

### **3.2 Plataforma Arduino**

O Arduino é uma Plataforma que possui diversas funcionalidades, o que permite o desenvolvimento de software. É projetada para ser operada internamente, sendo executada através de códigos binários. Foi criado em 2005 por um grupo de pesquisadores na Itália - Massimo Banzi, David Cuartielles, Tom Igoe, David Mellis – com a finalidade de produzir ferramentas de programação que servisse na aplicação de vários tipos de projetos como em artes, automação e robótica e com preço mais acessível com uso principalmente nas escolas (TORRENTE, 2013). Hoje a sua aplicabilidade superou muitas vezes os objetivos da criação do projeto.

A Plataforma Arduino é formada por uma placa de circuitos com entradas e saídas para um microcontrolador que regula a voltagem automaticamente – AVR, sendo formado por um microprocessador com memórias que podem ser programadas de acordo com as necessidades de cada objetivos de trabalho (CAVALCANTE; TAVOLARO; MOLISANI, 2011). A placa Arduino pode ser expandida com facilidades por outros dispositivos conforme a demanda do projeto (FERRONI et al., 2015). A sua utilização tem vários pontos positivos como:

- Baixo custo – dependendo do projeto pode ficar em torno de R\$ 50,00;
- Pode ser usado em várias plataformas – Microsoft Windows, Linux, Mac OS X;
- É livre – qualquer pessoa pode construir/modificar o seu próprio software;
- Linguagem simples – não requer conhecimento aprofundado em programação, ou seja, fácil o manuseio para amadores e ao mesmo tempo muito útil por usuários “natos digitais” (RIOS et al., 2012).

Hoje existe vários modelos de placas e com uma infinidade de aplicações, isso porque é baseado no conceito “open-source” – código aberto, que podem ser utilizados livremente. Pessoas de toda a parte do mundo tem acesso com facilidade a essa placa versátil e dinâmica.

## 4 REFERENCIAL TEÓRICO

### 4.1 David Paul Ausubel

David Paul Ausubel (1918 a 2008), filho de imigrantes judeus tornou-se um psicólogo norte-americano. Em 1939 obteve o diploma de bacharel com especialização em psicologia pela Universidade de Pensilvânia – EUA, e em 1943 se formou em medicina psiquiátrica, agora na Universidade de Middlesex da Inglaterra. O título de mestrado e doutorado em psicologia do desenvolvimento conseguiu em 1950 pela Universidade de Columbia, depois de presta serviço Militar de Saúde Pública nos EUA. Ausubel cresceu revoltado com a educação que recebeu quando criança, certamente por ser pobre e como era filho de imigrantes não tinha uma história pessoal que os seus educadores considerassem como adequado para um cidadão americano (CAMELO, 2018). Boa parte da sua vida esteve voltada para a Psicologia Educacional, sempre trabalhando a estrutura cognitiva. Ficou reconhecido mundialmente quando publicou a “Teoria da Aprendizagem Significativa” em 1963. Cognitivista, defendia que o indivíduo aprende fazendo relação com o conhecimento já adquirido, ampliando e reconfigurando a sua aprendizagem. A aprendizagem significativa, na teoria de Ausubel, ocorre quando uma ideia/conceito/informação se relaciona aos conhecimentos prévios já existentes na estrutura cognitiva do aprendiz.

Trabalhar em sala de aula com alunos para estabelecer a aprendizagem significativa é possível desde que concilie uma relação entre o conhecimento já adquirido do aluno em sua vivência e com o que se pretende alcançar ao trabalhar um determinado conceito. Ausubel defende que “quanto mais sabemos mais se aprende” e que o fator mais importante é o que se conhece (FERNANDES, 2011). Até antes de Ausubel fazer suas publicações em 1963 sobre a aprendizagem significativa prevaleciam as ideias comportamentalistas, e teve sua ascensão até por volta de 1980 (MÖRSCHBÄCHER, 2014).

Os comportamentalistas julgavam que o conhecimento é uma descoberta e deveria ser transmitido por alguém superior ao aprendiz como o professor que era dito o dono da verdade. O aluno deveria ser moldado conforme as necessidades sociais, sendo que o seu material de estudo era programado e controlado pelo professor e ao final era feito uma prova como avaliação e o resultado o seu passaporte para a próxima etapa ou sua retenção. A metodologia era baseada no estímulo/resposta do indivíduo, sempre trabalhando a memorização, ou seja, aluno passivo. Nessa linha de raciocínio o conhecimento é fruto da observação e experimentação, só aprende de forma imposta e repetida (GOMES et al., 2010). Algumas práticas comportamentalista era

apresentar as informações e em seguida aplicar um questionário, sendo os alunos recompensado/penalizado de alguma maneira. Resposta certa podendo ser elogios/notas maiores, errada sendo obrigado a retornar o que foi imposto, até chegar no nível que o professor julgava ser adequado e assim prosseguir para a etapa seguinte.

Os nossos alunos possuem um conhecimento que vem do seu dia a dia e para isso temos que primeiro ter um mapa conceitual de como trabalhar determinado conteúdo em sala de aula, depois prosseguir de forma mais eficaz na aplicação do tema que se pretende esboçar, e assim abordar as informações que sejam pertinentes, de como tirar proveito para a sua vida pessoal e profissional, e ao final conseguir a aprendizagem significativa.

Lembrando que é o aluno que deve estar estimulado a entender, pois de nada adianta preparar teoricamente a melhor aula, com materiais adequados, sem a mínima vontade de participar e ganhar novos conhecimentos que podem surgir à cerca do debate (FERNANDES, 2011). O aluno não pode ser um mero receptor passivo por meio de uma aprendizagem mecânica que ficam com as informações dentro da mente sem ter uma conexão cognitiva e que não esteja ligado a conceito subsunçor específico (BIASOTTO; FIM; KRIPKA, 2020).

A aprendizagem significativa é quando uma nova informação se ancora a um conceito já efetivado. Os aspectos relevantes da estrutura cognitiva que servem de ancoradouro para a nova informação são chamados “subsunçores” (MOREIRA, 2010).

Este aspecto já existente na estrutura cognitiva e que pode ser um conceito, uma proposição, uma imagem, um símbolo, enfim um conhecimento específico, com pelo menos alguma clareza, estabilidade e diferenciação é o que se chama de subsunçor. A estrutura cognitiva seria, então, um conjunto de subsunçores e suas inter-relações. A disponibilidade de subsunçores adequados (i.e., especificamente relevantes) é condição necessária para a aprendizagem significativa (mas não suficiente, pois o aprendiz deve apresentar também uma atitude de relacionar os novos conhecimentos aos conhecimentos prévios) (MOREIRA, 2016, p.32).

Muitos conteúdos trabalhados em salas de aulas não têm nenhuma conexão e são totalmente arbitrários e dessa forma acaba por alojar uma aprendizagem mecânica sem nenhum domínio, sendo esquecido rapidamente, exceto se for muito repetido, não tendo utilização para a sua vivência. Quando um novo conceito se liga a um conhecimento prévio estimulando a sua forma de pensar, passa a ter uma essência totalmente diferente e ocorre a aprendizagem significativa (AQUINO; CHIARO, 2013).

Para haver uma relação de interação com a estrutura cognitiva entre uma informação já existente e uma nova, deve-se estabelecer uma assimilação adequada e disposta, que tenha

realmente alguma ligação entre ambas, criando um vínculo de novos conhecimentos mais organizado.

De acordo com as teorias de Ausubel, a aprendizagem receptiva é aquela que acontece dentro da sala de aula e que pode ser de várias formas como através de livros, vídeos, pesquisa na internet, entre outras, mas que será significativa se o material e a forma do professor trabalhar for potencialmente significativo e que o aluno esteja envolvido e motivado interiormente em adquirir novos conhecimentos de forma a relacionar de maneira não-arbitrária (MOREIRA, 2016). Na aprendizagem por descoberta é o próprio aluno quem irá buscar o conteúdo e somente será significativo se estabelecer alguma conexão com os subsunçores já existentes na estrutura cognitiva. Em ambas as aprendizagens, por recepção e por descoberta, somente será significativa se o novo conceito integrar de forma não-arbitraria e não-literal aos subsunçores já existentes, e quando não empregada de forma adequada tem-se a aprendizagem mecânica. Na maior parte a aprendizagem receptiva ocorre na escola, e por descoberta fora do contexto escolar. Se considerar idade, a aprendizagem por descoberta ocorre na pré-escola e após essa fase, a partir do ensino fundamental, a aprendizagem por recepção passará a dominar (MOREIRA, 1999).

O professor deve ponderar de vários fatores em que o aluno está inserido como contextos econômicos, sociais, ideológicos, entre outros. Quando não relacionados com sua vivência pode afetar na qualidade de aprendizagem, visto que muitas das vezes acaba por não dar uma devida atenção para as dificuldades dos alunos, tratando todos de forma homogênea, se esquecendo de suas peculiaridades e por fim condenando a aprendizagem significativa.

A questão em ter o capricho da não arbitrariedade é trabalhar um certo conteúdo e que o torne elencados com a estrutura cognitiva do aluno com propósito de motivar e elevar o nível de sua atenção. Esse relacionamento remete em levar em consideração o que o aluno trás de “bagagem” ampliando a estrutura cognitiva, interagindo os novos conceitos com os já existentes (PUHL; MÜLLER; LIMA, 2020). A percepção do professor é fundamental quanto ao plano de aula, na análise da prévia do conteúdo a ser abordado e que vai transmitir, pois nem sempre o que está posto nos livros educacionais ou algo do gênero está de acordo com a necessidade peculiar do aluno, onde pode atrapalhar a interação cognitiva (MOREIRA, 2011a). O “espírito” da aprendizagem significativa deve-se relacionar a conceitos já existentes, aos subsunçores, de diversas formas e significados.

Um material de ensino/aprendizagem para ser potencialmente significativo deve conter dois fatores indispensáveis para a sua aplicação: a natureza do material que deve ser pertinente com a realidade do aprendiz e a estrutura cognitiva do mesmo. Esse material deve ter significado lógico e que se relacione de forma substantiva e não-arbitrária e nem aleatória, e interaja com a

estrutura cognitiva do aprendiz, ligando aos subsunçores específicos (MOREIRA, 1999). Nosso conhecimento é organizado de forma hierárquica. Quando um novo tema/conteúdo é abordado, a estrutura cognitiva se reorganiza. Exemplo: Sobre o Tema Radioatividade que tem vários subtópicos, e quando o professor vai trabalhar em sala de aula, os seus alunos de início podem pensar que não tem conhecimento nenhuma sobre ele, até que começa a surgir conceitos que vão interagir com os seus subsunçores do tipo Usina Nuclear – certamente irá relacionar com Usinas Hidrelétricas ou Termoelétricas que são mais típicas no Brasil, ou até mesmo com outros tipos de usinas como as de Açúcar e Alcool. As reações de fusão com as bombas atômicas. Nesse momento começa a assimilação de conceitos e os subsunçores vão sendo modificados e com maior capacidade de ancorar cada vez mais novas informações/conceitos e são expandidos gradativamente.

A assimilação de conteúdo para ser potencialmente significativo deve haver a revisão do material pelo aluno para que ocorra mudança na sua estrutura cognitiva (NETO, 2006). A revisão é uma estratégia de ações mentais e comportamentais que oportuniza ao aluno condições de enriquecer seus subsunçores sem a intervenção do professor, e também assegura uma melhor compreensão por parte do conteúdo que antes não havia assimilado com clareza.

A revisão propicia condições de focalizar significados antes despercebidos e aumenta a clareza e o índice de discriminabilidade do conteúdo que está sendo aprendido para com o conteúdo preexistente relacionado. Além disso, para significados já assimilados, a revisão enriquece a sua estabilidade (consolidação), melhorando a força de dissociação dos mesmos (NETO, 2006).

Quando um tema/assunto/informação se ancora a um subsunçor contribuindo para um maior enriquecimento por meio da associação de um novo material aos conhecimentos prévios já existentes, temos a aprendizagem subordinada. Esta se relaciona a um conjunto de acontecimentos e com ideias mais gerais de forma hierárquica, com organização na estrutura cognitiva, onde emerge outros significados (MOREIRA, 1999). Há dois tipos de aprendizagem subordinada: derivativa e correlativa.

A aprendizagem subordinada derivativa acontece de maneira em que o conteúdo aprendido é propriamente derivado de um conceito já estabelecido e inclusivo. Exemplo: se o aluno for aprender sobre usina nuclear e o mesmo tem conhecimento estabelecido na sua estrutura cognitiva do que significa usina, o novo conceito de usina nuclear será assimilado de forma mais inclusiva. Aqui o subsunçor não é modificado, apenas novas ancoragens serão mais relevantes (MOREIRA, 1999). Na aprendizagem subordinada correlativa se dá “Quando o novo material é uma extensão, elaboração, modificação ou quantificação de conceitos ou proposições

previamente aprendidos significativamente, a aprendizagem é considerada **subordinada**”(MOREIRA, 2011b). Exemplo: se o aluno já tem o conhecimento de reação nuclear na sua estrutura cognitiva, esse servirá de subsunçor para o novo conceito de usina nuclear e bomba atômica, onde cada vez mais ficarão elaborados e inclusos, e nesse caso os subsunçores poderão ser modificados.

E quando conceitos já estabelecidos se conecta de forma superordenada na nova informação, há formação mais específica e abrangente do tema em questão. O material a ser compreendido é mais extenso e inclusivo em relação ao já existente na estrutura cognitiva do aluno. O conceito mais geral faz ligação como os subsunçores mais específicos que já estão presentes. Exemplo: O aluno tem conhecimento específicos de usina nuclear e bomba atômica, onde ambas liberam energia, esta, na forma de calor e ocasiona a destruição e aquela também na forma de calor, mas controlada, servindo na produção de energia elétrica. E o conhecimento mais geral é o novo entendimento do átomo, com a superordenação dos subsunçores. Nos dois casos específicos, o aluno passa a entender que a liberação de energia é devido a reação que está acontecendo dentro do núcleo do átomo com a emissão de partículas. E desse ponto faz necessário buscar novos conhecimento mais específicos “como as partículas formam o átomo e porque posteriormente são liberadas”, ou seja, há uma aprendizagem superordenada.

## 4.2 Joseph Donald Novak

Joseph Donald Novak (1932), educador americano e professor emérito na Universidade de Cornell nos EUA, formou-se no curso de bacharel em Ciências e Matemática em 1952. Em 1954 obteve o título de mestre, e em 1958 de doutorado em Educação Científica e Biologia pela Universidade de Minnesota. Seu currículo é farto. Ficou conhecido mundialmente a partir da década de 1970 quando juntamente com sua equipe desenvolveu a teoria do mapeamento conceitual com finalidade de identificar o conhecimento dos alunos. Como gostava dos trabalhos de Ausubel, começou a utilizar o mapa conceitual como ferramenta para ampliar a aprendizagem significativa, destacando como principal foco o “conhecimento prévio do aluno”, onde novos conceitos e proposições são identificados por assimilação envolvendo a estrutura cognitiva.

Seus trabalhos prioriza a assimilação de conceitos na estrutura cognitiva do aluno e faz parte da criação do aplicativo Cmap Tools <sup>3</sup>direto da internet destinado para a criação de mapas conceituais (NOVAK; CAÑAS, 2008). A utilização do Cmap Tools é fácil, e ainda há vídeos

---

<sup>3</sup> Link para acessar o aplicativo: <https://cmapcloud.ihmc.us/>

explicativos <sup>4</sup>na internet que ajuda na sua aplicabilidade de instalação e utilização. Em seus trabalhos Novak enfatiza que pensamento/sentimento/ação conduzem ao engrandecimento humano resultando na ação positiva da aprendizagem significativa (MOREIRA, 1999). Para ele qualquer evento educativo mexe com a troca de conceito e sentimento entre aluno/professor.

Novak introduziu a avaliação como um novo evento educativa, que antes eram quatros. Sendo: aprendiz – o aluno deve buscar a aprendizagem; professor – deve dar apoio na transmissão do ensino; conhecimento – identificar o currículo do aluno; contexto – considerar o meio em que vive, sociedade, cultura entre outros. Esses eventos educativos foram propostos pelo cientista alemão Schwab em 1973, e por fim a avaliação inserida por Novak que serve para procurar evidencias sobre a aprendizagem significativa, se realmente ela aconteceu de forma esperada (MOREIRA, 1999).

Os mapas conceituas quando utilizados de forma correta tem peso relevante na aprendizagem significativa, podendo ser usados como estratégia de ensino, de avaliação, por professores ou alunos. Nos mapas conceituais, os conceitos geralmente estão inseridos dentro de círculos ou quadros, sendo as relações dos mesmos indicados por linhas. As palavras ou até mesmo símbolos de ligação que especificam os conceitos estão sobre as linhas. Os conceitos são representados de maneira hierárquica de conhecimento, no topo, os mais inclusivos e gerais e abaixo os específicos (NOVAK; CAÑAS, 2008). A sua utilização é para entender a organização conceitual de conhecimento.

As ligações cruzadas entre conceitos de diferentes secções ou domínios representa criatividade e capacidade na construção de um mapa conceitual bem elaborado, de fácil linguagem de entendimento. Abaixo há um mapa conceitual sobre a aprendizagem significativa de acordo com as teorias de Ausubel e Novak:

---

<sup>4</sup> Vídeo explicativo de instalação e utilização do aplicativo Cmap Tools: <https://www.youtube.com/watch?v=Ckumv4I148k>



## 5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA/LITERATURA

Química é uma área da Ciência que estuda a matéria e suas transformações. No Ensino Médio, a Química é uma disciplina em que o aluno como cidadão crítico perante a sociedade está envolvido, pois está relacionada com a investigação de problemas e fenômenos ao qual faz parte de sua vida. Exemplo: Por que o ferro “enferruja” (oxida) mais rapidamente onde há maior concentração de umidade? A disciplina de Química não é apenas mostrar para o aluno em teorias a explicação desse fenômeno, há a necessidade de mostrar na prática também. Alguns conteúdos de química são bem mais complexos quanto a experimentação em sala de aula, citando como exemplo a Radioatividade. Como fazer uma experiência em sala de aula que comprova a emissão e identificação de radiação de um possível material/objeto radioativo? Como estimular os professores a instigar os alunos a procurar por tal fenômeno?

Com esse intuito foi feito uma revisão bibliográfica para verificar a utilização da Plataforma Arduino que pode ser programado e utilizado como contador Geiger-Müller nas aulas experimentais de Radioatividade na disciplina de Química a fim de produzir um material potencialmente significativo no Ensino Médio que auxilie os professores. Esse material irá ajudar tanto na parte teórica como na prática para assim obter melhores resultados na aprendizagem significativa dos alunos.

Foi investigado em alguns Portais Periódicos sobre a utilização da Plataforma Arduino em experiência de Radioatividade, sendo que foram encontrados alguns materiais relacionados para análise produzidos para professores que atuam no Ensino Médio. Para essa pesquisa foram encontrados materiais com esse requisito a partir do ano de 2014 até 2020. Está disposto na tabela abaixo algumas palavras-chave usadas na pesquisa:

Tabela 3 - Resultados encontrados em alguns Periódicos sobre experiência de Radioatividade

| <b>Palavras chave</b>                                            | <b>Periódicos</b>             | <b>Resultados encontrados</b>                                                                                                                                                               |
|------------------------------------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Experiência de radioatividade em aula de química no ensino médio | SciELO                        | Nenhum resultado encontrado.                                                                                                                                                                |
| Experiência de radioatividade em aula de química no ensino médio | Google Acadêmico              | Apareceram 7920 resultados, dos quais foram analisados os 50 primeiros e apenas um está condizente com as palavras chave, ou seja, apresenta experiência de radioatividade em sala de aula. |
| Experiência de radioatividade em aula de química no ensino médio | Portal de Periódicos da CAPES | Nenhum resultado encontrado.                                                                                                                                                                |
| Experiência de radioatividade em aula de química no ensino médio | Science.gov                   | Nenhum resultado foi encontrado.                                                                                                                                                            |
| Experiência de radioatividade em aula de química no ensino médio | Química Nova na Escola        | Apareceram 104 resultados, dos quais foram analisados os primeiros 51, e nenhum condizentes com as palavras chave. Não relata experiência de radioatividade.                                |
| Plataforma Arduino em sala de aula como contador Geiger-Müller   | SciELO                        | Nenhum resultado.                                                                                                                                                                           |
| Plataforma Arduino em sala de aula como contador Geiger-Müller   | Google Acadêmico              | Apareceram 8 resultados e 4 estavam condizentes com as palavras chave, onde relata experiência de radioatividade em sala de aula com uso da Plataforma Arduino.                             |
| Plataforma Arduino em sala de aula como contador Geiger-Müller   | Portal de Periódicos da CAPES | Nenhum resultado.                                                                                                                                                                           |

|                                                                |                        |                                                                                                                           |
|----------------------------------------------------------------|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Plataforma Arduino em sala de aula como contador Geiger-Müller | Science.gov            | Apareceram 90 resultados e nenhum usa a Plataforma Arduino em sala de aula como auxílio em experiência de radioatividade. |
| Plataforma Arduino em sala de aula como contador Geiger-Müller | Química Nova na Escola | Nenhum resultado.                                                                                                         |

Ao final foram encontrados mais quatro trabalhos relacionados através de levantamentos das referências bibliográficas dos trabalhos identificados na pesquisa que está disposto na tabela acima. Dessa forma consegui nove trabalhos pertinentes com o tema Experiência de Radioatividade com auxílio da Plataforma Arduino no Ensino Médio.

Dos trabalhos analisados, oito são voltados para aulas de físicas onde fazem investigações sobre radiação cósmica de fundo e usam a Plataforma Arduino para identificar de alguma forma a presença das radiações (DIERKA, 2017; PARKER et al., 2019; PEREIRA, 2014; PEREIRA; SANTOS; AMORIM, 2016). Os autores compram o Arduino e programam para detectar a radiação. Sendo que alguns até fazem um passo a passo de como fazer a sua programação.

Dentre esses nove materiais encontrados, teve outras investigações além do uso da Plataforma Arduino em experiência de Radioatividade como:

- Uso de minerais radioativos - foram identificados alguns autores usaram a areia Monazítica extraída do litoral das praias do Espírito Santo para serem usadas em sala de aula nos experimentos de radioatividade (BARROS, 2017; PEREIRA, 2014, 2018; PEREIRA; SANTOS; AMORIM, 2016).
- Objetos que contém traços de elementos radioativos - foram detectados o uso da camisinha do lampião que pode conter Tório (Th) e o detector de fumaça do tipo iônico que é usado em alarmes de incêndios em que alguns modelos há a presença do Amerício (Am), (BOFF, 2016; DIERKA, 2017; PEREIRA, 2018).
- Uso de rochas - foi detectado o granito como fonte de radiação, tendo o Potássio-40 ( $K^{40}$ ) como elemento radioativo, onde o autor observou que o mesmo é encontrado principalmente em países da Europa e Estados Unidos (EUA) (PILAKOUTA; SAVIDOU; VASILEIADOU, 2016). Um trabalho, o autor faz uma sequência didática e

realiza a experiência usando a Plataforma Arduino, mas não cita a fonte radioativa que utilizou (OLIVEIRA; MARQUES; ADMIRAL, 2020).

Alguns trabalharam de modo bem específicos na disciplina de Física sobre o tema Radioatividade, outros trataram o assunto de forma interdisciplinar com a Química, Biologia, História e Matemática, sendo que não foi identificado nenhum desses trabalhos fazendo menção a disciplina de Geografia, o que também pode de alguma forma fazer parte dessa interação. E apenas um trabalho foi desenvolvido por um professor de Química, que realizou suas experiências com a Plataforma Arduino mas não cita o material radioativo, ficando muito vago, podendo se dizer “sem aproveitamento” (BARROS, 2017). Resumindo, não foi encontrado nenhum trabalho de radioatividade voltado para a disciplina de Química e com experimentos para identificar algum tipo de radiação. O conteúdo de Radioatividade com experimentação em sala de aula é muito pouco explorado. Se tratando da disciplina de Química é totalmente inexplorado até o momento. Dessa forma há um amplo campo a ser trabalhado e que para isso temos que instigar os professores a se identificar com essa área, onde nossos alunos só tem a ganhar.

Devemos levar em consideração o valor do material a ser utilizado. Pensando na Plataforma Arduino<sup>5</sup> já programado para detectar radiação ionizante fica em torno de R\$ 170,00 a R\$ 250,00, sendo que o custo benefício é relativamente viável quando comparado com contador Geiger-Müller<sup>6</sup> profissional, alguns com valores surreais, podendo chegar nas casas dos R\$ 60.000,00. Claro que isso depende de qual é a sua aplicabilidade.

Quando se adquirir um contador Geiger-Müller não programado, o professor pode fazer uma aula interdisciplinar, envolvendo docentes de outras áreas como Física, Matemática, Biologia, onde os próprios alunos poderão participar/interagir na programação do Arduino. Também é um momento em que os alunos podem usufruir para entender sobre a sua funcionalidade, identificando o nível aceitável com segurança de radiação para o corpo humano e assim não ocorrer nenhum efeito biológico (OLIVEIRA; MARQUES; ADMIRAL, 2020; PEREIRA, 2014).

---

<sup>5</sup> Valor de um Arduino já programado como contador Geiger-Müller – [https://pt.aliexpress.com/item/4001276010575.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.16137a21BMh8ED&algo\\_pvid=c3f9493a-f7e4-4960-8318-a1871f55ce04&algo\\_exp\\_id=c3f9493a-f7e4-4960-8318-a1871f55ce04-35](https://pt.aliexpress.com/item/4001276010575.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.16137a21BMh8ED&algo_pvid=c3f9493a-f7e4-4960-8318-a1871f55ce04&algo_exp_id=c3f9493a-f7e4-4960-8318-a1871f55ce04-35)

<sup>6</sup> Valor de um Geiger-Müller profissional – [https://www.amazon.com.mx/GCA-07W-radiaci%C3%B3n-profesional-Certificaci%C3%B3n-Resoluci%C3%B3n/dp/B000796XSC/ref=pd\\_day0\\_sccl\\_1\\_15/144-8652995-0456405?pd\\_rd\\_w=bPgip&content-id=amzn1.sym.1c8f9346-a87e-48c7-994a-82c93e96af91&pf\\_rd\\_p=1c8f9346-a87e-48c7-994a-82c93e96af91&pf\\_rd\\_r=ZXNCR94SS074QWCM76N9&pd\\_rd\\_wg=EjIXz&pd\\_rd\\_r=f911efc0-7435-4677-9b67-6f5dc3f10f34&pd\\_rd\\_i=B000796XSC&psc=1](https://www.amazon.com.mx/GCA-07W-radiaci%C3%B3n-profesional-Certificaci%C3%B3n-Resoluci%C3%B3n/dp/B000796XSC/ref=pd_day0_sccl_1_15/144-8652995-0456405?pd_rd_w=bPgip&content-id=amzn1.sym.1c8f9346-a87e-48c7-994a-82c93e96af91&pf_rd_p=1c8f9346-a87e-48c7-994a-82c93e96af91&pf_rd_r=ZXNCR94SS074QWCM76N9&pd_rd_wg=EjIXz&pd_rd_r=f911efc0-7435-4677-9b67-6f5dc3f10f34&pd_rd_i=B000796XSC&psc=1)

Para elaborar uma aula experimental de radioatividade é necessário conseguir amostra de mineral, rocha ou objeto que contém traços de elementos radioativos. O mineral monazita está presente em boa parte das praias do Espírito Santo e contém o elemento químico Th (BARROS, 2017; PEREIRA, 2014, 2018; PEREIRA; SANTOS; AMORIM, 2016). A camisinha do lampião também tem grande possibilidade de conter Th (BOFF, 2016; DIERKA, 2017; PEREIRA, 2018).

Alguns modelos de detectores de fumaça do tipo iônicos que são encontrados em loja de construção, alarmes, contém o elemento radioativo Amerício.(BOFF, 2016; DIERKA, 2017). Um possível foco é o granito, que está disponível com facilidades nas marmorarias (PILAKOUTA; SAVIDOU; VASILEIADOU, 2016), e as soldas Tig que contém Th e pode ser encontrada em lojas de ferramentas.

## **6 METODOLOGIA DA PESQUISA**

### **6.1 Fundamentação metodológica**

Esta pesquisa tem caráter qualitativo e como estamos tratando de dados não tem uma certa preocupação com a quantidade de participante e sim com a qualidade da pesquisa, onde postula uma observação atenta do pesquisador em relação a realidade cultural, social e econômica, e de alguma forma tirar significados e constatações para compreender os fenômenos e beneficiar de algum modo um grupo, comunidades, etc. (TRIVIÑOS, 2013). A pesquisa qualitativa procura esclarecer algo que na prática pedagógica é atribuir valores empiristas e a atenção maior é com as informações coletadas que tentam explicar os acontecimentos, não se preocupando necessariamente com dados numéricos. Esta pesquisa é de forma qualitativa do tipo sem intervenção pedagógica, onde foram analisados vários trabalhos aplicados na área de experimentação de Radioatividade no Ensino de Química com a finalidade de tentar garantir um produto potencialmente significativo para ser aplicado em sala de aula, sempre buscando a participação coletiva dos professores para que os mesmos possam executar com seus alunos, sendo que a mesma foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), com Certificação de Apresentação e Apreciação Ética (CAAE) está sob o protocolo 51778921.4.0000.0021 e o número do parecer é: 5.122.149.

O percurso para a elaboração deste trabalho consta de três partes, sendo a primeira para a construção do produto que é sobre a elaboração de um kit para auxiliar professores do Ensino Médio tanto na parte teórica como na prática de Radioatividade, incluindo contador Geiger-Müller de baixo custo, objetos e rochas que possam emitir radiação. A segunda parte é a participação de professores que avaliaram o mesmo. A última é a entrega da Dissertação, onde foi avaliada e aprovada pela Banca Examinadora.

### **6.2 Sujeito da pesquisa**

O convite para a participação foi prioritariamente para professores que estão lecionando na disciplina de Química no segundo ano do Ensino Médio (E. M.) da Rede Estadual de Mato Grosso do Sul (MS), por saber da realidade que aulas práticas de radioatividades não é algo que está no contexto pedagógico das escolas públicas ou por ser um tema praticamente inexplorado na parte teórica e principalmente na prática. O critério de exclusão foi para os demais professores que não estão atuando na disciplina de Química do E. M. Está melhor exemplificado no

(APÊNDICE B). Participaram nove professores, que de início era para ser dez, de quatro escolas estaduais que são: E. E. João Pereira Valim – Inocência, E. E. Marechal Castelo Branco – Água Clara, E. E. Ernesto Solon Borges – Bandeirantes, E. E. Padre João Tomes – Três Lagoas.

Foram enviados juntos no formato de PDF o Produto e o link das questões para os professores. Após o recebimento desse e-mail, os professores tiveram um prazo de vinte dias para analisarem o produto e responder ao questionário do “Google Forms” que está disponível no (APÊNDICE A). A pesquisa é qualitativa com questões fechadas e algumas tendo a possibilidade de fazer comentário.

### 6.3 Local da pesquisa

Este projeto foi desenvolvido em quatro escolas públicas da rede estadual de Mato Grosso do Sul, onde cada gestor responsável pela instituição foi procurado para passar as informações sobre o Projeto de Pesquisa do mestrando, e após o primeiro contato, foi enviado por e-mail a autorização institucional que está disponível no (APÊNDICE C), para que o mesmo desse o seu parecer. Após o parecer favorável do diretor, foi solicitado o e-mail do professor onde foi enviado para cada participante da pesquisa o produto para ser analisado e o link do questionário onde os mesmos fizeram a avaliação do material.

### 6.4 Instrumento de coleta de dados para a avaliação do produto

O instrumento para coletar os dados para avaliação do produto constou de um questionário fechado com sete alternativas, com opção de marcar apenas uma resposta. As respostas das alternativas estão em porcentagens. Das sete questões, duas teve a possibilidade de fazer comentários. Procuramos identificar o potencial do produto como parte da dissertação do mestrado com as respostas das questões 2, 3, 4 e 5, onde foram classificadas em três categorias para avaliar o produto como:

- **Satisfatório (60 à 100%),** tendo em vista o produto como um material potente para ser trabalhados por professores do E. M.
- **Intermediário (40 à 59%),** tendo que melhorar ou refazer alguns aspectos para que o produto de torne potencialmente aplicável no E. M.
- **Insatisfatório (0 à 39%),** e deverá ser repensado e até mesmo remodelado para que se torne um produto potente e aplicável em sala de aula.

A questão 1 foi para avaliar se alguns dos professores envolvidos na avaliação do produto já presenciou ou até fez alguma experiência de radioatividade no E. M. A questão 6 foi para saber como está o conhecimento sobre objeto, rochas ou minerais que possam emitir radioatividade. Por fim a questão 7 para verificar como os professores relacionam o aprendizado dos alunos quando além da teoria há a prática também.

## 7 ORÇAMENTO

Tabela 4 - Planilha de itens usados na elaboração do projeto com seus respectivos valores

| <b>Planilha de custo</b>                  |                  |
|-------------------------------------------|------------------|
| <b>Itens</b>                              | <b>Valor R\$</b> |
| Arduino                                   | 200,00           |
| Detector de fumaça de alarme de incêndio  | 80,00            |
| Solda Tig                                 | 78,00            |
| Detector de Radiação ionizante artificial | 420,00           |
| Areia monazítica                          | Doação           |
| Rocha Caldosito – tipo ígnea vulcânica    | Doação           |
| Rocha geológica – formação de Uberaba     | Doação           |
| <b>Total</b>                              | <b>778,00</b>    |

O custo do projeto apresentado foi totalmente com recursos próprios e doações de amostras de rocha e mineral pelos Professores Dr. Marco Antonio Utrera Martines, Dr. Thiago da Silva Marinho e Dr. Marcos Perruci.

## 8 AVALIAÇÃO DO PRODUTO

Figura 22 - Print da tela de avaliação do meu "Google Forms".



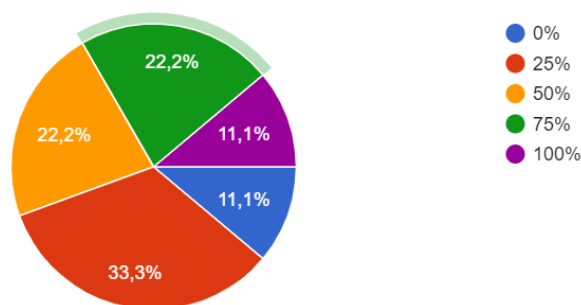
### 8.1 Análise das respostas

A avaliação do Produto foi realizada por nove professores que estão atuando no E. M. das escolas públicas do MS na disciplina de Química. Depois de analisarem o produto, os professores responderam um questionário no “Google Forms”, onde o participante não é identificado, e sim a sua avaliação. O resultado de cada questão será o print do gráfico do “Google Forms” que está no meu e-mail institucional com um comentário e para melhor entendimento também será adicionado frente de cada alternativa o total de escolha dos participantes.

**Questão 1** – Quando se fala em fazer uma aula experimental no Ensino Médio nem sempre é possível e fácil, como por exemplo, por falta de um laboratório adequado e ainda por não ter material e reagente. Em relação a aula experimental de radioatividade, como você classifica em grau de dificuldade?

- 0% = muito difícil, nunca fez e nem presenciou → 1
- 25% = difícil, nunca fez, mas já presenciou → 3
- 50% = intermediário e com um certo grau de dificuldades é possível a realização → 2
- 75% = é fácil e já fez em algum momento → 2
- 100% = muito fácil e faz sempre em que o assunto é Radioatividade: → 1

9 respostas



Comentário – Esta questão certamente não ficou bem esclarecida. O sentido era para ser respondida pensando antes do contato com o produto. Pelo andamento foi respondida depois de terem assistido os vídeos das aulas práticas sobre a experiência de Radioatividade. Sendo assim não há comentários.

### Questão 1 - B. Opcional -

Se já realizou ou presenciou alguma experiência sobre radioatividade no Ensino Médio pode exemplificar?

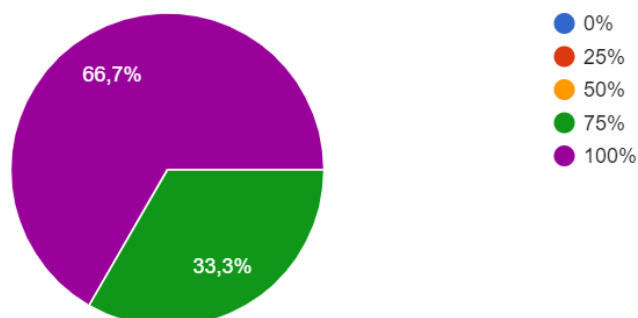
|                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Não                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Nunca fiz, nem presenciei                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Ainda não presenciei nenhuma experiência sobre esse tema.                                                                                                                                                                                                                            |
| Não. Por falta de laboratório e material próprio para experiência                                                                                                                                                                                                                    |
| Já utilizei simulador do Phet Colorado ( <a href="https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/radioactive-dating-game">https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/radioactive-dating-game</a> ), mas o utilizado precisava usar executar o Java , dificultando a utilização na STE. |

Comentário – Pelas respostas percebe-se que somente um participante usou simulador virtual onde o mesmo relata dificuldades.

**Questão 2** – O desenvolvimento do produto segue uma sequência lógica e uma linguagem fácil de compreensão?

- 0% = não segue uma lógica e a linguagem é difícil → 0
- 25% = segue uma lógica, mas a linguagem é difícil → 0
- 50% = segue uma lógica e uma linguagem → 0
- 75% = segue uma lógica e a linguagem é fácil → 3
- 100% = lógica e linguagem muito fáceis → 6

9 respostas

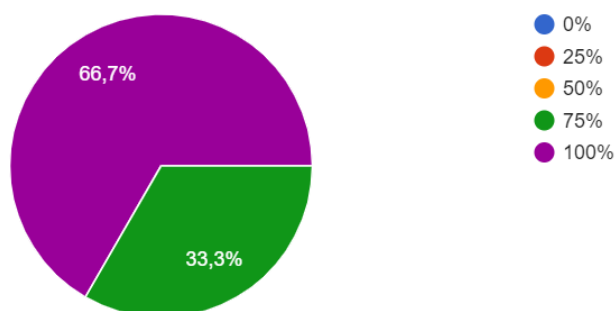


Comentário – Nessa questão, 6 participantes que representa 66,7% do total, responderam que “lógica e linguagem muito fáceis”, e 3 ou 33,3% avaliaram que “segue uma lógica e linguagem é fácil”. Tendo o produto nesse requisito como satisfatório e aplicável em sala de aula.

**Questão 3** – O texto teórico quanto a parte experimental tem o nível apropriado sobre o conteúdo de Radioatividade?

- 0% = texto e experimento não têm nível apropriado → 0
- 25% = texto e experimento têm um breve nível apropriado → 0
- 50% = texto e experimento têm um médio nível apropriado → 0
- 75% = texto e experimento têm um bom nível apropriado → 3
- 100% = texto e experimento têm nível apropriado muito bom → 6

9 respostas

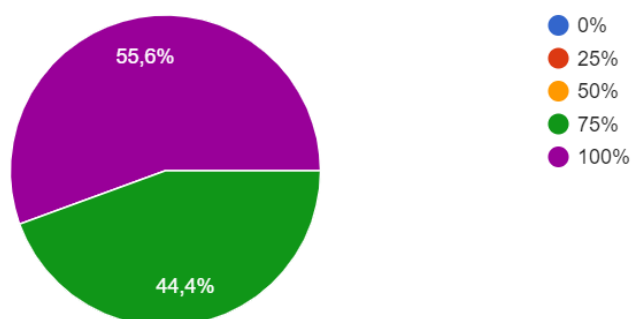


Comentário - Nessa questão, 6 participantes que corresponde a 66,7% do total, responderam que “texto e experimento têm nível apropriado muito bom”, e 3 ou 33,3% avaliaram que “texto e experimento têm um bom nível apropriado”. Tendo o produto como satisfatório nesse requisito e aplicável em sala de aula.

**Questão 4** - É pertinente usar a Plataforma Arduino como contador Geiger-Müller para identificar um possível foco de radiação em experiências de Radioatividade no E. M.?

- 0% = é totalmente inapropriado → 0
- 25% = é inapropriado → 0
- 50% = médio → 0
- 75% = apropriado → 4
- 100% = totalmente apropriado → 5

9 respostas

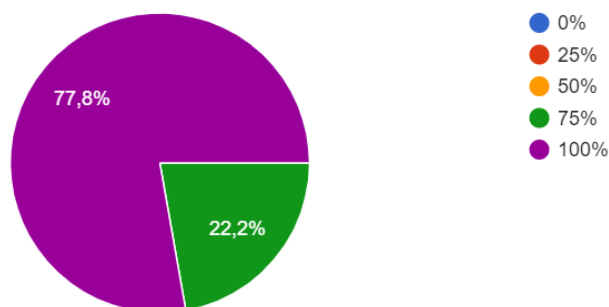


Comentário - Nessa questão, 5 participantes que corresponde a 55,6% do total, responderam que “totalmente apropriado”, e 4 ou 44,4% avaliaram que “apropriado” trabalhar com a Plataforma Arduino. Tendo o produto como satisfatório nesse requisito e aplicável em sala de aula.

**Questão 5** - O produto apresentado tem potencial em que você como professor pode usar como recurso nas aulas do Ensino Médio sobre o conteúdo de Radioatividade?

- 0% = totalmente sem potencial → 0
- 25% = sem potencial → 0
- 50% = potencial médio → 0
- 75% = têm potencial → 2
- 100% = têm um excelente potencial → 7

9 respostas



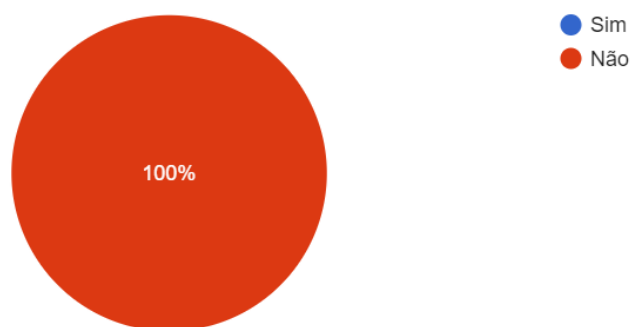
Comentário - Nessa questão, 7 participantes que corresponde a 77,8% do total, responderam que “tem um excelente potencial”, e 2 ou 22,3% avaliaram que “tem potencial” para usar como recurso nas aulas de Química. Tendo o produto como satisfatório nesse requisito e aplicável em sala de aula.

**Questão 6** - Na parte experimental, os itens indicados como materiais radioativos já eram conhecidos por você?

Sim → 0

Não → 8

9 respostas



Comentário – Ninguém afirmou ter conhecimento sobre os materiais que apresentam radiações e foram expostos no produto.

**Questão 6 – B** - Se a resposta foi SIM, responda:

Qual ou quais? Têm outros de seu conhecimento que não foi citado no produto?

3 respostas

Não

Nao

Ainda não tinha conhecimentos sobre as propriedades radioativas dos materiais citados no produto.

Comentário – Aqui apenas três participantes responderam que não têm conhecimento de outros materiais que emitem radiações que não foram apresentados no produto.

**Questão 7** - Quando você professor faz uma aula teórica acompanhada de uma prática, qual a sua percepção de ganho de conhecimento para os alunos?

0% = sem ganho nenhum de conhecimento → 0

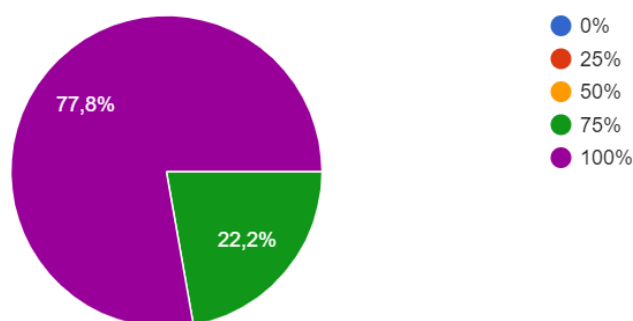
25% = muito pouco o ganho de conhecimento → 0

50% = ganho médio de conhecimento → 0

75% = têm um bom ganho de conhecimento → 2

100% = totalmente pertinente para uma aprendizagem significativa → 7

9 respostas



Comentário – Aqui 2 professores que corresponde 22,2% afirmaram que realizar experiência em sala de aula “têm um bom ganho de conhecimento” e 6 ou 77,8% disseram ser “totalmente pertinente para uma aprendizagem significativa”. Nessa questão percebe-se a necessidade de fazer aulas experimentais.

## 7 - B. Opcional

Deixe um comentário/opinião:

7 respostas

Aula experimental atrai mais a atenção do aluno colaborando para uma maior compreensão.

Muito top..

Esse experimento abriu minha visão referente ao uso da Radioatividade, fiquei muito feliz e surpreendido.

Química é uma ciência experimental, consolidar teoria e prática fica fácil a aprendizagem e desperta o interesse do aluno.

O produto elaborado é muito interessante e pode ser acessível à escola e professores, devido aos materiais de baixo custo utilizados na construção do contador Geiger Müller. E contribui positivamente para a relação entre a teoria e prática sobre o tema radioatividade.

Trabalhar aula experimental no Ensino Médio, desenvolve nos alunos maior interesse, despertar habilidades, demonstrando potencialidades para construção do conhecimento.

Comentário – Pelos comentários dos Professores percebe-se que as aulas de Químicas devem conciliar teorias e práticas para que os alunos tenham mais interesse, empatia e obter a aprendizagem significativa.

## 8.2 Resultado das respostas

Ao final um Professor desistiu de fazer a avaliação do produto, tendo um total de nove integrantes.

Para resultado final, se o produto tem potencial de ser aplicado em sala de aula para alunos do E. M. foi levado em conta as questões 2, 3, 4 e 5, com as seguintes classificações:

- **Satisfatório (60 à 100%),** tendo em vista o produto como um material potente para ser trabalhados por professores do E. M.
- **Intermediário (40 à 59%),** tendo que melhorar ou refazer alguns aspectos para que o produto de torne potencialmente aplicável no E. M.
- **Insatisfatório (0 à 39%),** e deverá ser repensado e até mesmo remodelado para que se torne um produto potente e aplicável em sala de aula.

O resultado com as avaliações de cada questão está disposto na tabela abaixo. Sendo que as alternativas de cada questão escolhidas pelos professores para ter um melhor entendimento, será classificada em: A, B, C, D, E. Irá constará apenas as alternativas que teve pelo menos uma escolha.

Tabela 5 - Resultado de escolha das alternativas de cada questão

| Apenas alternativas em %/participantes                            | Questão 2 | Questão 3 | Questão 4 | Questão 5 |
|-------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 2) A – 75% = segue uma lógica e a linguagem é fácil.              | 75%/3     | _____     | _____     | _____     |
| 2) B – 100% = lógica e linguagem muito fáceis                     | 100%/6    | _____     | _____     | _____     |
| 3) A - 75% = texto e experimento têm um bom nível apropriado.     | _____     | 75%/3     | _____     | _____     |
| 3) B - 100% = texto e experimento têm nível apropriado muito bom. | _____     | 100%/6    | _____     | _____     |
| 4) A - 75% = apropriado.                                          | _____     | _____     | 75%/4     | _____     |
| 4) B – 100% = totalmente apropriado.                              | _____     | _____     | 100%/5    | _____     |
| 5) A – 75% = tem potencial.                                       | _____     | _____     | _____     | 75%/2     |
| 5) B – 100% = têm um excelente potencial.                         | _____     | _____     | _____     | 100%/7    |

Para saber se o produto é aplicável no E. M. têm que fazer a média de cada questão multiplicando pelo valor total de professores que votaram na opção A e B do quadro acima pelo valor da porcentagem que cada alternativa representa, somando seus resultados, sendo esse valor dividido pelo total de professores que votam. Ex.;

- $A \rightarrow X \text{ professore} \times Y\% = AZ\%$ .
- $B \rightarrow X \text{ professores} \times Y\% = BZ\%$ .
- $\text{Total} \rightarrow AZ\% + BZ\%/9 = Z\%_{\text{total}}$

Depois soma se o valor total de  $Z\%_{\text{total}}$  que cada questão representa e que foi usada para avaliar o produto, que nesse caso foram quatro, sendo dividido pelo valor total das questões (quatro). Ex.;

- $Z\%_{\text{total}} + Z\%_{\text{total}} + Z\%_{\text{total}} + Z\%_{\text{total}} = Z\% \text{ das quatros questões}/4 = Z\%_{\text{final}}$

E se o valor de  $Z\%_{\text{final}}$  for:

- $Z\%_{\text{final}} \geq 60\%$ , o produto é satisfatório e têm potencial para ser trabalhado por Professores no E. M.
- $Z\%_{\text{final}} \geq 40\%$  e  $\leq 59\%$ , o produto é intermediário e terá que sofrer algumas mudanças para que se torne potencialmente aplicável no E. M.
- $Z\%_{\text{final}} \leq 39\%$ , o produto é insatisfatório e deverá ser remodelado para que o mesmo seja aplicável no E. M.

|                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Questão 2 –</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>3 \times 75\% + 6 \times 100\%</math></li> <li>• <math>225\% + 600\% = 825\%</math></li> <li>• <math>825/9 = \mathbf{91,67\%_{total}}</math></li> </ul> | <p><b>Questão 3 –</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>3 \times 75\% + 6 \times 100\% =</math></li> <li>• <math>225\% + 600\% = 825\%</math></li> <li>• <math>825/9 = \mathbf{91,67\%_{total}}</math></li> </ul> |
| <p><b>Questão 4 –</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>4 \times 75\% + 5 \times 100\%</math></li> <li>• <math>300\% + 500\% = 800\%</math></li> <li>• <math>800/9 = \mathbf{88,89\%_{total}}</math></li> </ul> | <p><b>Questão 5 –</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>2 \times 75\% + 7 \times 100\% =</math></li> <li>• <math>150\% + 700\% = 850\%</math></li> <li>• <math>850/9 = \mathbf{94,45\%_{total}}</math></li> </ul> |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>91,67\%_{total} + 91,67\%_{total} + 88,89\%_{total} + 94,45\%_{total} = 366,68/4 = \mathbf{91,67\%_{final}}</math></li> </ul>                                                     |                                                                                                                                                                                                                                    |

### 8.2.1 RESUMO DA ANÁLISE DAS RESPOSTAS

Fazendo a análise do resultado, o Produto é totalmente aplicável em sala de aula e tem potencial para uma aprendizagem significativa, sendo que o valor final da avaliação foi de **91,67%**, ficando acima do limite estabelecido que era igual ou maior que 60%.

A questão 1 era para saber sobre o grau de dificuldade de fazer experiência de Radioatividade no E. M., sendo desconsiderada por ter sido elaborada corretamente. A questão 6 era para identificar o conhecimento sobre os itens usados que emitem radiação, onde todos afirmaram não conhecer nenhum que foi citado no produto e nem outros que podem ser usados em experiências de Radioatividade. Já a questão 7 era para verificar a relação de aulas teóricas acompanhadas de práticas se tem um melhor ganho de conhecimento levando a aprendizagem significativa, onde 77,8% marcaram a opção “totalmente pertinente para uma aprendizagem significativa” e 22,2% “têm um bom ganho de conhecimento”. Configurando que aulas teóricas devem ser acompanhadas com práticas.

## 9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Fica claro que as aulas de Químicas, além de um bom material teórico deve haver a parte prática, que é a experimentação do que está sendo trabalhado. O tema Radioatividade sempre causa admiração nos alunos por vários pontos, como ex.; poder de destruição de uma bomba atômica, efeito ionizantes das radiações e suas consequências e pelas mesma não serem percebidas, invisíveis a olho nu. São inúmeras funções como ponto negativo e positivo, e claro, devemos enfatizar sempre o que é bom, que traz vantagem para a sociedade. Fica ainda mais marcante quando se demonstra na prática tal fenômeno, criando um elo entre alunos/professor, deixando as aulas mais atraentes e marcantes.

A questão norteadora era “Quais as contribuições de uma sequência didática, que tem por base um detector de radiação Geiger-Müller (baixo custo; Plataforma Arduino) para professores do E. M. que queiram realizar aulas experimentais sobre radioatividades?” No caso são várias, como uma aula mais atraente e que cativa a atenção do aluno, enriquecedora de conhecimento e com melhores resultados em uma aprendizagem significativa, entre outros.

Esse contador Geiger-Müller de baixo custo pode ser útil para os professores em aulas experimentais que envolvam radioatividade, pois é uma ferramenta simples e eficiente para medir a radiação ionizante. Além da Química, ele pode ser utilizado em disciplinas como Física, Biologia e outras que envolvam estudos sobre radiação. O uso de experimentos na educação pode tornar o ensino mais dinâmico e atraente para os estudantes. Sendo que o custo do kit apresentado no produto saiu por R\$ 358,00 (US\$ <sup>7</sup>68,84). Lembrando das buscas feitas de referências e trabalhos relacionados com experiência de radioatividade em sala de aula, pode-se dizer que este trabalho apresentado é inédito.

---

<sup>7</sup> Preço do Dólar em janeiro de 2021 quando adquirido o kit - R\$5,20.

## 10 REFERÊNCIAS

- ABRAO, A.; FRANCA JUNIOR, J.M. Usina piloto de purificação de urânio por troca iônica em funcionamento no Instituto de Energia Atômica. Disponível em: <<http://repositorio.ipen.br/handle/123456789/24330>>. Acesso em: 20 jul. 2022.
- ADRICOPULO, A. D. **Manifestação da Sociedade Brasileira de Química em resposta à coluna de Denise Fraga da Folha de São Paulo**. Disponível em: <<http://portal.sbpcnet.org.br/noticias/respostaquebramanifestacao-da-sociedade-brasileira-de-quimica-em-resposta-a-coluna-de-denise-fraga-da-folha-de-sao-paulo-de-382014/>>. Acesso em: 05 maio 2021.
- AFONSO, J. C. Rádio. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 32, n. 1, dez. de 2010.
- ÁLVARES, G.; CRISTINA, S. **A História da Bomba**. 2018. Disponível em: <<https://unodaminionu2018.wordpress.com/2018/08/13/a-historia-da-bomba/>>. Acesso em: 10 de maio 2002.
- ANDRADE, R. DA S.; VIANA, K. DA S. L. Atividades experimentais no ensino da química: distanciamentos e aproximações da avaliação de quarta geração. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 23, n. 2, p. 507–522, 2017.
- ANGUERA, M. G. **Exposição à radiação não-ionizante emitida por equipamentos terapêuticos de micro-ondas e morbidade referida em fisioterapeutas**. São Paulo, 2012. Tese (Doutorado em Medicina) - Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo.
- AQUINO, K. A. DA S.; CHIARO, S. DE. Uso de Mapas Conceituais: percepções sobre a construção de conhecimentos de estudantes do ensino médio a respeito do tema radioatividade. **Ciências & Cognição**, Rio de Janeiro, v. 18, n. 2, p. 158-171, dez. 2013.
- ARAÚJO, A. R. **Luzes Sobre Luzia**. Disponível em: <<https://ufmg.br/comunicacao/publicacoes/boletim/edicao/2041/luzes-sobre-luzia>>. Acesso em: 15 jul. 2022.
- BARROS, J. F. **Radioatividade na escola básica: a experimentação como recurso didático**. Niterói. 66f, 2017.
- BETHE, H. A. Energy Procution in Stars. **Physical Review**, Cornell University, Ithaca, New York, v. 55, n. 1, p. 434–456, 07 set.1938.
- BIASOTTO, L. C.; FIM, C. F.; KRIPKA, R. M. L. A Teoria Da Aprendizagem Significativa De David Paul Ausubel: Uma Alternativa Didática Para a Educação Matemática. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, 29 out. 2020. v. 6, n. 10, p. 83187–83201, 2020.

BOFF, C. A. **Consrução de um Detector de Ionização Gasosa com Material de Baixo Custo para Práticas Experimentais no Ensino de Física Nuclear**. Guarapuava, 2016. 61f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências Naturais e atemática) - Universidade Eatadual do Centro-Oeste-Unicentro.

BRACARENSE, A. Q. Processo de Soldagem TIG-Gtaw. **Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais – Escola de Engenharia Pós-graduação Engenharia Mecânica**, Belo Horizonte, maio. 2000. p. 44.

BRASIL. Diretrizes Curriculares Nacionais para a Educação Básica. **Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. Secretaria de Educação Continuada, Alfabetização, Diversidade e Inclusão. Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica. Conselho Nacional da Educação. Câmara Nacional de Educação Básica**. Brasília, 2013. 562p. Disponível em: <  
[http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com\\_docman&view=download&alias=13448-diretrizes-curriculares-nacionais-2013-pdf&Itemid=30192](http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=13448-diretrizes-curriculares-nacionais-2013-pdf&Itemid=30192)>. Acesso em: 11 jan. de 2021.

BRASIL. Base Nacional Comum Curricular do Ensino Médio. **Documento homologado pela portaria nº 1570, publicado no D.O.U. de 21 dez. 2017, seção 1, pg. 146**. Brasília, 2017. Disponível em: <  
[http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/historico/BNCC\\_EnsinoMedio\\_embaixa\\_site\\_110518.pdf](http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/historico/BNCC_EnsinoMedio_embaixa_site_110518.pdf)>. Acesso em 10 jan. 2021.

BRASIL. Conselho Nacional de Educação. Rslolução Nº 2, de 11 de set. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, p. 39-40, 14 set. 2001: Institui Diretrizes Nacionais para a Educação Especial na Educação Básica. Disponívem em: <  
<http://portal.mec.gov.br/cne/arquivos/pdf/CEB0201.pdf>>. Acesso em 10 jan. 2021.

BRASIL. Base Nacional Comum Curricular do Ensino Médio. **Documento homologado pela portaria nº 1570, publicado no D.O.U. de 21 dez. 2017, seção 1, pg. 146**. Brasília, 2017. Disponível em: <  
[http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/historico/BNCC\\_EnsinoMedio\\_embaixa\\_site\\_110518.pdf](http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/historico/BNCC_EnsinoMedio_embaixa_site_110518.pdf)>. Acesso em 10 jan. 2021.

BRASIL. Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio: Linguagens, Códigos e suas Tecnologias. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 20, n. 2, p. 95–111, 2000. Disponível em: < <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/blegais.pdf>>. Acesso em 10 fev. 2021.

BRASIL. Lei nº 9.394 de 20 dez.1996. Estabelece as Diretrizes e Bases da Educação Nacional. **Diário oficial da União**. Brasília, DF, 23 de dez. 1996. Disponível em: < [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L9394.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9394.htm)>. Acesso em: 12 fev. 2021.

BUONOCORE, T. C. C. et al. Energia das radiações: radioatividade natural e artificial, radiações ionizantes e excitantes. **Unisanta Bioscience**, Jundiaí, v. 8, n. 4, p. 447–457, jan. 2019.

CAMELO, F. F. D. S. **Um critério de divisibilidade universal sob a ótica da teoria de aprendizagem significativa de Ausubel**. Brasília, 2018. Dissertação (Mestrado em Matemática) - Mestrado Profissional em Matemática - Universidade Federal de Brasília.

CAMPBELL, J. **Rutherford - Uma breve biografia**. 2001. Disponível em: <<http://www.rutherford.org.nz/biography.htm>>. Acesso em: 21 fev. 2021.

CARDOSO, E. M. Energia Nuclear e seus Benefícios. **Apostila Educativa**, v. 21, p. 197– 220, 2007

CARNEIRO, C. D. R.; MIZUSAKI, A. M. P.; ALMEIDA, F. F. M. A determinação da idade das rochas. **Terra e Didática**, Campinas, v. 1, n. 1, p. 6, 2015.

CAVALCANTE, M. A.; TAVOLARO, C. R. C.; MOLISANI, E. Física com Arduino para iniciantes. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 33, n. 4, dez. 2011.

CECATTO, J. R. O Sol. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. São José dos Campos, 2018.

CHODOS, A. **Invenção do Contador Geiger**. Disponível em: <<https://www.aps.org/publications/apsnews/201206/physicshistory.cfm>>. Acesso em: 2 maio. 2021.

COCCO, V.; CARVALHO, J. **ARISTÓLTELES: Metafísica**. 1. ed. Abril. São Paulo, 1984. 303p.

CORDEIRO, Marinês Domingues. **Dos Curie a Rutherford: aspectos históricos e epistemológicos da radioatividade na formação científica**. Florianópolis, 2011. Dissertação (Mestrado em Educação Científica e Tecnológica) - Curso de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina.

CORDEIRO, M. D.; PEDUZZI, L. O. Q. Racionalidade na descoberta da fissão nuclear. **X Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – X ENPEC**, Águas de Lindóia, p. 1-8, 24 a 27 de Nov. 2015.

CORDEIRO, M. D.; PEDUZZI, L. O. Q. Aspectos da natureza da ciência e do trabalho científico no período inicial de desenvolvimento da radioatividade. **Revista Brasileira de Ensino de Física, Florianópolis**, v. 33, n. 3, out. 2011.

COSTA, J. E. P. A. **Teoria da Assimilação: construindo redes de saberes no contexto da educação digital**. João Pessoa, 2012. 106f. Dissertação (Mestrado em Educação) - Curso de Pós-Graduação em Educação, Universidade Federal da Paraíba.

CRUZ, A. Ensaio em Arqueologia. **Instituto Politécnico de Tomar**. Portugal, v. 1, p. 121, 2002.

DELLAMANO, J. C.; VICENTE, R. Gestão de Detetores de Fumaça no IPEN. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE**. São Paulo. Setembro, p. 1–8, 2006.

DIERKA, Tiago. **Manual De Atividade Pedagógica Teórico- Prática De Física Nuclear – Detecção Da Radiação Nuclear Para O Ensino Médio**. Santa Cruz, 2017. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) - Curso de Pós-Graduação em Mestrado Profissional em Ensino de Ciências e Matemática, Universidade Estadual do Centro-Oeste.

ELETRONUCLEAR. **Angra 3**, [s.d.].Disponível em: <<https://www.eletronuclear.gov.br/Nossas-Atividades/Paginas/Angra-3.aspx>>. Acesso em: 03 de maio 2022.

FARIAS, R. F. A Química do Tempo: Carbono-14. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 16, p. 14–16, nov. 2002.

FENELON, S.; ALMEIDA, S. DE S. A histórica visita de Marie Curie ao Instituto do Câncer de Belo Horizonte. **Radiologia Brasileira**, São Paulo, v. 34, n. 4, p. vii–viii, 2001.

FERNANDES, D. R. et al. Energia Nuclear: Importância, Conceitos Químicos e Estrutura das Usinas Nucleares. **Revista Virtual de Química**, Rio de Janeiro, v. 13, n. 3, p. 635–649, 24 maio 2021.

FERNANDES, E. **David Ausubel e a aprendizagem significativa**. Disponível em: <<https://novaescola.org.br/conteudo/262/david-ausubel-e-a-aprendizagem-significativa>>. Acesso em: 12 jan. 2022.

FERNANDES, S. C. P. **Dosimetria e cuidados de radioproteção para pacientes submetidos a procedimentos diagnósticos em Medicina Nuclear**. São Paulo, 2019. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Curso de Pós-Graduação em Ciências, Faculdade de Medicina - Universidade de São Paulo

FERRONI, E. H. et al. A Plataforma Arduíno e suas aplicações. **Revista UIIPS**, Santarém, v. 3, p. 133–148, 2015.

FIOLHAIS, C. Pré-História e História da Física Nuclear. **Repositório Geral - Repositório Científico da UC**. Coimbra, p. 9-23, 1992. Disponível em: <<https://estudogeral.sib.uc.pt/handle/10316/41235>>. Acesso em: 05 jan. 2022.

FRANCISCO, J. A. S.; LIMA, A. A.; ARÇARI, D. P. **Datação por Carbono-14/ The Carbon-14 Dating**. p. 1–11, 2002. Disponível em: < [https://portal.unisepe.com.br/unifia/wp-content/uploads/sites/10001/2018/06/1gestao\\_foco\\_Carbono14.pdf](https://portal.unisepe.com.br/unifia/wp-content/uploads/sites/10001/2018/06/1gestao_foco_Carbono14.pdf)>. Acesso em: 01 set. 2022.

GIESEL, F. O. **Ueber Die Ablenkbarkeit Der Becquerelstrahlen Im Magnetischen Felde**. p. 9–11, 1899

GIORDAN, M. O Papel da Experimentação No Ensino De Ciências. **Quíica Nova na Escola**, São Paulo, v. 11, n. 01, p. 52–64, nov. 2018.

GOLDEMBERG, J. FISSÃO NUCLEAR. **Boletim IEA**, São Paulo, nº 279, nov. 1972.

GOMES, C. H. **Caracterização das rochas vulcânicas e plutônicas félsicas e intermediárias do Alvo Estrela (Cu-Au), Serra de Carajás, Pará**. São Leopoldo, 2006. 126f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Pós-Graduação em Geologia - Universidade do Vale do Rio dos Sinos.

GOMES, R. C. et al. Teorias de aprendizagem: pré-concepções de alunos da área de exatas do ensino superior privado da cidade de São Paulo. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 16, n. 3, p. 695–708, 2010.

GORSKI, M. S.; BRUZINGA, W. A.; LIMA, W. Contribuição ao Desenvolvimento de Detectores Metálicos Geiger-Müller, Halogenado com Janela de Mica. **ANAIS - PROCEEDINGS**, 3º Congresso Geral de Energia Nuclear, São Paulo, 22 a 27 abr. 1990.

GRAF, H. Doença nodular de tireoide. **Arquivos Brasileiros de Endocrinologia & Metabologia**, Curitiba, v. 48, n. 1, p. 93–104, 01/fev. 2004.

GROPPO, D. P. **Caracterização Dosimétrica de Amostras de BeO em Feixes de Radiação Alfa, Beta e X Por Técnicas Luminescentes**. São Paulo, 2013. Dissertação (Mestrado Ciências na Área de Tecnologia Nuclear-Aplicação) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Autarquia Associada à Universidade de São Paulo.

HAMMARSTRON, H. DE J. et al. **Aplicações Da Radiação Na Agricultura. Mostra Interativa da Produção Estudantil em Educação Científica e Tecnológica - O Protagonismo Estudantil**, Ijuí, p. 3–6, out. 2017.

HOFFMANN-CAMPO, C. B. et al. Pragas da soja no Brasil e seu manejo integrado. **Embrapa**, Londrina, n.30, p.70, dez. 2000.

JUNIOR, L. E.; JUNGER, A. P. O Lado Turístico de Guarapari: Tradições e Culturas. **Pesquisa em debate**, v. 1, n. 3, p. 1–25, 2009.

LABURÚ, C. E. Fundamentos Para Um Experimento Cativante. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 23, n. 3, p. 382–404, dez. 2006.

LEE, J. D. **Química Inorgânica não tão concisa**. 5.ed. São Paulo, Blucher, 1999. 546p.

LIMA, Barbara Alcantara Ferreira. **Metodologia de datação em carbonatos pela série de desequilíbrio do urânio por espectrometria de massa**. 2006. 90 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília.

MACHADO, A. C. B.; PLEITEZ, V.; TIJERO, M. C. Usando a antimatéria na medicina moderna. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 28, n. 4, p. 407–416, maio 2006.

MARQUES, Deividi Marcio. **As Investigações de Ernest Rutherford Sobre a Estrutura da Matéria** - contribuições para o ensino de Química. Bauru, 2006. 182f. Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência) - Curso de Pós-Graduação em Ensino de Ciências, Universidade Estadual Paulista.

MARTINS, R. A. Como Becquerel não descobriu a radioatividade. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 7, n. 0, p. 27–45, jun.1990.

MARTINS, R. DE A. Introdução: A História das Ciências e Seus Usos na Educação. **Estudos De História E Filosofia Das Ciências**, São Paulo, jan. 2006

MARTINS, W. D. Wilhelm Conrad Roentgen e a Descoberta dos Raios-X. **Revista de Clínica e Pesquisa Odontológica**, São Paulo, v. 1, p. 59–63, jan./mar. 2005.

MCGILL, P. COLLECTIONS. **The Rutherford Collection**. Disponível em: <<https://www.physics.mcgill.ca/museum/rutherfordcollection.html>>. Acesso: 04 mar. 2021.

MENDONÇA, F. Aquecimento global e saúde: uma perspectiva geográfica–notas introdutórias. **Terra Livre**, São Paulo, v. I, p. 205–221, jan./jul. 2003.

MERÇON, F.; QUADRAT, S. V. A Radioatividade e a História do Tempo Presente. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 19, p. 27–2, maio 2004.

MONTEIRO, K. F.; GRUBBA, L. S. A Luta Das Mulheres Pelo Espaço Público Na Primeira Onda Do Feminismo: De Suffragettes Às Sufragistas. **Direito e Desenvolvimento**, João Pessoa, v. 8, n. 2, p. 261, nov. 2017.

MOREIRA, I. D. C. Conferência Nobel de Thomson sobre a Descoberta do Elétron. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 19, n. 3, p. 299–307, 1997.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem Significativa**. Fórum Permanente de Professores. Brasília. UnB. 1999. 130p.

MOREIRA, M. A. **Mapas Conceituais e Aprendizagem Significativa**. 1.ed. São Paulo. Centauro. 2010. 80p.

MOREIRA, M. A. Aprendizagem Significativa: Um Conceito Subjacente. **Aprendizagem Significativa em Revista**, Porto Alegre, v. 1, n. 3, p. 25–46, 2011

MOREIRA, M. A. Subsídios Teóricos para o Professor Pesquisador em Ensino de Ciências: Comportamentalismo, Construtivismo e Humanismo. **Instituto de Física**, Porto Alegre, v. 1, p. 64, 2009.

MOURA, J. C. DE. **Estudo da Variação Sazonal dos Níveis de Radiação Gama na Praia da Areia Preta, Guarapari, Espírito Santo, Brasil**: Radiometria e Análise de Risco Ambiental. Vitória, 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Pós-Graduação em Engenharia Ambiental do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo.

MURA, L. F. L. **Medidaas de Taxas de Reação Nuclear e de Índices Espectrais ao Longo do Raio das Pastilhas Combustíveis do Reator IPEN/MB-01**. São Paulo, 2010. Dissertação (Mestrado Ciências na Área de Tecnologia Nuclear-Aplicação) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Autarquia Associada à Universidade de São Paulo.

NASCIMENTO, C. K.; BRAGA, J. P. Aspectos Históricos da Visita de Marie Sklodowska Curie. **Química Nova**, São Paulo, v. 34, n. 10, p. 1888–1891, out. 2011.

NETO, J. A. DA S. P. Teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel: perguntas e respostas. **Revista Sério-Estudos**, Campo Grande, v. 21, p. 117–130, jan./jun. 2006.

NOVAK, J. D.; CAÑAS, A. J. A Teoria Subjacente aos Mapas Conceituais e Como Elaborá-los e Usá-los. **Práxis Educativa**, Ponta Grossa, v. 05, n. 1, p. 1–36, jan./jun. 2008.

NUCLEAR, W. C. O. **Big Ivan , The Tsar Bomba (“Rei das Bombas”)** - A maior arma nuclear do mundo, [s.d.]. Disponível em: <<http://www.nuclearweaponarchive.org/Russia/TsarBomba.html#Feoktistov99>>. Acesso em: 05 out. 2021.

OLIVEIRA, U. L. de. **Abordagem da radioatividade nos livros didáticos de Química do PNLD 2015-2018**. 2019. 64f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Educação em Matemática) - Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande.

OLIVEIRA, V.; MARQUES, F.; ADMIRAL, T. Sequência Didática Baseada No Arco De Maguerez a Partir Do Diagnóstico Sobre O Tema Radioatividade. **Revista Eletrônica Científica Ensino Interdisciplinar**, v. 6, n. 18, p. 711–730, out. 2020.

PARKER, B. et al. Transforming education with the Timepix detector - Ten years of CERN@school. **Revista Elsevier**, Amisterdã, v. 127, mar. 2019.

PASSOS, A. P. et al. Energia nuclear: o poder do átomo. **Revista Eletrônica - Colégio Mãe de Jesus**, Porto Alegre, v. 2, p. 1–12, set. 2011.

PEREIRA, A. M. **A Física das radiações em sala de aula: do projeto á prática**. 2014. Produto da Dissertação do Mestrado em Ensino de Física do Intituto de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

PEREIRA, A. M.; SANTOS, A. C. F.; AMORIM, H. S. Estatística de contagem com a plataforma Arduino. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paluo, v. 38, n. 4, maio 2016.

PEREIRA, J. A. **Um recurso didático para o ensino de energia baseado na plataforma arduino**. Ponta Grossa, 2018. 148f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Tecnológica) - Pós-Graduação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

PILAKOUTA, M.; SAVIDOU, A.; VASILEIADOU, S. A laboratory activity for teaching natural radioactivity. **European Journal of Physics**, Liubliana, n.38, nov. 2016.

PINO, E. S. .; GIOVEDI, C. Radiação Ionizante E Suas Aplicações Na Indústria. **Revista UNILUS Ensino e Pesquisa**, v. 2, n. 2, p. 47–51, jan./jun. 2005.

PUGLIESE, G. Um sobrevôo no “Caso Marie Curie”: Um experimento de antropologia, gênero e ciência. **Revista de Antropologia**, São Paulo, v. 50, n. 1, p. 347–385, jun. 2007.

PUHL, C. S.; MÜLLER, T. J.; LIMA, I. G. As Contribuições de David Ausubel para os Processos de Ensino e de Aprendizagem. **Revista Dynamis**, Blumenau, v. 26, n. 1, p. 61, abr. 2020.

RIOS, J. et al. Introdução ao Arduino. **Grupo de Robótica da UFMS**, Campo Grande, 2012.

ROBILOTTA, C. C. A tomografia por emissão de pósitrons: Uma nova modalidade na medicina nuclear brasileira. **Revista Panamericana de Salud Publica/Pan American Journal of Public Health**, Washington, v. 20, n. 2–3, p. 134–142, 2006.

ROCHA, J. S.; VASCONCELOS, T. C. Dificuldades de aprendizagem no ensino: algumas reflexões. **ENEQ - XVIII Encontro Nacional de Ensino de Química**, Florianópolis, p. 10, jul. 2016.

SECCO, Marcello. **Desenvolvimento de Dispositivo Movimentador Automatizado de Amostras Com Vista à Aplicação em Medidas de Radioisótopos que Possuem Curto Tempo de Meia-Vida**. São Paulo, 2016. Dissertação (Mestrado em Ciências da Tecnologia Nuclear) - Curso de Pós-Graduação em Ciências da Tecnologia da Educação, Universidade de São Paulo.

SED. **Secretária de Educação de Mato Grosso do Sul**. Catálogo de Unidades Curriculares. Sampo Grnde, 2022.

SEVEGNAMI, F. X. **Técnicas de construção e princípios de funcionamento de contadores Geiger-Müller de catodo externo**. São Paulo, 1988. Tese (Doutorado em Física) - Curso de Pós-Graduação, Pontífica Universidade Católica de São Paulo.

SILVA, I, F.; SILVA, A. J. P. A experimentação na Educação em Química: Estudo Exploratório Sobre as Percepções de Licenciandos. **Revista Virtual Química**, Niterói, v. 11, n. 3, maio/jun. 2019.

SILVA, Nara Fernandes Leite da. **Uma abordagem para o ensino de modelos atômicos e radioatividade a partir da História da Ciência**. Uberaba, 2019. 206f. Dissertação (Mestrado em Química) - Programa de Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional, Universidade Federal do Triângulo Mineiro.

SILVA, R. W. DA C.; PAULA, B. L. DE. Causa do aquecimento global : antropogênica versus natural. **Terræ Didactica**, Campinas, v. 5, n. 1, p. 42–49, 2009.

SODDY, F. The origins of the conception of isotopes. **Nature**, v. 112, n. 2806, p. 208–213, dez. 1922.

SONTOS, C. A. **O Nobel na família Curie**. Disponível em: <<https://estadodaarte.estadao.com.br/curie-nobel-ca-santos/>>. Acesso em: 20 fev. 2021.

SOUSA, W. B. **Física das Radiações** : uma proposta para o Ensino Médio. São Paulo, 2009. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) - Instituto de Física e Faculdade de Educação - Universidade de São Paulo.

SOUZA, C. D. **Braquiterapia com sementes de iodo-125**: manufatura e tratamento. Botucatu, 2009. 45p.

SOUZA, L. S. DE; OLIVEIRA, R. C.; SIMONETTI, M. J. **A Energia Nuclear e sua Aplicação Industrial**, 2010. Disponível em: < <https://silo.tips/download/a-energia-nuclear-e-sua-aplicacao-industrial>>. Acesso em: 07 jun. 2022.

SOUZA, M. A. M.; DANTAS, J. D. Fenomenologia Nuclear: uma proposta conceitual para o Ensino Médio. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 27, n. 1, p. 136–158, abr. 2010.

SOUZA, M. V. L. et al. Efeito do propiltiouracil sobre a eficácia da dose terapêutica de iodo radioativo (I-131) no hipertireoidismo por doença de Graves. **Arquivos Brasileiros de Endocrinologia e Metabologia**, v. 50, n. 6, p. 1088–1095, dez. 2006.

SUL, M. G. **Curriculo de Referência Mato Grosso do Sul do Ensino Infantil e Fundamental**. Secretária de Estado e Educação, 2019. Disponível em: < [http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/implementacao/curriculos\\_estados/ms\\_curriculo.pdf](http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/implementacao/curriculos_estados/ms_curriculo.pdf)>. Acesso em: 08 jul. 2022.

SUL, M. G. **Referencial Curricular da Rede Estadual de Mato Grosso do Sul do Ensino Médio**. Secretaria de Estado de Educação, 2012. Disponível em: < <https://pt.slideshare.net/TatyBorges1/referencial-curricular-ensino-mdio-mato-grosso-do-sul>>. Acesso em: 05 fev. 2021.

TAVARES, O. A. P. Controlada a Energia Liberada na Fissão Nuclear. **Ciência e Sociedade**, Macapá, dez. 2012.

TAVARES, O. A. P. 80 Anos Da Fissão Nuclear: a Mais Abundante Fonte De Energia Disponível Para a Humanidade. **Ciência e Sociedade**, Macapá, v. 6, n. 2, p. 19–34, abr. 2019.

TOLEDO, E. J. D. L.; FERREIRA, L. H. A atividade investigativa na elaboração e análise de experimentos didáticos. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, Ponta Grossa, v. 9, n. 2, p. 108–130, maio/ago. 2016.

TORRENTE, Ó. **Hardware Arduino**. 2013. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/about>>. Acesso em: 05 jul. 2022.

TRANCOSO, Marcelo Daleno. **A História das Ciências Colaborando no estudo da Estrutura Atômica e dos Modelos Atômicos no Ensino Médio**. Rio de Janeiro, 2016. 202f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Química) - Curso de Pós-Graduação em Ensino de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

TRIVIÑOS, A. N. S. **Introdução à Pesquisa em Ciências Sociais: a Pesquisa Qualitativa em Educação**. São Paulo, ed. Atlas, 1978.

VALADARES, E. DE C. Propostas de experimentos de baixo custo centradas no aluno e na comunidade. **Química Nova Escola**, São Paulo, v. 13, p. 3, maio 2001.

VARELLA, I. G. **O Sol**: um proposta de ensino. São Paulo, 2017. Dissertação (Mestrado em Ensino de Astronomia) - Instituto de Astronomia, Geofísica e Geociências Atmosféricas, Universidade de São Paulo.

VIEIRA, G. S. **Estudo de coorte sobre exposição ocupacional à radiação ionizante e câncer em instituição pública brasileira**. São Paulo, 2022. Tese (Doutorado em Ciências) – Curso de Pós-Graduação em Ciências, Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo

WILTGEN, F. Energia elétrica via fusão termonuclear controlada. **A Biblioteca do Exército**, Rio de Janeiro, v. 38, p. 97–108, 2021.



2) O desenvolvimento do produto segue uma sequência lógica e uma linguagem fácil de compreensão?

- 0% = não segue uma lógica e a linguagem é difícil
- 25% = segue uma lógica, mas a linguagem é difícil
- 50% = segue uma lógica e uma linguagem
- 75% = segue uma lógica e a linguagem é fácil
- 100% = lógica e linguagem muito fácil

☐ 0%

☐ 25%

☐ 50%

☐ 57%

☐ 100%

3) O texto teórico quanto a parte experimental tem o nível apropriado sobre o conteúdo de Radioatividade?

- 0% = texto e experimento não têm nível apropriado
- 25% = texto e experimento têm um breve nível apropriado
- 50% = texto e experimento têm um médio nível apropriado
- 75% = texto e experimento têm um bom nível apropriado
- 100% = texto e experimento têm nível apropriado muito bom

☐ 0%

☐ 25%

☐ 50%

☐ 57%

☐ 100%

4) É pertinente usar a Plataforma Arduino como contador Geiger-Müller para identificar um possível foco de radiação em experiências de Radioatividade no E. M.?

- 0% = é totalmente inapropriado
- 25% = é inapropriado
- 50% = médio
- 75% = apropriado
- 100% = totalmente apropriado

☐ 0%☐ 25%☐ 50%☐ 57%☐ 100%

5) O produto apresentado tem potencial em que você como professor pode usar como recurso nas aulas do Ensino Médio sobre o conteúdo de Radioatividade?

0% = totalmente sem potencial

25% = sem potencial

50% = potencial médio

75% = tem potencial

100% = tem um excelente potencial

☐ 0%☐ 25%☐ 50%☐ 57%☐ 100%

6) Na parte experimental, os itens indicados como materiais radioativos já eram conhecidos por você?

☒ Não☐ Sim

Qual ou quais? Têm outros de seu conhecimento que não foi citado no produto?

7) Quando você professor faz uma aula teórica acompanhada de uma prática, qual a sua percepção de ganho de conhecimento para os alunos?

0% = sem ganho nenhum de conhecimento

25% = muito pouco o ganho de conhecimento

50% = ganho médio de conhecimento

75% = têm um bom ganho de conhecimento

100% = totalmente pertinente para uma aprendizagem significativa

☐ 0%

☐ 25%

☐ 50%

☐ 75%

☐ 100%

\*Deixe um comentário/opinião:

|  |
|--|
|  |
|--|

## **12 APÊNDICE B – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)**

Prezado participante, você está sendo convidado (a) a participar da pesquisa intitulada “Radioatividade: Uma proposta didática significativa para o ensino de química”, desenvolvida pelo pesquisador Claudemar Frederice.

O objetivo central do estudo é auxiliar os professores de Química em uma aula de radioatividade do Ensino Médio com a finalidade de contribuir para a aprendizagem significativa dos alunos de forma mais prazerosa, levando a um melhor entendimento sobre o conteúdo abordado.

O convite para a sua participação se deve ao fato de ser professor atuante de Química do Ensino Médio, por saber da realidade de aulas teóricas e práticas de radioatividades, sendo um tema praticamente inexplorado. Assim professores que estão atuando em outras disciplinas não poderão participar por ser um tema específico no memento, ou seja, voltada para uma aula de radioatividade de química.

Sua participação é voluntária, isto é, ela não é obrigatória, tem plena autonomia para decidir se quer ou não participar, bem como se retirar a qualquer momento. Você não terá prejuízo algum caso decida não consentir sua participação, ou desistir da mesma. Contudo, ela é muito importante para a execução da pesquisa. Serão garantidas a confidencialidade e a privacidade das informações por você prestadas.

Nenhum participante será identificado e qualquer dado que possa identificá-lo será omitido na divulgação dos resultados da pesquisa, e o material será armazenado em local seguro. A qualquer momento, durante a pesquisa ou posteriormente, o professor poderá solicitar do pesquisador informações sobre sua participação e/ou sobre a pesquisa, o que poderá ser feito através dos meios de contato explicitados neste Termo.

A sua participação consistirá em analisar o produto que é sobre aula de radioatividade teórico e prática para o Ensino Médio usando o Arduino como para identificar uma possível fonte de radiação e posteriormente responder um questionário avaliativo no “Google Forms”.

O tempo de duração da apresentação do material é de aproximadamente 30 minutos, e do questionário em torno de 15 minutos. O questionário será transcrito e armazenado, em arquivos digitais, mas somente terão acesso à mesma os pesquisadores.

Ao final da pesquisa, todo material será mantido em arquivo, sob guarda e responsabilidade do pesquisador responsável, por pelo menos 5 anos, conforme Resolução CNS no 466/2012.

O benefício direto é poder usufruir de aulas práticas de radioatividade em escolas do Ensino Médio, algo até então ignorado no ensino público e avaliar o quanto pode ser útil na formação do aluno, tanto profissional quanto pessoal. Já os benefícios indiretos é contribuir para uma nova realidade para as aulas de radioatividades para que se tonem mais atrativas e produtivas.

Durante a análise do produto e ao responder o questionário, o professor poderá se sentir desconfortável em relação ao tempo e constrangido com algumas perguntas. E para minimizar tais constrangimentos e desconforto, pode se recusar a não avaliar o produto e deixar de responder o questionário ou até mesmo deixar sem respostas algumas questões.

Em caso de gastos decorrentes de sua participação na pesquisa, você (e seu acompanhante, se houver) será ressarcido.

Em caso de eventuais danos decorrentes de sua participação na pesquisa, você será indenizado.

Os resultados desta pesquisa serão divulgados em palestras dirigidas ao público participante, relatórios individuais para os entrevistados, artigos científicos e no formato de dissertação/tese.

Este termo é redigido em duas vias e deverá ser rubricadas em todas as páginas e assinadas, sendo uma do participante da pesquisa e outra do pesquisador.

Em caso de dúvidas quanto à sua participação, você pode entrar em contato com o pesquisador responsável através do e-mail [claudemar.frederice@ufms.br](mailto:claudemar.frederice@ufms.br), telefone (67)99948-3555, ou por meio do endereço Rua David do Livramento Teixeira, 413, CEP 79680-000, Jardim das Palmeiras – Água Clara - MS.

Em caso de dúvida quanto à condução ética do estudo, entre em contato com o Comitê de Ética em Pesquisa da UFMS (CEP/UFMS), localizado no Campus da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, prédio das Pró-Reitorias ‘Hércules Maymone’ – 1º andar, CEP: 79070900. Campo Grande – MS; e-mail: [cepconep.propp@ufms.br](mailto:cepconep.propp@ufms.br); telefone: 67-3345-7187; atendimento ao público: 07:30-11:30 no período matutino e das 13:30 às 17:30 no período vespertino. O Comitê de Ética é a instância que tem por objetivo defender os interesses dos participantes da pesquisa em sua integridade e dignidade e para contribuir no desenvolvimento da pesquisa dentro de padrões éticos. Dessa forma, o comitê tem o papel de avaliar e monitorar o andamento do projeto de modo que a pesquisa respeite os princípios éticos de proteção aos direitos humanos, da dignidade, da autonomia, da não maleficência, da confidencialidade e da privacidade.

[ ] marque esta opção se você concorda que durante a participação na pesquisa seja realizada a avaliação do produto e depois o questionário, sendo que esta opção é muito importante para o entendimento dos resultados, preservando o sigilo de sua identidade.

[ ] marque esta opção se você não concorda que durante sua participação na pesquisa seja realizada a avaliação do produto e depois o questionário.

\_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2022

Local e data

\_\_\_\_\_  
Participante

\_\_\_\_\_  
Pesquisador

### 13 APÊNDICE C – AUTORIZAÇÃO INSTITUCIONAL

Prezado responsável

Solicito autorização para realizar a pesquisa intitulada “RADIOATIVIDADE: UMA PROPOSTA PARA A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA PARA O ENSINO DE QUÍMICA”, com professores do segundo ano de Química do Ensino Médio da Rede Estadual de Mato Grosso do Sul. Será coordenado pelo pesquisador Claudemar Frederice, sob orientações do Prof. Dr. Marco Antonio Utrera Martines e Prof. Dr. Onofre Salgado Siqueira do curso MESTRADO PROFISSIONAL EM QUÍMICA EM REDE NACIONAL (PROFQUI). A pesquisa será aplicada em quatro escolas: E. E. João Pereira Valim – Inocência, E. E. Marechal Castelo Branco – Água Clara, E. E. Ernesto Solon Borges – Bandeirantes, E. E. Joaquim Murtinho – Ponta Porã, E. E. Professor Severino de Quiroz.

O objetivo central do estudo é auxiliar os professores de Química em uma aula prática e teórica de radioatividade do Ensino Médio com a finalidade de contribuir para a aprendizagem dos alunos de forma mais prazerosa, levando a um melhor entendimento sobre o conteúdo abordado.

O convite para a sua participação dos professores que estão atuando no segundo ano de Química do Ensino Médio se deve ao fato por saber da realidade de aulas de radioatividade, sendo um tema praticamente inexplorado. Assim professores que estão atuando em outras disciplinas não poderão participar por ser um tema específico no momento, ou seja, voltada para uma aula de Radioatividade da disciplina de Química.

A participação é voluntária, isto é, ela não é obrigatória, tem plena autonomia para decidir se quer ou não participar, bem como se retirar a qualquer momento. O professor não terá prejuízo algum caso decida não participar, ou desistir da mesma. Contudo, ela é muito importante para a execução da pesquisa. Serão garantidas a confidencialidade e a privacidade das informações prestadas.

Nenhum participante será identificado e qualquer dado que possa identificá-lo será omitido na divulgação dos resultados da pesquisa, e o material será armazenado em local seguro. A qualquer momento, durante a pesquisa, ou posteriormente, o professor poderá solicitar do pesquisador informações sobre sua participação e/ou sobre a pesquisa, o que poderá ser feito através dos meios de contato explicitados neste Termo.

A participação consistirá em analisar o produto que é sobre aula teórica e prática de radioatividade para o Ensino Médio usando o Arduino como contador Geiger-Müller para

identificar uma possível fonte de radiação e posteriormente responder um questionário avaliativo no “Google Forms”.

O benefício direto é poder usufruir de aulas de radioatividade em escolas do Ensino Médio, algo até então ignorado no ensino público e avaliar o quanto pode ser útil na formação do aluno, tanto profissional quanto pessoal. Já os benefícios indiretos é contribuir para uma nova realidade para as aulas de radioatividades para que se tonem mais atrativas e produtivas.

Durante a análise do produto e ao responder o questionário, o professor poderá se sentir desconfortável em relação ao tempo e constrangido com algumas perguntas. E para minimizar tais constrangimentos e desconforto, pode se recusar a não avaliar o produto e deixar de responder o questionário ou até mesmo deixar sem respostas algumas questões.

Para perguntas e problemas referentes ao desenvolvimento da pesquisa a escola pode constatar o pesquisador Claudemar Frederice através do e-mail [claudemar.frederice@ufms.br](mailto:claudemar.frederice@ufms.br), telefone (67)99948-3555, ou por meio do endereço Rua David do Livramento Teixeira, 413, CEP 79680-000, Jardim das Palmeiras – Água Clara - MS.

Em caso de dúvida quanto à condução ética do estudo, entre em contato com o Comitê de Ética em Pesquisa da UFMS (CEP/UFMS), localizado no Campus da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, prédio das Pró-Reitorias ‘Hércules Maymone’ – 1º andar, CEP: 79070900. Campo Grande – MS; e-mail: [cepconeppropp@ufms.br](mailto:cepconeppropp@ufms.br); telefone: 67-3345-7187; atendimento ao público: 07:30-11:30 no período matutino e das 13:30 às 17:30 no período vespertino. O Comitê de Ética é a instância que tem por objetivo defender os interesses dos participantes da pesquisa em sua integridade e dignidade e para contribuir no desenvolvimento da pesquisa dentro de padrões éticos. Dessa forma, o comitê tem o papel de avaliar e monitorar o andamento do projeto de modo que a pesquisa respeite os princípios éticos de proteção aos direitos humanos, da dignidade, da autonomia, da não maleficência, da confidencialidade e da privacidade.

Dessa forma, se concorda com a aplicação, assinar e carimbar todas as folhas.

Diretor: \_\_\_\_\_

Escola Estadual: \_\_\_\_\_

Endereço: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2021

\_\_\_\_\_  
Diretor

\_\_\_\_\_  
Pesquisador

**14 APÊNDICE D – PRODUTO EDUCACIONAL**

CLAUDEMAR FREDERICE



Produto Educacional

RADIOATIVIDADE: uma proposta para a aprendizagem significativa para o ensino de química



Campo Grande - MS

2022

CLAUDEMAR FREDERICE

RADIOATIVIDADE: uma proposta didática significativa para o ensino de química

Produto Educacional de Mestrado apresentado ao Programa de Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional – PROFQUI da Universidade Federal de Campo Grande.

**Orientador:**

**Prof. Dr. Marco Antonio Utrera Martines**

**Coorientador:**

**Prof. Dr. Onofre Salgado Siqueira**

## SUMÁRIO

|              |                                                  |            |
|--------------|--------------------------------------------------|------------|
| <b>1</b>     | <b>INTRODUÇÃO</b>                                | <b>115</b> |
| <b>2</b>     | <b>RADIOATIVIDADE E SEU CONTEXTO</b>             | <b>116</b> |
| <b>3</b>     | <b>A PRIMEIRA LEI DA RADIOATIVIDADE</b>          | <b>118</b> |
| <b>4</b>     | <b>A SEGUNDA LEI DA RADIOATIVIDADE</b>           | <b>119</b> |
| <b>5</b>     | <b>RADIAÇÃO GAMA</b>                             | <b>120</b> |
| <b>6</b>     | <b>PARTÍCULA PÓSITRON</b>                        | <b>121</b> |
| <b>7</b>     | <b>DESINTEGRAÇÃO RADIOATIVA</b>                  | <b>121</b> |
| <b>8</b>     | <b>FISSÃO NUCLEAR</b>                            | <b>124</b> |
| <b>9</b>     | <b>FUSÃO NUCLEAR</b>                             | <b>126</b> |
| <b>10</b>    | <b>RADIOATIVIDADE PARA FINS BÉLICOS</b>          | <b>127</b> |
| <b>10.1.</b> | <b>Projeto Manhattan: bombas atômicas</b>        | <b>127</b> |
| 10.1.1       | BOMBA DE FISSÃO                                  | 127        |
| 10.1.2       | BOMBA DE HIDROGÊNIO – FUSÃO                      | 128        |
| <b>10.2</b>  | <b>Bomba Tsar: fissão e fusão</b>                | <b>129</b> |
| <b>11</b>    | <b>Radioatividade para fins pacíficos</b>        | <b>130</b> |
| <b>11.1</b>  | <b>Energia nuclear</b>                           | <b>130</b> |
| <b>11.2</b>  | <b>Medicina Nuclear</b>                          | <b>131</b> |
| <b>11.3</b>  | <b>Agricultura</b>                               | <b>131</b> |
| <b>11.4</b>  | <b>Indústria</b>                                 | <b>132</b> |
| <b>11.5</b>  | <b>Arqueologia</b>                               | <b>132</b> |
| <b>12</b>    | <b>CUIDADOS COM EXPERIÊNCIAS EM SALA DE AULA</b> | <b>133</b> |
| <b>13</b>    | <b>AULA PRÁTICA</b>                              | <b>134</b> |
| <b>13.1</b>  | <b>Experiências e resultados</b>                 | <b>138</b> |
| <b>14</b>    | <b>MAPA CONCEITUAL DE RADIOATIVIDADE</b>         | <b>141</b> |
| <b>15</b>    | <b>COMENTÁRIOS</b>                               | <b>142</b> |
| <b>16</b>    | <b>APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA</b>                | <b>142</b> |
| <b>16.1</b>  | <b>Mapa Conceitual como ferramenta de ensino</b> | <b>144</b> |
| <b>17</b>    | <b>REFERÊNCIA</b>                                | <b>147</b> |

## 1 - INTRODUÇÃO

Guarapari é uma cidade que está situada no litoral brasileiro do estado de Espírito Santo. É conhecida por suas belíssimas riquezas naturais como as montanhas e praias com propriedades terapêuticas que vem das areias monazíticas que contém baixo índice de radioatividade, onde recebe visitantes até mesmo de outros países (JUNIOR; JUNGER, 2009). A radioatividade nessa região se dá principalmente através do mineral monazita  $(\text{Ce, La, Nd, Th})\text{PO}_4$ , onde o urânio (U) também está presente (MOURA, 2003). É de costume achar pessoas procurando a cura para algumas doenças como o reumatismo, passando por todo o seu corpo lama de areia ou até mesmos enterrados, ficando apenas com a cabeça de fora. Elementos radioativos, principalmente o U e Th são encontrados em vários tipos de rochas vulcânicas e minerais (GOMES, 2006).

Alguns objetos também possui a presença de radiação. Detector de fumaça do tipo iônico possui o Amerício-241 ( $\text{Am-241}$ ) e seu uso é fundamental na identificação de fumaça em ambientes fechados, salvando muitas vidas anualmente (DELLAMANO; VICENTE, 2006). A solda TIG “Tungsten Inert Gas” é muito utilizado na indústria de aviação para soldar peças feitas de alumínio e magnésio, e a adição de até dois por cento de Tório (2% Th) ajuda na operação de corrente elétrica mais elevadas (BRACARENSE, 2012).

Atualmente estamos passando por uma demanda energética muito grande, onde boa parte da geração da eletricidade vem de termoeletricas movidas por combustível fóssil. Consequentemente é lançado na atmosfera bilhões de toneladas de dióxido de carbono antropogênico anualmente, contribuindo para o aquecimento global. Com o aumento da temperatura no Planeta Terra várias catástrofes estão acontecendo como furacões e tornados de maiores intensidades deixando rastro de destruição por onde passa, chuvas de forma desregular com maior tempo de estiagem durante o ano secando rios e ocasionando percas de alimentos para o agricultor, piscicultor, pecuarista. Concentração de chuvas em um curto período ocasionando enchentes, devastando plantações e consequentemente acarretando percas principalmente para o produtor de hortaliças que são mais vulneráveis. Maiores temperaturas no verão, derretendo geleiras, e com isso aumento do nível do mar que aos poucos está invadido solos férteis entre outros fatores. (MENDONÇA, 2003; SILVA; PAULA, 2009).

Além de problemas ambientais relacionados com o efeito estufa ou aquecimento global temos outros como doenças, pragas em lavouras entre outros.

A tireoide é uma glândula que está localizada no pescoço e produz hormônios que controla o metabolismo e crescimento do corpo. O funcionamento não adequado leva consequentemente doenças de tireoides e podem estar relacionados a fatores genéticos,

alimentação pobre em iodo, tabagismo. Casos detectados de doença da tireoide como câncer estão aumentando nos últimos anos (GRAF, 2004). As lavouras estão suscetíveis a vários tipos de pragas, desde a germinação de semente até a sua colheita. A soja por exemplo, insetos podem atacar as raízes, caules, brotos, folhas, flores, vargens e sementes. A lagarta-da-soja é a mais comum e pode consumir lavouras inteiras quando não controlada a tempo (HOFFMANN-CAMPO et al., 2000).

No final do século XIX para o começo do XX o mundo estava passando por várias transformações, tanto na área política quanto científica. Movimentos pelo direito das mulheres como a liberdade, igualdade, acesso ao meio político, ao voto (MONTEIRO; GRUBBA, 2017), guerras, socialismo, capitalismo, invasão comunista, movimento contra a arte.

A ciência estava passando por várias e profundas descobertas, citando algumas como o descobrimento do Raio-X por Wilhelm Konrad Röntgen em 1895 quando estudava os raios catódicos emitidos pelos tubos de Crookes (MARTINS, W, 2005), do elétron por Joseph John Thomson em 1897 que na época ele chamava de corpúsculo e remodelou o modelo do átomo de Dalton (MOREIRA, I,1997), da radioatividade por Marie Curie em 1898 quando estudava os raios de Becquerel e que abriu uma série de pesquisa nessa área levando a várias outras descobertas (MARTINS; R, 1990). O descobrimento da radioatividade teve e tem um impacto muito grande no cenário político, onde países que possuem bombas atômicas são considerados como perigo eminente devido poder bélico de destruição. De sua utilização na área da medicina nuclear no descobrimento e tratamento de câncer, na arqueologia, agricultura, indústria entre outras aplicações.

## **2 – RADIOATIVIDADE E SEU CONTEXTO**

A Radioatividade foi descoberta em 1898 por Marie Curie quando realizava pesquisa sobre os raios de Antoine Henri Becquerel. Marie com seus méritos sobre suas pesquisas nessa área passou a chamar de radioativas as substâncias que emitiam os raios de Becquerel e de radioatividade esse novo fenômeno. Muitos atribuem a descoberta da radioatividade a Becquerel em 1896 por ser o primeiro a realizar estudos sobre tais fenômenos. Curie fez várias constatações bem diferentes sobre o que julgava Becquerel, como: os raios estavam relacionados aos átomos e não as moléculas, que a emissão dos raios não tinha relação com a presença do sol, não aumentava com o aumento da temperatura, não provinha apenas de substâncias que continha urânio ou o próprio urânio metálico (MARTINS, R, 1990). No final o casal Curie – Pierre Curie, Marie Skłodowska-Curie e Antoine Henri Becquerel foram agraciados com o prêmio Nobel de

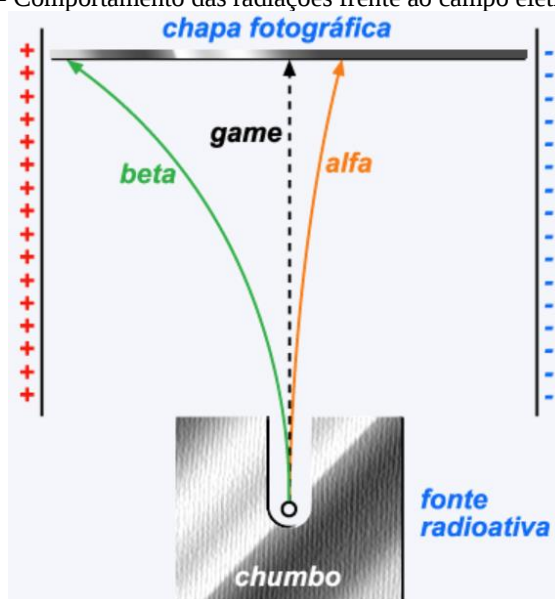
Física em 1903 pela descoberta da radioatividade. Com esse descobrimento, vários cientistas voltaram suas pesquisas nessa área. Um nome renomado, que fez várias descobertas sobre a radioatividade e até mesmo o acerca do átomo foi Rutherford.

Ernest Rutherford, em 1898, estudando a radiação do urânio e a condução elétrica percebeu a existência de duas radiações (CAMPBELL, 2001). Notou que uma era rápida e penetrante, que deu nome de beta ( $\beta$ ), a outra no entanto era o contrário, pouco penetrante e lenta e a chamou de alfa ( $\alpha$ ). O raio gama ( $\gamma$ ) foi descoberto em 1900 por Paul Ulrich Villard, quando estudava os raios dos sais de rádio e identificou a existência de uma terceira emissão de radiação, e que era muito mais rápida e penetrante em relação a partícula  $\beta$ . Percebeu também que não sofria interferência do campo elétrico e magnético como as partículas  $\alpha$  e  $\beta$ . O nome de raios gama foi dado por Rutherford em 1903. Alguns autores por não conhecer a real história atribuem a identificação da terceira radiação a Rutherford.

No ano de 1899, Friedrich Oskar Giesel, que ele ainda chamava de raios de Becquerel as radiações  $\alpha$  e  $\beta$ , fez experimentos contundentes. Observou que a partícula  $\beta$  era idêntica aos raios catódicos de Joseph John Thomson, ou seja, de mesma natureza dos elétrons que recentemente, em 1897, tinha descoberto essa partícula fundamental de carga negativa. Em um campo elétrico, a partícula  $\beta^{-1}$  era desviado sempre em direção da placa positiva (GIESEL, 1899).

As investigações na área da radioatividade estavam aceleradas, e Rutherford em 1903 em parceria com Frederick Soddy desenvolveu a teoria da desintegração atômica dos elementos e que as substâncias instáveis decaem em um intervalo de tempo, conceito hoje de meia vida (TRANCOSO, 2016). Conseguiram também identificar que a carga da partícula  $\alpha$  era positiva, pois em um campo elétrico era desviado para o lado negativo da placa. Só não tinham a precisão em relação ao valor da carga elétrica, se era  $1+$ ,  $2+$  ou  $3+$ . E por ter massa elevada, o seu desvio era menor que a partícula  $\beta^{-1}$ .

Figura 23 - Comportamento das radiações frente ao campo elétrico



Fonte: [http://www.cepa.if.usp.br/e-fisica/moderna/universitario/cap02/cap2\\_09.php](http://www.cepa.if.usp.br/e-fisica/moderna/universitario/cap02/cap2_09.php)

Até o momento a natureza total da carga elétrica da partícula  $\alpha$  ainda era uma incógnita, se era  $1+$ ,  $2+$  ou  $3+$ . Só em 1908 Rutherford junto com Hans Geiger chegaram à conclusão de que a carga era  $2+$  (MARQUES, 2006). Em 1908 recebeu o prêmio Nobel de Química por suas contribuições na área da radioatividade (CAMPBELL, 2001). E, em 1909 agora com Thomas Royds, depois de vários anos, chegaram ao desfecho de que a partícula  $\alpha$  era realmente um núcleo de hélio ( $\text{He}^{2+}$ ) com carga  $2+$ , arremessado para fora do núcleo de elementos instáveis, que depois de um certo tempo consegue capturar elétrons do meio, ficando neutro, ou seja, átomos de hélio.

Hans Geiger trabalhando junto com Rutherford em 1908, inventou o contador Geiger, um aparelho utilizado para contar o total de partícula  $\alpha$  em um determinado tempo. Geiger em 1928, agora com seu aluno de doutorado Walther Müller, aperfeiçoou esse aparelho e hoje é conhecido como contador Geiger-Müller, o que permite identificar qualquer tipo de radiação que ionize o ar dentro do tubo (CHODOS, 2012).

### 3 – A PRIMEIRA LEI DA RADIOATIVIDADE

A primeira lei da radioatividade enunciada por Soddy em 1911, descreve que quando um átomo instável emite uma partícula  $\alpha$ , o número atômico ( $Z$ ) do átomo filho diminui em duas unidades em relação ao átomo pai (CORDEIRO; PEDUZZI, 2011). O seu número de massa ( $A$ ) diminui em quatro unidades. Ex.:

- ${}_Z^AX$  ou  $X^A$ , onde X representa um elemento qualquer, z é o número atômico, e A, a massa atômica do elemento químico:  ${}_Z^AX^A \rightarrow {}_2\alpha^4 + {}_{Z-2}Y^{A-4} \rightarrow Y$  é o átomo filho;
- ${}_{92}^{235}U \rightarrow {}_2^4\alpha + {}_{90}^{231}Th$ . O átomo de *Th* rapidamente perde *e* para o meio, ficando neutro.
- Um átomo de plutônio-235 ( ${}_{94}^{235}Pu$ ) ao emitir seis partículas  $\alpha$  irá se transformar no chumbo-211 ( ${}_{82}^{211}Pb$ );
- A partícula  $\alpha^{2+}$  ao ser emitida se transforma em um átomo de hélio ao ganhar dois elétrons do meio.  $\alpha^{2+} + 2e \rightarrow He$ .

#### 4 – A SEGUNDA LEI DA RADIOATIVIDADE

A segunda lei da radioatividade foi descrita por três cientistas em 1913, Soddy-Fajans-Russel, ao dizer que um núcleo instável pode emitir em altíssima velocidade a partícula  $\beta^{-1}$ , que na verdade são elétrons de alta energia. A emissão de partícula  $\beta^{-1}$  se dá quando há um número muito alto de nêutron em relação ao próton (SECCO, 2016). E para balancear a instabilidade dentro do núcleo, o nêutron se transforma em um próton e uma partícula  $\beta^{-1}$ . O próton permanece no núcleo e a partícula  $\beta^{-1}$  é arremessada para fora.

Lembrando que esses cientistas na época não falavam na existência de prótons e nêutrons, pois ainda nem sabiam da existência das mesmas, e muito menos em leis da radioatividade, conceito esse criado para fins didáticos. O próton foi anunciado em 1918 por Rutherford, que ficava no núcleo do átomo, e que o mesmo era um hidrogênio que perdeu seu elétron. Já o nêutron foi apresentado em 1932 por James Chadwick, sendo o seu descobridor. Na época eles falavam que um átomo ao emitir uma partícula  $\alpha$ , o seu número atômico era alterado duas posições inferiores em sua valência. O novo átomo era deslocado duas casas à esquerda da Tabela Periódica. A partícula  $\beta^{-1}$  alterava em uma unidade a sua valência no sentido contrário, para direita, aumentando assim o seu número atômico (CORDEIRO; PEDUZZI, 2011).

- Quando há excesso de nêutron, esse se transforma em um próton. O próton permanece no núcleo, o que não altera a sua massa atômica. E para se transformar em um próton, é liberado uma partícula  $\beta^{-1}$ , aumentando em uma unidade o seu número atômico e como a massa do elétron é praticamente insignificante, a massa atômica permanece praticamente inalterada;

- ${}_Z^AX^A \rightarrow {}_{Z+1}Y^A + \beta^{-1}$
- ${}_{82}^{209}Pb \rightarrow \beta^{-1} + {}_{83}^{209}Bi$ . O átomo de *Bi* rapidamente capta *e* do meio, ficando neutro.

- O átomo de chumbo – 223 ( $^{223}_{82}\text{Pb}$ ), depois de sofrer cinco emissões de partículas  $\beta^{-1}$  irá se transformar no frâncio-223 ( $^{223}_{87}\text{Fr}$ );
- Em núcleos instáveis um nêutron pode se converter em um próton e uma partícula  $\beta^{-1}$ . A partícula  $\beta^{-1}$  como é um elétron de alta energia, é expelida para fora do núcleo. Lembrando que não existe elétrons no núcleo de um átomo.

## 5 – RADIAÇÃO GAMA

A radiação gama ( $\gamma$ ) não é considerada como uma partícula e sim como onda eletromagnética (fóton) de alta energia. Não possui massa e não é desviado pelo campo elétrico ou magnético por não possuir carga elétrica.

- É semelhante a luz, com comprimento menor;
- Também é semelhante aos raios-X, com altíssima energia. A diferença é que os raios-X são produzidos nos orbitais atômicos dos átomos e as radiações  $\gamma$  em decorrência de alterações dentro do núcleo como uma forma de estabilizar o átomo;
- Entre as três radiações, a  $\gamma$  é a mais penetrante por não possuir massa. Por isso constitui um alto perigo fisiológico;
- Quando núcleos instáveis emite partículas  $\alpha$  ou  $\beta^{-1}$ , o átomo filho ainda pode conter energia em excesso. E assim ao efetuar a sua transição para energia mais baixa ocorre a emissão de um fóton, que nada mais é a radiação  $\gamma$ . Núcleo instável pode emitir uma ou várias radiações  $\gamma$ , até se estabilizar (DIERKA, 2017);
- Ao emitir radiação  $\gamma$ , seu número atômico e massa atômica não é alterado. Ex;  $^{209}_{83}\text{Bi} \rightarrow \gamma + ^{209}_{83}\text{Bi}$ ;
- Mesmo não possuindo carga elétrica, consegue ocasionar a ionização de átomos ou moléculas, pois tem altíssima energia.

Resumindo:

- A partícula  $\alpha$  é a mais energética, com carga 2+, mas é menos penetrante, pois tem massa;
- A partícula  $\beta^{-1}$  é menos energética que a  $\alpha$  com carga 1-, e mais que a radiação  $\gamma$ , essa por não possuir carga. Em relação a penetração em materiais, a  $\beta^{-1}$  é de médio poder –

| • Radiação     | • Pode ser retida por                            |
|----------------|--------------------------------------------------|
| • $\alpha$     | • Folha de papel                                 |
| • $\beta^{-1}$ | • Lâmina de alumínio                             |
| • $\Gamma$     | • Placa de chumbo ou parede de concreto espessa. |

• As três radiações,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , assim como os raios-X são capazes de ionizar átomo ou moléculas. São ditas radiações ionizantes. As radiações não ionizantes não têm energia suficiente para ionizar átomos ou moléculas como as ondas de rádio, tvs, micro-ondas.

## 6 – PARTÍCULA PÓSITRON

Átomos instáveis que possuem excesso de prótons em relação ao número de nêutrons há possibilidades de se desintegrar com a emissão de uma partícula pósitron ( $\beta^{+1}$ ) que é a antimatéria do elétron e um antineutrino ( $\bar{\nu}$ ) ao invés de uma partícula  $\alpha$  ou  $\beta^{-}$ . Nesse caso o próton se transforma em um nêutron permanecendo no núcleo do átomo, sem alterar a sua massa atômica. O  $\beta^{+1}$  não tem massa significativa, apenas carga  $1+$ , o que difere do elétron. Um átomo instável ao emitir uma partícula  $\beta^{+}$  rapidamente interage com um elétron do meio e ambos se aniquilam emitindo fótons, e seu número atômico diminui em uma unidade (MACHADO; PLEITEZ; TIJERO, 2006). O  $\bar{\nu}$  que é antimatéria do  $\nu$ , não tem massa e nem carga elétrica, é uma onda semelhante a luz.

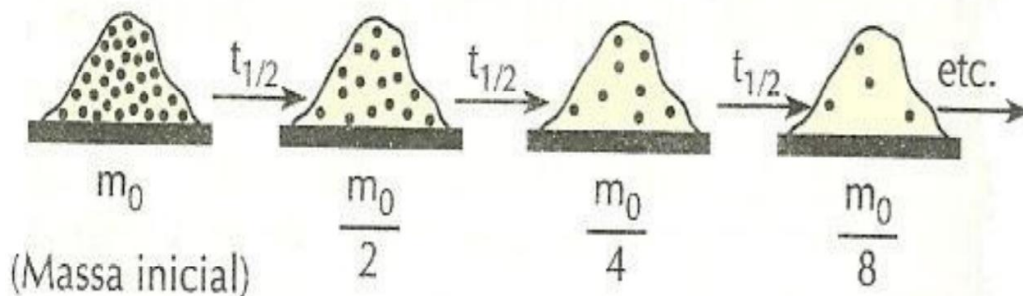
- ${}_Z X^A \rightarrow {}_{Z-1} Y^A + \beta^{+1} + \bar{\nu}$
- ${}^{207}_{83} Bi \rightarrow {}^{207}_{82} Pb + \beta^{+1} + \bar{\nu}$ . O átomo de *Bi* rapidamente perde *e* para o meio, ficando neutro.

## 7 – DESINTEGRAÇÃO RADIOATIVA

O termo desintegração ou decaimento radioativo foi defendido por Soddy e Rutherford em 1903, como no artigo “A causa e a natureza da radioatividade”. Eles diziam que através de seus estudos, que um material ao emitir radiações sofria desintegração, produzindo um novo

elemento químico com taxa de decaimento constante, onde deu o nome de tempo de meia vida (tempo de  $\frac{1}{2}$  vida). Dessa forma, tempo de  $\frac{1}{2}$  vida ou período de semidesintegração de um radioisótopo é o tempo necessário para desintegrar a metade dos átomos radioativos em outros não-radioativos existentes em uma dada amostra (CORDEIRO, 2011).

Figura 24 - A cada tempo de meia vida, cai para a metade a atividade radioativa de um determinado material que emite radiação.



Fonte: [https://qcon-assets-production.s3.amazonaws.com/slides/materiais\\_de\\_apoio/3967/40a2ebb65211cf95bd3fa9e11cb80a4fdd9dda28.pdf](https://qcon-assets-production.s3.amazonaws.com/slides/materiais_de_apoio/3967/40a2ebb65211cf95bd3fa9e11cb80a4fdd9dda28.pdf)

Cada radioisótopo tem seu tempo de  $\frac{1}{2}$  vida. Conhecer o tempo em que leva para se desintegrar é muito importante. Um bom exemplo a mencionar é para uso na medicina nuclear.

Radioisótopos ou radionuclídeos são isótopos instáveis que tem excesso de energia, e para ficar estável pode emitir radiações como a  $\alpha$ ,  $\beta^{-1}$ ,  $\gamma$ .

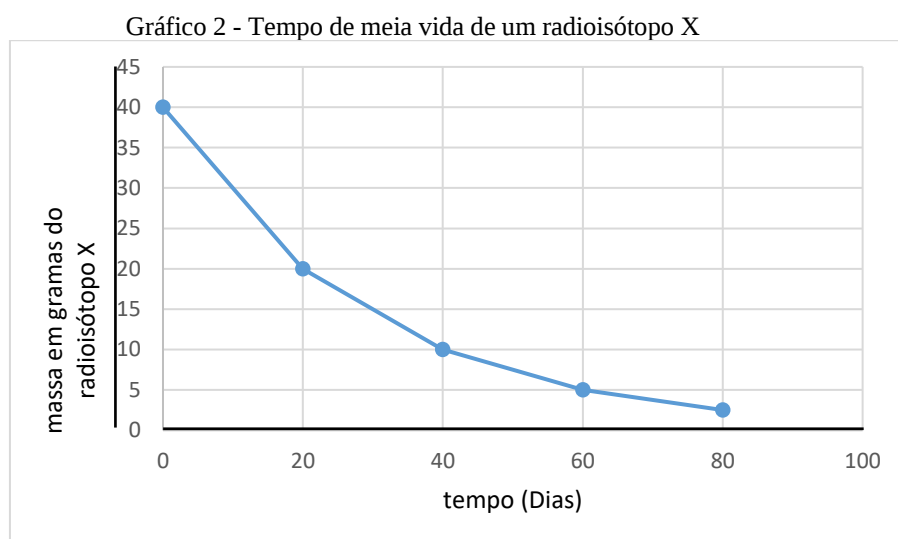
O tempo de  $\frac{1}{2}$  vida independe da pressão, temperatura e do composto químico no qual o radioisótopo está presente, uma vez que a radioatividade ocorre no núcleo do átomo e não no orbital atômico.

As reações que acontecem no orbital atômico, onde estão os  $e$ , são ditas de reações químicas, e reações que envolve o núcleo de reação nuclear. Vamos imaginar 40 gramas de um determinado radioisótopo X, e que tem seu tempo de  $\frac{1}{2}$  vida de 20 dias, qual será a massa residual após 80 dias?

R:

| Tempo (dias) | Quantidade da amostra<br>radioativa em gramas |
|--------------|-----------------------------------------------|
| 0            | 40                                            |
| 20           | 20                                            |
| 40           | 10                                            |
| 60           | 5                                             |
| 80           | 2,5                                           |

Após 80 dias restam 2,5g desse radioisótopo X. Podemos analisar através de gráfico:

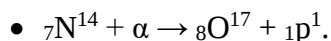


Até a descoberta da radioatividade, o átomo era dito como imutável, ou seja, não era possível se transformar em outro. Com as pesquisas na área da radioatividade esse cenário foi alterado e a tão sonhada pedra filosofal que era requisito dos alquimistas da idade média em partes passou a ser realidade.

Na natureza temos três principais séries de elementos que sofrem decaimento radioativo, onde o produto final é o átomo de chumbo:

- urânio ( ${}_{92}\text{U}^{238}$ )  $\rightarrow$  chumbo ( ${}_{82}\text{Pb}^{206}$ );
- actínídeo ( ${}_{91}\text{Ac}^{235}$ )  $\rightarrow$  chumbo ( ${}_{82}\text{Pb}^{207}$ );
- tório ( ${}_{90}\text{Th}^{232}$ )  $\rightarrow$  chumbo ( ${}_{82}\text{Pb}^{208}$ ).

Todas chegando aos isótopos estáveis do chumbo. Em 1919 Rutherford provou ser possível a transmutação artificial, quando bombardeou nitrogênio com partículas  $\alpha$  e chegando ao oxigênio como produto (BUONOCORE et al., 2019):



Em 1934, o casal Irene Curie e Frédéric Joliot, filha e genro de Marie Curie, descobriram a radioatividade artificial, ou seja, conseguiram produzir o isótopo do fosforo de massa-30 ( $\text{P}^{30}$ ) que não é encontrado na natureza. Chegaram a essa façanha bombardeando uma folha de alumínio-27 ( $\text{Al}^{27}$ ) com partículas  $\alpha$ . O primeiro elemento químico artificial produzido foi o Tecnécio (Tc) em 1937 por cientistas italianos, e alguns de seus isótopos podem ser usados na medicina.

## 8 – FISSÃO NUCLEAR

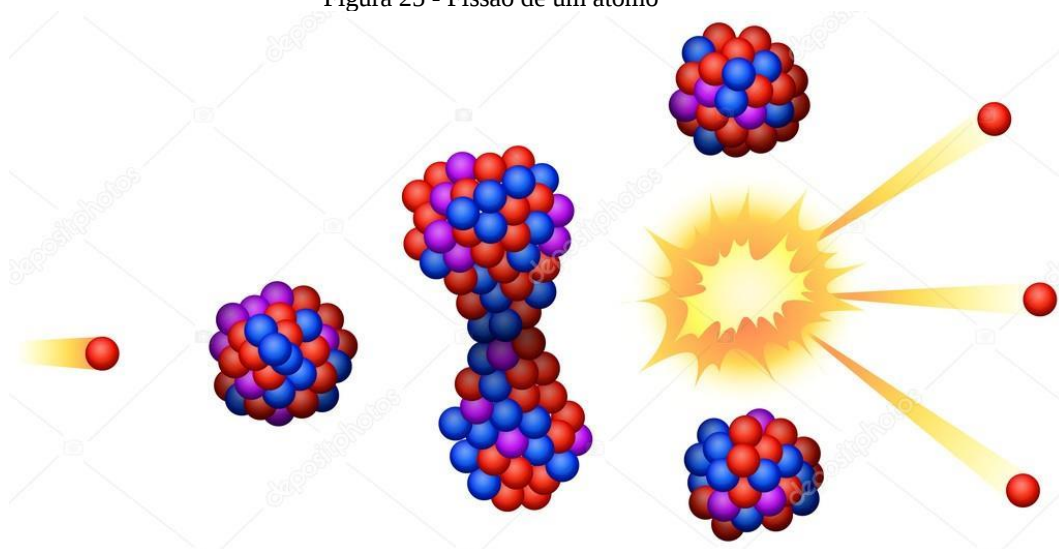
Fissão nuclear é a divisão de um núcleo grande de um átomo em dois núcleos menores, com liberação extremamente alta de energia.

Os cientistas perceberam que era possível produzir vários tipos de elementos químicos, que até então eram concebidos com o bombardeamento de partículas  $\alpha$ ,  $\beta^{-1}$  ou de próton até o início de 1930. Mas estavam se deparando com um problema, a partícula  $\alpha$  tinha massa e carga elevada para esse tipo de reação e sofria grande repulsão eletromagnética em átomo com número de massa atômica elevado, onde até o momento não é possível vencer a barreira colombiana e ocasionar a fusão. Com a descoberta do nêutron em 1932 começou a mudar esse cenário. Isso abriu espaço na corrida da produção dos transurânicos, elementos produzidos artificialmente com número atômico superior ao do urânio ( ${}_{92}\text{U}$ ). Como o nêutron não sofre repulsão com a barreira colombiana, que é a repulsão sofrida que dois núcleos precisam ultrapassar e assim ocasionar a fusão nuclear, sendo que ela aumenta com o número atômico, começaram a bombardear o urânio com essa nova partícula, na intenção de produzir novos elementos transurânicos pelo decaimento de partículas  $\beta^{-1}$ .

Perceberam algumas anomalias, como a presença de elemento químico não esperados na reação como bário, rádio, lantânio e outros, pois para a época era impossível considerar a quebra praticamente ao meio de um átomo de número atômico elevado formando dois ou mais elementos químicos (CORDEIRO; PEDUZZI, 2015).

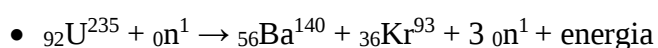
Em 1939, Meitner e Frisch publicaram um artigo explicando sobre tal anomalias, onde deu o nome de “fissão nuclear” que era a divisão de número atômicos grande em dois menores, tipo uma gota líquida que pode sofrer alongamento e se dividir (FIOLHAIS, 1992; TAVARES, 2019). Também há relatos de outros cientistas em 1938 sobre tal fenômeno.

Figura 25 - Fissão de um átomo

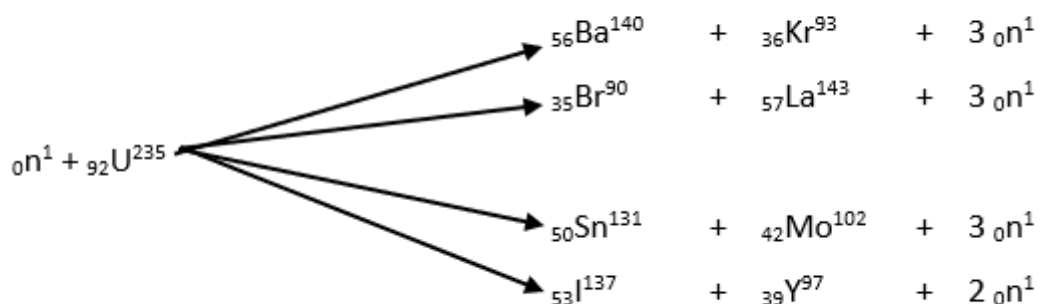


Fonte: <https://br.depositphotos.com/vector-images/fiss%C3%A3o.htmlhttps://www.greelane.com/pt/ci%c3%aancia-tecnologia-matem%c3%a1tica/ci%c3%aancia/nuclear-fission-definition-and-examples-4065372/>

Urânio bombardeado com nêutron libera uma enorme quantidade de energia que antes nunca visto por nenhum outro tipo de reação, deixando os cientistas da época muito intrigados:



A quebra do átomo forma novos elementos sem precedentes, tendo várias possibilidades como o Kr, Rb, Ba, Cs, Ra, La entre outros.

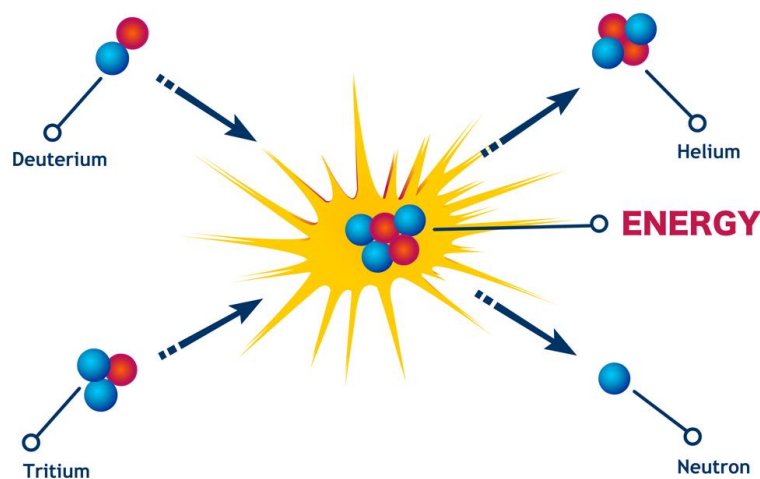


E assim deu início a corrida pela produção da bomba atômica usando a reação de fissão em cadeia.

## 9 – FUSÃO NUCLEAR

A fusão nuclear é uma reação inversa da fissão que divide o átomo praticamente ao meio. No caso, a fusão junta átomos menores, transformando-os em maiores.

Figura 26 - Reação de Fusão entre  ${}_1\text{H}^2$  e  ${}_1\text{H}^3$  transformando em  ${}_2\text{He}^4$ .



Fonte: <https://br.depositphotos.com/vector-images/fus%C3%A3o-do-hidrogenio.html?qview=194514390>

O primeiro cientista a falar sobre a fusão foi Hans Albrecht Bethe logo em seguida da descoberta da fissão nuclear em 1939. Em sua teoria relatava que a energia das estrelas era

devido a fusão de núcleos leves. Dizia que a fusão liberava ainda mais energia que a fissão (BETHE, 1939). A reação de fusão foi alcançada com a produção da bomba de hidrogênio.

Nas estrelas o principal processo na produção de energia é fusão nuclear de elementos leves como o hidrogênio em hélio, e consequentemente levando a formação de outros mais pesados como lítio, berílio, carbono, nitrogênio e outros. No sol, que é uma estrela, as reações é praticamente as mesmas observadas nas demais, com liberação de vários tipos de radiações, algumas chegando até a terra como os raios gamas (CECATTO, 2018).

## **10- RADIOATIVIDADE PARA FINS BÉLICOS**

### **10.1 – PROJETO Manhattan: Bombas Atômicas**

#### **10.1.1 – BOMBA DE FISSÃO**

Em 1942, o governo dos EUA foi convencido por cientistas a liberação de capital para a construção da primeira bomba atômica, e como estava acontecendo a segunda guerra mundial em que estava envolvido, nem hesitou. Esse evento ficou conhecido como Projeto Manhattan. Em dezembro de 1942 Enrico Fermi juntamente com sua equipe conseguiram com êxito a reação em cadeia autossuficiente com liberação de energia nuclear controlada. O primeiro reator nuclear conseguiu produzir 200 W e estava acoplado nas dependências da Universidade de Chicago (TAVARES, 2019). Em julho de 1945 foi lançado sobre o deserto do novo México a primeira bomba atômica como teste, a Trinity. Era constituída de  $\text{Pu}^{239}$  e liberou 20 quilotons, equivalente a 20 mil toneladas de bombas de Trinitrotolueno (TNT). No mês seguinte outras duas bombas foram lançadas no Japão de forma descomunal de reação nuclear, agora de maneira não controlada, dizimando milhares de pessoas de forma quase instantânea, pondo fim a segunda guerra mundial.

No dia 06 de agosto de 1945 foi lançada sobre a cidade Hiroshima a bomba Little Boy – menininho, sendo que seu material radioativo era de  $\text{U}^{235}$  enriquecido, dizimando cerca de 70 mil pessoas no momento da explosão e mais de 130 mil nos anos seguintes ainda com efeito da radiação. A última a ser lançada foi a Fat Man – homem gordo, tendo como material físsil o  $\text{Pu}^{239}$ , no dia 09 de agosto de 1945 sobre Nagasaki, deixando mais de 40 mil mortos no local, com indícios de 100 mil no decorrer dos anos seguintes. Os números de mortes são incertos, mas os murmúrios é que esses valores são ainda maiores.

Alguns dados das bombas atômicas:

- Little Boy – 3 metros de comprimento, 4400 kg de revestimento metálico, 60 kg de  $U^{235}$  físsil e com rendimento em torno 16 mil toneladas de TNT;
- Fat Man – 2,34 metros de comprimento. 4500 kg de revestimento metálico, 8 kg de  $Pu^{239}$  físsil e com rendimento em torno de 21 mil toneladas de TNT.

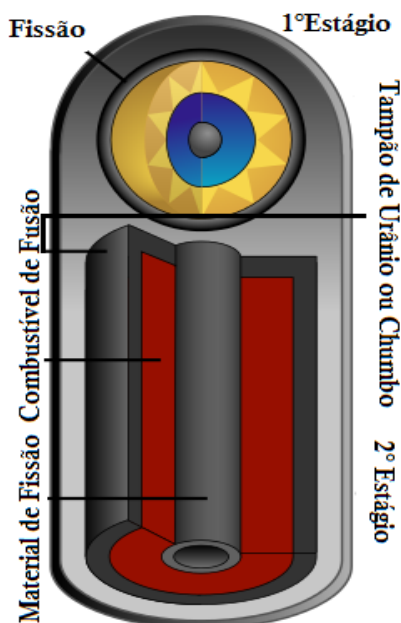
### 10.1.2 – BOMBA DE HIDROHÊNIO: FUSÃO

Para fabricar a bomba de hidrogênio é necessário fundir dois hidrogênios, transformando-os em hélio. Algo não tão simples. Essa reação acontece constantemente nas estrelas e no sol, e no caso é necessário oferecer uma grande quantidade de energia antes para começar a fusão. Para isso é necessária uma reação primária de fissão para disponibilizar altas temperaturas e assim dar início a reação secundária, a tão desejada fusão entre o deutério e trítio, fundindo instantaneamente e formando hélio:

- ${}_1H^2 + {}_1H^3 \rightarrow {}_2He^4 + {}_0n^1 + \text{energia (17,6 MeV – Megaelétron-volt)}$
- $1 \text{ MeV} = 1 \times 10^{-16} \text{ KJ}$

Em 1952, os EUA realizou o primeiro teste bem sucedido da bomba de hidrogênio, por nome de Ivy Mike. O projeto foi chefiado pelo físico americano de origem húngara Edward Teller. A bomba foi detonada no atol de Enewetak, situado na região central do Oceano Pacífico que por muitos anos foi usado pelos EUA como campo de atividades atômicas. A explosão liberou cerca de 10,4 megatons, equivalente a 10,4 milhões de toneladas de TNT, em média 1000 vezes superior a bomba que foi lançada sobre Hiroshima. No local formou uma cratera de 50 metros de profundidade e 2 km de extensão.

Figura 27 - imagem simplificada de uma bomba de Hidrogênio.



Fonte: <https://www.saberatualizado.com.br/2015/12/o-que-e-uma-bomba-de-hidrogenio.html>

## 10.2 – Bomba Tisar: Fusão e Fissão

O homem parece não ter limites, e a Rússia para não ficar atrás dos EUA na corrida armamentícia, em outubro de 1961 testou a bomba mais poderosa de todos os tempos, a Tsar Bomba. Na sua explosão ela liberou em média 50 megatons, equivalente a 50 milhões de toneladas de TNT (ÁLVARES; CRISTINA, 2018). Seu projeto inicial era de 100 megatons. Ela tinha alguns inconvenientes como: 8 m de comprimentos, 2 m de diâmetros e massa de 27 toneladas, praticamente a carga máxima que o avião conseguia levar, o que deixava muito lento, ou seja, facilmente de ser abatido por seus opositores. Tinha três estágios:

- Primeiro estágio uma bomba de fissão do tipo implosão;
- Segundo estágio era termonuclear, que também era fissão e dependia das condições da implosão primário para assim oferecer temperaturas ideais para o terceiro estágio, a fusão do deutério e trítio em hélio.

Figura 28 – Bomba Tsar.



Fonte: <http://www.nuclearweaponarchive.org/Russia/TsarBomba.html>

O teste aconteceu na Baía de Mityushika, Nova Zembla, uma ilha no oceano Ártico, um arquipélago russo no oceano pacífico. Após a explosão formou uma gigantesca nuvem em formato de cogumelo de 64 km de altura. No local o solo derreteu, virou magma (NUCLEAR, [s.d.]).

## 11 – RADIOATIVIDADE PARA FINS PACÍFICOS

### 11.1 – Energia Nuclear

Os primeiros reatores nucleares foram desenvolvidos com propósito de produção de  $\text{Pu}^{239}$  a partir de nêutrons com  $\text{U}^{238}$ . Com os estudos de que era possível a reação auto controlada e sustentável, perceberam que podiam usar na produção de energia elétrica. Em julho de 1954 foi inaugurado o primeiro reator na antiga União Soviética, com capacidade de 5 MWh (TAVARES, 2019). Assim deu início a corrida para a produção de energia elétrica através de reações nucleares. No Brasil, a construção da primeira usina nuclear teve início em 1971 em Angra dos Reis – RJ, com tecnologia americana (PASSOS et al., 2011). Começou a funcionar em 1985. Depois veio o acordo entre Brasil-Alemanha para instalação de Angra II e III. E nesse caso com tecnologia Alemã. Angra II foi inaugurada em 2000. Angra III que teve a sua construção no início dos anos 80, mais ainda espera por investimento e assim produzir energia e prevê uma geração de 1405 MWh (ELETRONUCLEAR, [s.d.]). As duas usinas produzem em média 2000 MWh, o que representa 3% da matriz energética nacional. Não podemos deixar de mencionar que a radioatividade oferece risco muito grande de contaminação caso venha ocorrer

algum desastre, como a usina nuclear de Chernobyl na Ucrânia em 1986 e o acidente de Goiânia em 1988 que ficou conhecido como “O acidente do Cs-137”, entre vários outros ocorridos. E se falando em usina nuclear ainda há os resíduos radioativos que devem ser armazenados em locais altamente seguros e por tempo indeterminado, o que a cada ano só aumenta o estoque de lixo radioativo. O que fazer futuramente para se dispor de tanto lixo? Até o momento não há solução com o lixo nuclear, uma vez que não é possível reciclá-los.

### **11.2 – Medicina Nuclear**

Hoje a radioatividade tem grande emprego na medicina, onde constantemente salva a vida de várias pessoas. Há uma vasta área de aplicabilidade dentro da medicina, como a utilização de Radioisótopos de  $I^{131}$  que tem seu tempo de  $\frac{1}{2}$  vida de oito dias, que é usado em diagnóstico para descobrir células cancerígenas, e também no tratamento da mesma. Radiofármacos como o  $I^{123}$ ,  $Tc^{99}$  tem papel importante no uso da cintilografia, que tem como base a análise da função dos tecidos e órgãos que estão com alguma anomalia. Nesse caso as imagens são imediatas devido a radiação emitida pelo radiofármaco administrado ao paciente. O tratamento precoce permite maior possibilidade de cura.

### **11.3 – Agricultura**

Na agricultura, a radioatividade também tem uma vasta aplicabilidade. É possível usar traçadores radioativos em plantas para verificar o que precisa para seu crescimento, em animais e insetos para monitorar de perto sobre seus hábitos, onde andam, o que comem e por quem são predados (CARDOSO, 2007). Pode se eliminar pragas de determinados insetos com esterilização de machos irradiados com raios  $\gamma$  e depois soltá-los na natureza para competir com os normais, reduzindo a sua reprodução, até serem eliminados (HAMMARSTRON et al., 2017). Produtos agrícolas irradiados aumenta seu tempo de armazenamento nas prateleiras, evitando apodrecimento por fungos ou bactérias, brotamento, enraizamento e até mesmo de murcharem.

Figura 29 - tubérculos e bulbos não irradiados e irradiados respectivamente



Fonte: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85131/tde-23102012-150844/publico/2012ModanezAceitacao.pdf>

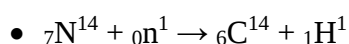
#### 11.4 – Indústria

Na indústria é bem difundida a gamagrafia, que é a impressão de radiação  $\gamma$  em filmes fotográficos para verificar se há fissuras nas peças metálica (SOUZA, OLIVEIRA, SIMONETTI, 2010). Muito usado na aviação para descobrir defeitos principalmente nas asas e turbinas. A utilização de radiação  $\gamma$  é fundamental na esterilização de materiais farmacêuticos e cirúrgicos. Tem emprego na petroquímica, para descobrir vazamento de fluido. São inúmeras as aplicações na área da indústria.

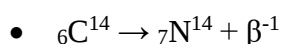
#### 11.5 – Arqueologia

Arqueólogos ao descobrir vestígio de fóssil orgânico – animal ou vegetal, se utilizam da datação do carbono-14 ( $C^{14}$ ) para análise de sua idade. Essa técnica de datação do  $C^{14}$  foi descoberta em 1949 por Willard Frank Libby, um químico norte americano (FRANCISCO; LIMA; ARÇARI, 2002).

Cada elemento químico radioativo se desintegra ou decai com o passar dos anos, transformando se outro elemento estável, ou seja, que não emita radiação. E cada elemento radioativo tem um determinado tempo de decaimento, que é chamado de  $\frac{1}{2}$  vida. O  $C^{14}$  por exemplo, a sua  $\frac{1}{2}$  vida é de 5730 anos. Após esse tempo, uma dada amostra decai para a metade a sua atividade radioativa. É formado nas camadas superiores da atmosfera, onde átomos de nitrogênio-14 ( $N^{14}$ ) são bombardeados por nêutrons vindo dos raios cósmicos:



Depois de formado reage com o oxigênio do ar formando o dióxido de carbono radioativo ( $C^{14}O_2$ ), sendo que sua concentração na natureza permanece constante. E como o dióxido de carbono normal ( $C^{12}O_2$ ) ele é absorvido pelas plantas e incorporado nos animais através da alimentação. Enquanto um animal ou vegetal continuar vivo, a sua concentração de  $C^{14}$  é a mesma que está presente na atmosfera. Quando o ser vivo morre, lentamente começa ocorrer o processo inverso, se desintegrando. Um nêutron de seu núcleo ao liberar uma partícula  $\beta^-$  se transforma em um próton. O próton permanece no núcleo, regenerando o  $N^{14}$ :



Dessa forma basta fazer a relação do  $C^{14}$  de um fóssil, onde sua concentração cai constantemente, com um ser que permanece vivo. Esse método é preciso até uns 70 mil anos, após isso pode ser usado o potássio radioativo –  $K^{40}$ , por meio da estratigrafia (CRUZ, 2002). A estratigrafia é uma área da geologia que estuda estratos ou camadas de rochas para identificar os eventos transcorridos há milhares de anos.

## 12 – CUIDADOS COM EXPERIÊNCIAS EM SALA DE AULA

Aulas experimentais por mais simples que possa parecer sempre requer alguns cuidados especiais como: vidrarias podem se quebrar, líquidos inflamáveis ou gases podem pegar fogo/explodir, não ficar perto de líquidos que tem facilidade de evaporar e que são irritantes como a amônia, não cheirar nada em um laboratório, ácidos/bases fortes podem ocasionar queimaduras em contato com a pele, choque ao manipular fios que estão conduzindo eletricidades, atenção ao manipular fogo, entre outros. Falando em experiencia que manipulam objetos que emitem algum tipo de radiação requer cuidados especiais com o tempo de exposição. Um bom exemplo é no uso da medicina que requer cautela na dose/exposição de remédio/tempo por substâncias radioativas e principalmente para os profissionais que atuam nessa área que necessitam equipamentos adequados para não serem contaminados (FERNANDES, 2019). A radiação é invisível e nossos corpos não sentem a sua presença. A partícula  $\gamma$  pode atravessar um corpo humano com facilidade e por ser ionizante devido o seu alto nível energético tem potencial de alterar o núcleo de uma célula e ocasionar o aparecimento de câncer (VIEIRA, 2022). O valor de radiação absorvido com segurança, sem correr nenhum perigo de acidente biológico como até mesmo de um câncer, é de 20 mSv/ano (VIEIRA, 2022).

Segurança em uma aula experimental está em primeiro lugar para uma aprendizagem significativa, sendo o professor que deverá tomar todos os cuidados possíveis para não acontecer nada que fruste e perturbe o conhecimento dos alunos.

### 13 – AULA PRÁTICA

Uma aula prática de química sempre é recebida de bom agrado pelos alunos, uma vez que os aproxima da realidade, saindo das aulas ditas tradicionais, apenas com teorias. Mas nem sempre é fácil realizar uma experiência, como a falta de um espaço adequado ou até mesmo por condições financeiras. E quando o assunto é radioatividade vem a dúvida “como fazer uma experiência de radioatividade em sala de aula?”. Para tal finalidade montamos um kit, contendo contador Geiger-Müller, rochas, areia e objetos radioativos como solda Tig e detector de fumaça de alarme de incêndio. O problema de usar o Contador Geiger-Müller profissional<sup>8</sup> é o valor, muito caro, podendo chegar a incríveis sessenta mil reais (R\$60.000,00).

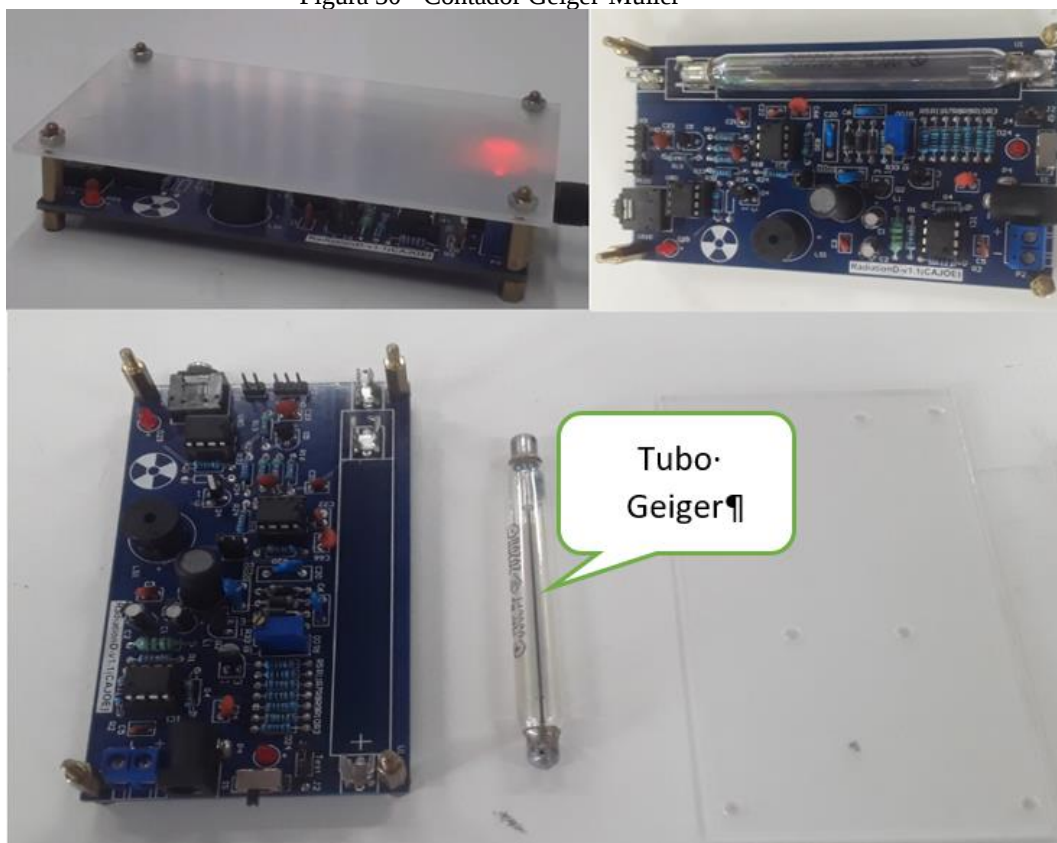
Um dispositivo que é relativamente barato e que serve para uso didático em experiência de radioatividade em sala de aula para identificar a presença de radiação é a plataforma Arduino<sup>9</sup>. O Arduino é uma placa usada para automação de projetos eletrônicos, robóticos. Feitos por profissionais ou até mesmo por pessoas amadoras. É possível a expansão dessa placa, ou seja, pode adicionar inteligência a ela, podendo até mesmo controlar remotamente. Também pode comprar já programada para determinada finalidade, como um Contador Geiger-Müller, com valor na faixa de duzentos reais (R\$200,00). Em minhas experiências usei um programado que consegue identificar a presença de radiação  $\beta$  e  $\gamma$ , e os raios-X.

---

<sup>8</sup> Valor de um Geiger-Müller profissional – [https://www.amazon.com.mx/GCA-07W-radiaci%C3%B3n-profesional-Certificaci%C3%B3n-Resoluci%C3%B3n/dp/B000796XSC/ref=pd\\_day0\\_scc1\\_1\\_15/144-8652995-0456405?pd\\_rd\\_w=bPgip&content-id=amzn1.sym.1c8f9346-a87e-48c7-994a-82c93e96af91&pf\\_rd\\_p=1c8f9346-a87e-48c7-994a-82c93e96af91&pf\\_rd\\_r=ZXNCR94SS074QWCM76N9&pd\\_rd\\_wg=EjIXz&pd\\_rd\\_r=f911efc0-7435-4677-9b67-6f5dc3f10f34&pd\\_rd\\_i=B000796XSC&psc=1](https://www.amazon.com.mx/GCA-07W-radiaci%C3%B3n-profesional-Certificaci%C3%B3n-Resoluci%C3%B3n/dp/B000796XSC/ref=pd_day0_scc1_1_15/144-8652995-0456405?pd_rd_w=bPgip&content-id=amzn1.sym.1c8f9346-a87e-48c7-994a-82c93e96af91&pf_rd_p=1c8f9346-a87e-48c7-994a-82c93e96af91&pf_rd_r=ZXNCR94SS074QWCM76N9&pd_rd_wg=EjIXz&pd_rd_r=f911efc0-7435-4677-9b67-6f5dc3f10f34&pd_rd_i=B000796XSC&psc=1)

<sup>9</sup> Valor de um Arduino já programado como contador Geiger-Müller – [https://pt.aliexpress.com/item/4001276010575.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.16137a21BMh8ED&algo\\_pvid=c3f9493a-f7e4-4960-8318-a1871f55ce04&algo\\_exp\\_id=c3f9493a-f7e4-4960-8318-a1871f55ce04-35](https://pt.aliexpress.com/item/4001276010575.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.16137a21BMh8ED&algo_pvid=c3f9493a-f7e4-4960-8318-a1871f55ce04&algo_exp_id=c3f9493a-f7e4-4960-8318-a1871f55ce04-35)

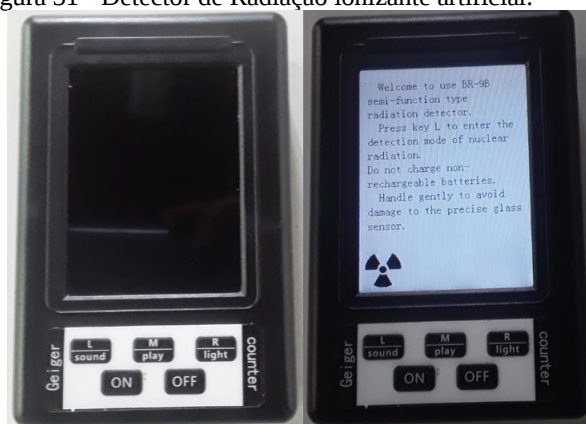
Figura 30 - Contador Geiger-Müller



Fonte: Imagem do próprio autor

Para comparar os resultados, usei também um outro modelo digital e portátil que identifica radiações  $\beta$ ,  $\gamma$  e raios-X. É um pouco mais caro, em torno de quatrocentos e vinte reais (R\$420,00).

Figura 31 - Detetor de Radiação ionizante artificial.



Fonte: imagem do próprio autor.

O Primeiro modelo irei chamar de contador Geiger-Müller e o segundo de detector de Radiação Artificial. Mas antes temos que entender um pouco de suas configurações. Para a identificação de dose de radiação existem as unidades no Sistema Internacional (SI). Uma aceita pelo SI é o Sievert (Sv). Essa unidade não é usada para alta taxa de dose de radioatividade. O nome é devido ao físico e médico Rolf Maximilian Sievert por seus trabalhos sobre os efeitos biológicos de doses de radiação. A seguir há uma tabela de algumas unidades de radiações e de suas conversões:

Tabela 6 – Unidades de radiação e suas conversões de radiação/hora

| Valor | Unidade | Converter para                      | Valor     |
|-------|---------|-------------------------------------|-----------|
| 1     | Sv      | Milisievert – mSv                   | 1.000     |
| 1     | Sv      | Microsievert - $\mu$ Sv             | 1.000.000 |
| 1     | Sv      | Homem equivalente<br>Roentgen – rem | 100       |
| 1     | Sv      | Joule por Quilograma –<br>J/kg      | 1         |
| 1     | Sv      | Cinza – Gy                          | 1         |

O detector de Radiação Artificial que tem o leitor digital e o contador Geiger-Müller que identifica a radiação por um bipe através de um alto-falante acoplado são bem sensíveis, onde é possível identificar a presença de 0,01  $\mu$ Sv/h.

A dose máxima de radiação sugerida com segurança não deve ultrapassar 20 mS/ano.

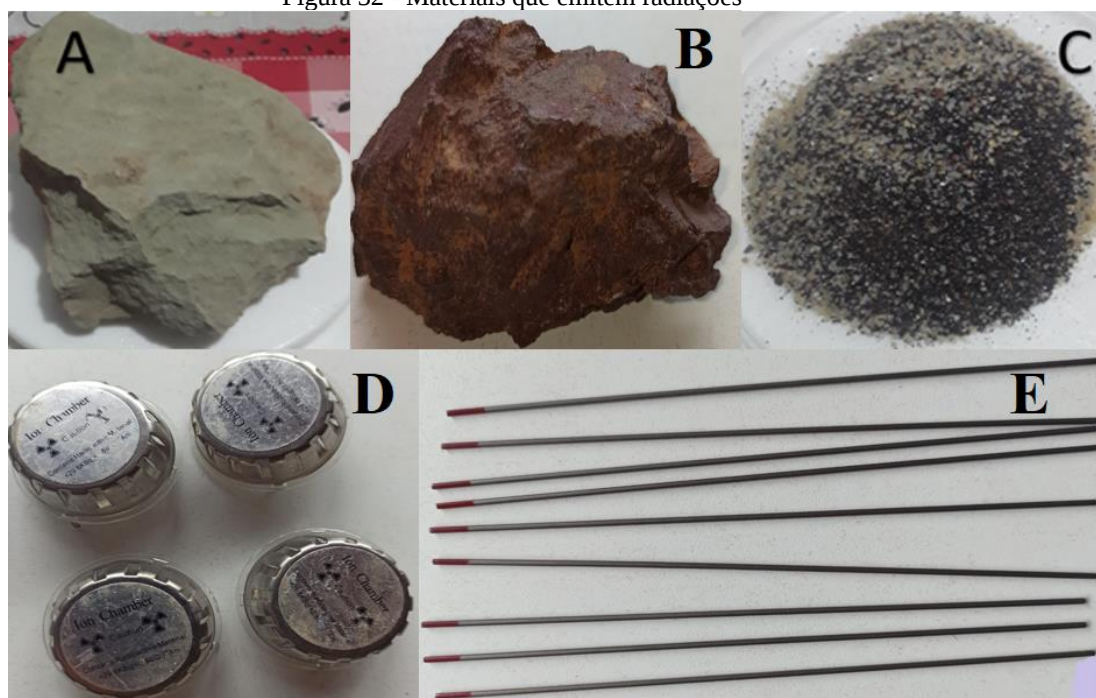
Para tal prática é necessário ter material radioativo para emitir radiações e serem detectadas pelo contador Geiger-Müller. A seguir tem uma lista de materiais radioativos relativamente fácil de adquirir e com preço viável:

Tabela 7 - Lista de material radioativo

| Tipo de material radioativo              | Tipo de Elemento Radioativo | Onde encontrar           | Valor R\$        |
|------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------|------------------|
| Detector de fumaça de alarme de incêndio | Amerício – Am-241           | Mercado on-line da China | Quatro por 80,00 |

|                                        |                          |                                             |                                                                      |
|----------------------------------------|--------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| Solda Tig                              | Tório – Th               | Loja de ferramentas                         | 10 por 78,00                                                         |
| Areia monazítica                       | Tório – Th               | Praias de Guarapari – ES                    | 47g. Doação do Prof. Dr. Marco Antonio Utrera Martines               |
| Rocha Caldosito – tipo ígnea vulcânica | Urânio – U<br>Tório – Th | Poços de Caldas – MG                        | 129g. Doação do Marcos Perruci do Lab Multi 3 (UFV, Poços de Caldas) |
| Rocha geológica – formação de Uberaba  | Urânio – U<br>Tório – Th | Avenida Niza Marques Guaritá – Uberaba – MG | 720g. Doação do Prof. Dr. Thiago da Silva Marinho                    |

Figura 32 - Materiais que emitem radiações



Fonte: Imagem do próprio autor.

- A: Rocha geológica de 720g. Formação de Uberaba - MG;
- B: Rocha Caldosito – tipo ígnea vulcânica de 129g. Poços de Caldas – MG;
- C: 47g de areia monazítica da Praia de Guarapari - ES;
- D: Detector de Fumaça de alarme de incêndio;
- E: Solda Tig;

### 13.1 – Experiências e Resultados

As experiências e resultados estão dispostos nas tabelas a seguir:

Tabela 8 - Detector de Radiação Artificial

| Experiência                                    | Resultado da experiência 1                                                           | Resultado da experiência 2                                 |
|------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| Ambiente sem a presença de material radioativo | Máximo de 0,1 $\mu\text{Sv}$ . Nesse caso foi detectado a radiação cósmica de fundo. |                                                            |
| Areia Monazítica                               | Máxima de 1,07 $\mu\text{Sv}$ usando 47g de areia.                                   |                                                            |
| Rocha Caldosito – tipo ígnea vulcânica         | Máxima de 1,31 $\mu\text{Sv}$ usando 129g de rocha.                                  |                                                            |
| Rocha geológica – formação de Uberaba          | Máxima de 0,32 $\mu\text{Sv}$ usando 720g de rocha.                                  |                                                            |
| Detector de fumaça de alarme de incêndio       | Usando 1 detector, máximo de 0,18 $\mu\text{Sv}$ .                                   | Usando 4 detectores chegou a 0,33 $\mu\text{Sv}$ .         |
| Solda Tig                                      | Usando 1 vareta de solda Tig, máximo de 0,17 $\mu\text{Sv}$ .                        | Máximo de 0,31 $\mu\text{Sv}$ com 10 varetas de solda Tig. |

Os  $\mu\text{Sv}$  identificados nessas experiências foram devidos a presença de radiação  $\beta$  e  $\gamma$ .

Tabela 9 - Contador Geiger-Müller

| Experiência                            | Resultado da experiência 1                                                                               | Resultado da experiência 2 |
|----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| Areia Monazítica                       | Usando 47g de areia foram detectados em média 64 bipes em 47s.                                           |                            |
| Rocha Caldosito – tipo ígnea vulcânica | Usando 129g de rocha, não foi possível identificar o total de bipes, mas certamente acima de 120 em 47s. |                            |

|                                                           |                                                                                                                       |                                                           |
|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Rocha geológica – formação de Uberaba                     | Usando 720g de rocha foram detectados 16 bipes em 42s.                                                                |                                                           |
| Detector de fumaça de alarme de incêndio                  | Usando 1 detector, foram identificados 16 bipes em 40s.                                                               | Usando 4 detectores, foram identificados 21 bipes em 40s. |
| Solda Tig                                                 | Usando 1 vareta foram detectados 15 bipes em 44s.                                                                     | Usando 10 varetas foram detectados +- 31 bipes em 40s.    |
| Areia Monazítica, detector de fumaça, solda Tig e rochas. | Usando 47g de areia, 4 detectores, 10 varetas de solda, mais rochas, não foi possível contar o total de bipes em 45s. |                                                           |

Os bipes identificados nessas experiências foram devidas as radiações  $\beta$  e  $\gamma$ .

A seguir há duas tabelas com os links de vídeos das experiências que foram realizadas para identificar a presença de radiação:

Tabela 10 - Links para assistir os vídeos das experiências usando o Contador Geiger-Müller

| <b>Vídeos</b>                                                        | <b>Total de experiências realizadas</b> | <b>Tempo de duração – min/s</b> | <b>Links</b>                                                                                          |
|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Solda Tig                                                            | Duas experiências                       | 1:27                            | <a href="https://youtu.be/ojZSNK2zIXc">https://youtu.be/ojZSNK2zIXc</a>                               |
| Detector de Fumaça                                                   | Duas experiências                       | 1:20                            | <a href="https://youtu.be/Vr8fpaCx7iM">https://youtu.be/Vr8fpaCx7iM</a>                               |
| Rocha geológica – formação de Uberaba                                | Uma Experiência                         | 0:47                            | <a href="https://www.youtube.com/watch?v=ZyLPhZHj8yM">https://www.youtube.com/watch?v=ZyLPhZHj8yM</a> |
| Rocha Caldosito – tipo ígnea vulcânica                               | Uma Experiência                         | 0:48                            | <a href="https://youtu.be/SMWYKcAnrkU">https://youtu.be/SMWYKcAnrkU</a>                               |
| Areia Monazítica                                                     | Uma Experiência                         | 0:47                            | <a href="https://youtu.be/X7BA46POgBc">https://youtu.be/X7BA46POgBc</a>                               |
| Areia Monazítica, detector de fumaça, solda Tig e rochas radioativas | Uma Experiência                         | 0:45                            | <a href="https://youtu.be/YhV48njcF9U">https://youtu.be/YhV48njcF9U</a>                               |

Tabela 11 - Links para assistir os vídeos das experiências usando o detector de Radiação Artificial

| <b>Vídeos</b>                          | <b>Total de experiências realizadas</b> | <b>Tempo de duração – min/s</b> | <b>Links</b>                                                            |
|----------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| Radiação de Fundo                      | Uma experiência                         | 2:10                            | <a href="https://youtu.be/87PVWI0e1nk">https://youtu.be/87PVWI0e1nk</a> |
| Solda Tig                              | Duas experiências                       | 4:08                            | <a href="https://youtu.be/fKASGI0GoEw">https://youtu.be/fKASGI0GoEw</a> |
| Detector de Fumaça                     | Duas experiências                       | 3:30                            | <a href="https://youtu.be/dRV4xzHJ1dA">https://youtu.be/dRV4xzHJ1dA</a> |
| Rocha geológica – formação de Uberaba  | Uma Experiência                         | 2:03                            | <a href="https://youtu.be/6TyZzKwmz8Q">https://youtu.be/6TyZzKwmz8Q</a> |
| Rocha Caldosito – tipo ígnea vulcânica | Uma Experiência                         | 3:02                            | <a href="https://youtu.be/HQe75bcjf28">https://youtu.be/HQe75bcjf28</a> |
| Areia Monazítica                       | Uma Experiência                         | 2:34                            | <a href="https://youtu.be/d-oK5Taa6Yc">https://youtu.be/d-oK5Taa6Yc</a> |

Figura 55 Mapa conceitual: Representação esquemática da radioatividade

```

graph TD
    Radioatividade[Radioatividade] -- "é um" --> Fenomeno[Fenômeno]
    Radioatividade -- "que vem do" --> Atomo[Átomo]
    Fenomeno -- "que possui" --> Nucleo[Núcleo]
    Atomo -- "onde estão os" --> Nucleo
    Atomo -- "onde estão os" --> Orbitais[Orbitais Atômicos]
    Nucleo -- "ocorre reações do tipo" --> Nuclear[Nuclear]
    Nuclear -- "com liberação" --> Energia[Extremamente alta de energia]
    Nuclear -- "com aplicação" --> Medicina[Medicina]
    Nuclear -- "com aplicação" --> Bombas[Bombas]
    Nuclear -- "com aplicação" --> Energia[Energia]
    Nuclear -- "com aplicação" --> Agricultura[Agricultura]
    Nuclear -- "com aplicação" --> Industria[Indústria]
    Nuclear -- "com aplicação" --> Arqueologia[Arqueologia]
    Energia -- "com emissão de" --> Radiação[Radiação α, β, γ]
    Radiação -- "que" --> Ioniza[Ioniza átomos e moléculas]
    Ioniza -- "que" --> RaiosX[Raios-X]
    RaiosX -- "ocorrem as reações" --> Quimicas[Químicas]
    RaiosX -- "pode ser detectado pelo" --> GeigerMuller[Geiger-Müller]
    GeigerMuller -- "que identifica" --> MaterialRadioativo[Material radioativo]
    MaterialRadioativo -- "como" --> Areia[Areia]
    MaterialRadioativo -- "como" --> Rocha[Rocha]
    MaterialRadioativo -- "como" --> Vareta[Vareta de solda]
    MaterialRadioativo -- "como" --> DetectorFumaça[Detector de fumaça]
  
```

Fonte: Próprio autor

## 15 – COMENTÁRIOS

Analisando as experiências realizadas com a Plataforma Arduino, é possível fazer uma aula experimental de radioatividade para uma aprendizagem potencialmente significativa em sala de aula, sem a necessidade de um laboratório adequado, para identificar a presença de radiação usando materiais de custo viável. Sem falar que esses materiais podem ser usados por vários anos. A intenção foi produzir um kit (contendo um Contador Geiger-Müller de baixo custo, amostras de material radioativo, e material teórico). Experiência em sala de aula com esse nível de radiação não oferece risco a saúde dos professores/estudantes, uma vez que o maior resultado coletado nas experiências foi de 1,31  $\mu\text{Sv/h}$ , enquanto o nível recomendado com segurança é de 20 mSv/h.

Para a experiência em sala de aula ficar mais intrigante, o professor pode levar amostras de areias, rochas e objetos que não são radioativos e deixar de formas aleatórias com os que emitem algum tipo de radiação, com uma distância média de uns três metros um do outro para não interferir no resultado. Pedir para os alunos identificarem quais emitem radiação usando o Contador Geiger-Müller.

O conhecimento articulado com a prática, despertam nos estudantes o lado científico, sendo capazes de traçarem seus projetos de vida, ingressando no mundo do trabalho de forma coerente e responsável. Promover as competências e habilidades nos alunos são tarefas que estão envolvidas com a investigação científica, para assim despertar novas descobertas, desenvolvendo as funções cognitivas e socioemocionais necessárias para o seu engrandecimento humano. E nada melhor que contextualizar os saberes unindo práticas e teorias, despertando nos alunos a curiosidade para o mundo científico.

## 16 – APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

Aprendizagem significativa é um conceito que foi defendido por David Paul Ausubel em 1963. Ausubel era um cognitivista Americano. A aprendizagem significativa são ideias que se expressam simbolicamente e que estão relacionadas as informações antecipadas e adquiridas pelos alunos através de relações não arbitrárias e substantivas, ou seja, se relacionam a outras existentes.

Os conhecimentos que nossos alunos adquirem se assimilam com os conhecimentos prévios que possuem. Esse conhecimento prévio é chamado de subsunçor. A aprendizagem significativa ocorre quando a nova informação se ancora aos subsunçores existente na estrutura

cognitiva do aluno (MOREIRA, M, 2011). Dessa forma a aprendizagem significativa ocorre com a modificação de subsunçores, com seu aperfeiçoamento ou até mesmo em novos subsunçores. As estruturas cognitivas são como uma hierarquia de conceitos, que se organizam de forma hierarca de conhecimento e que se comunicam entre si.

Ausubel propõe que a assimilação de conhecimentos depende de alguns fatores fundamentais como a linguagem que o professor usa em sala de aula, organização do material a ser utilizado e principalmente em saber do conhecimento prévio do aluno para que ocorra a ancoragem das novas informações de forma substancial e não mecânica (COSTA, 2012). Quando a aprendizagem ocorre de forma significativa, o aluno tem condições de repassar o conhecimento em diferentes contextos daquele que lhe foi repassado. Na aprendizagem mecânica, as novas informações são armazenadas de forma arbitrária e literal, não interagindo de forma significativa com os subsunçores existentes, deixando de ser potencializado com a estrutura cognitiva. Por um certo tempo o aluno que aprende de forma mecânica é capaz de reproduzir a informação sem relacionar com outros contextos, não tendo habilidades necessárias para assimilar com outras referências que faz parta da sua estrutura cognitiva.

Joseph Donald Novak é empresário e educador americano. Na educação segue a linha construtivista/cognitivista e utiliza a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel para trabalhar com seus Mapas Conceituais. Novak publicou a sua teoria sobre a aprendizagem humana utilizando mapas conceituais em 1977 (COSTA, 2012). Hoje a utilização de mapas conceituais em sala de aula tem grande influência na aprendizagem significativa.

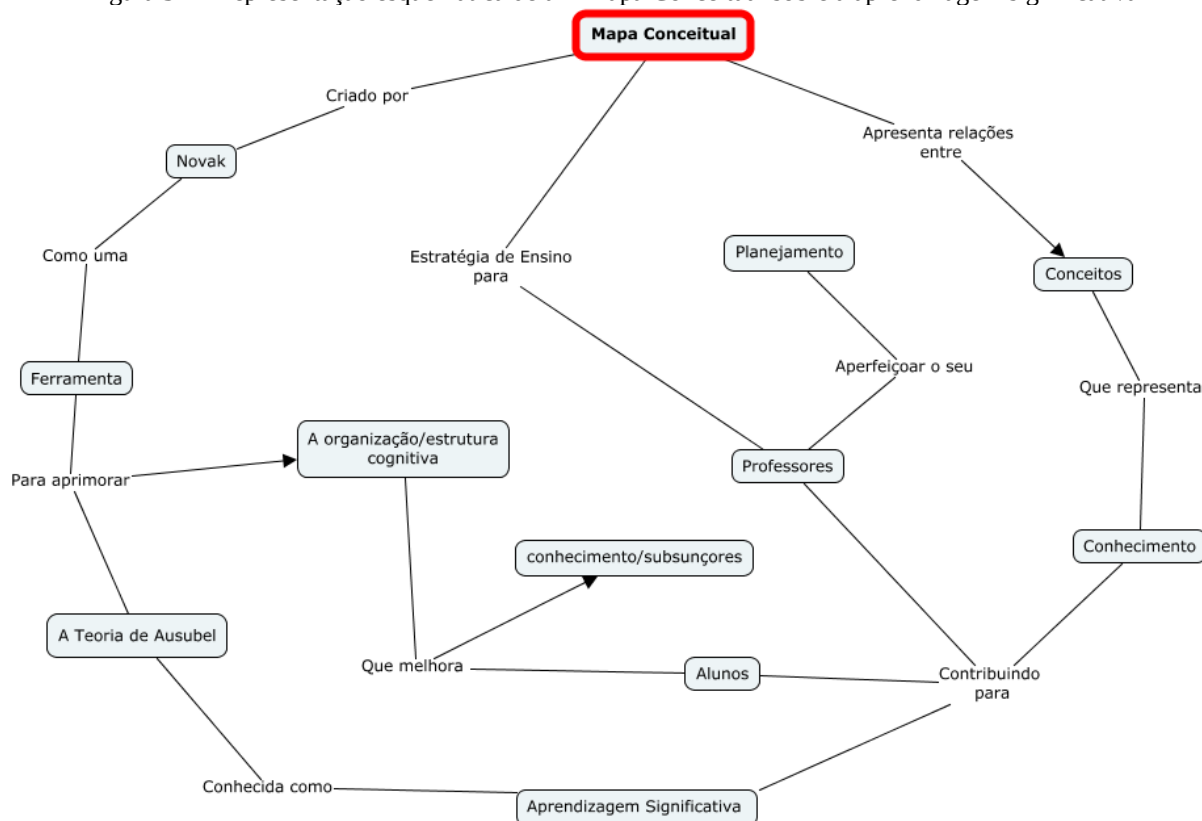
A utilização do mapa conceitual é para favorecer a compreensão do ensino sobre determinado conteúdo trabalhado, contribuindo para a organização cognitiva. Serve também como ferramenta para organizar de forma hierárquica conceitos e proposições de aspectos simplificados, estabelecendo relações as informações ditas como simples as mais complexas. Lembrando que o sujeito, que é o aprendiz, deve estar estimulado a relacionar o novo subsunçor com outros já existentes.

A utilização de mapas conceituais por Novak foi devido a necessidade de que o conhecimento fosse representado em forma de conceitos para uma melhor compreensão de como as crianças aprendiam através da assimilação, imposta pela psicologia da aprendizagem significativa de Ausubel (NOVAK; CAÑAS, 2008).

Para Novak a junção entre pensamento, ação e sentimentos leva ao engrandecimento humano, pois se considerar esses três fatores é possível chegar a aprendizagem significativa (MOREIRA, M, 1999). Novak deixa claro que aprender de maneira significativa deve haver um compartilhamento de sentimentos entre professor e alunos e assim compartilhar significados com objetivos claros e de forma contextualizada.

### 16.1 – Mapa Conceitual Como Ferramenta de Ensino

Figura 34 – Representação esquemática de um Mapa Conceitual sobre a aprendizagem significativa



Fonte: Próprio autor

## 17 – REFERÊNCIA

ÁLVARES, G.; CRISTINA, S. **A História da Bomba**. 2018. Disponível em: <<https://unodaminionu2018.wordpress.com/2018/08/13/a-historia-da-bomba/>>. Acesso em: 10 de maio 2002.

BETHE, H. A. Energy Procution in Stars. **Physical Review**, Cornell University, Ithaca, New York, v. 55, n. 1, p. 434–456, 07 set.1938.

BRACARENSE, A. Q. Processo de Soldagem TIG-Gtaw. **Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais – Escola de Engenharia Pós-graduação Engenharia Mecânica**, Belo Horizonte, maio. 2000. p. 44.

BUONOCORE, T. C. C. et al. Energia das radiações: radioatividade natural e artificial, radiações ionizantes e excitantes. **UNISANTA Bioscience**, Jundiaí, v. 8, n. 4, p. 447–457, jan. 2019.

CAMPBELL, J. **Rutherford - Uma breve biografia**. 2001. Disponível em: <<http://www.rutherford.org.nz/biography.htm>>. Acesso em: 21 fev. 2021.

CARDOSO, E. M. Energia Nuclear e seus benefícios. **Apostila Educativa**, v. 21, p. 197–220, 2007.

CECATTO, J. R. O Sol. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE**. São José dos Campos, 2018.

CHODOS, A. **Invenção do Contador Geiger**. 2007. Disponível em: <<https://www.aps.org/publications/apsnews/201206/physicshistory.cfm>>. Acesso em: 2 maio. 2021.

CORDEIRO, Marinês Domingues. **Dos Curie a Rutherford: aspectos históricos e epistemológicos da radioatividade na formação científica**. Florianópolis, 2011. Dissertação (Mestrado em Educação Científica e Tecnológica) - Curso de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina.

CORDEIRO, M. D.; PEDUZZI, L. O. Q. Racionalidade na descoberta da fissão nuclear. **X Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – X ENPEC**, Águas de Lindóia, p. 1-8, 24 a 27 de Nov. 2015.

CORDEIRO, M. D.; PEDUZZI, L. O. Q. Aspectos da natureza da ciência e do trabalho científico no período inicial de desenvolvimento da radioatividade. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 33, n. 3, out. 2011.

COSTA, J. E. P. A. **Teoria da Assimilação: construindo redes de saberes no contexto da educação digital**. João Pessoa, 2012. 106f. Dissertação (Mestrado em Educação) - Curso de Pós-Graduação em Educação, Universidade Federal da Paraíba.

CRUZ, A. Ensaio em Arqueologia. **Instituto Politécnico de Tomar**, Portugal, v. 1, p. 121, 2002.

DELLAMANO, J. C.; VICENTE, R. Gestão de Detectores de Fumaça no IPEN. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE**. São Paulo. Setembro, p. 1–8, 2006.

DIERKA, Tiago. **Manual De Atividade Pedagógica Teórico - Prática De Física Nuclear – Detecção Da Radiação Nuclear Para o Ensino Médio**. Santa Cruz, 2017. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) - Curso de Pós-Graduação em Mestrado Profissional em Ensino de Ciências e Matemática, Universidade Estadual do Centro-Oeste.

ELETRONUCLEAR. **Angra 3**, [s.d.].Disponível em: <<https://www.eletronuclear.gov.br/Nossas-Atividades/Paginas/Angra-3.aspx>>. Acesso em: 03 de maio 2022.

FERNANDES, S. C. P. **Dosimetria e cuidados de radioproteção para pacientes submetidos a procedimentos diagnósticos em Medicina Nuclear**. São Paulo, 2019. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Curso de Pós-Graduação em Ciências, Faculdade de Medicina - Universidade de São Paulo.

FIOLHAIS, C. Pré-História e História da Física Nuclear. **Repositório Geral - Repositório Científico da UC**. Coimbra, p. 9-23, 1992. Disponível em: <<https://estudogeral.sib.uc.pt/handle/10316/41235>>. Acesso em: 05 jan. 2022.

FRANCISCO, J. A. S.; LIMA, A. A.; ARÇARI, D. P. **Datação por Carbono-14/ The Carbon-14 Dating**. p. 1–11, 2002. Disponível em: < [https://portal.unisepe.com.br/unifia/wp-content/uploads/sites/10001/2018/06/1gestao\\_foco\\_Carbono14.pdf](https://portal.unisepe.com.br/unifia/wp-content/uploads/sites/10001/2018/06/1gestao_foco_Carbono14.pdf)>. Acesso em: 01 set. 2022.

GIESEL, F. O. **Ueber Die Ablenkbarkeit Der Becquerelstrahlen Im Magnetischen Felde**. p. 9–11, 1899.

GOMES, C. H. **Caracterização das rochas vulcânicas e plutônicas félsicas e intermediárias do Alvo Estrela (Cu-Au), Serra de Carajás, Pará**. São Leopoldo, 2006. 126f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Pós-Graduação em Geologia - Universidade do Vale do Rio dos Sinos.

GRAF, H. Doença nodular de tireoide. **Arquivos Brasileiros de Endocrinologia & Metabologia**, Curitiba, v. 48, n. 1, p. 93–104, 01/fev. 2004.

HAMMARSTRON, H. DE J. et al. Aplicações Da Radiação Na Agricultura. **Mostra Interativa da Produção Estudantil em Educação Científica e Tecnológica**, p. 3–6, 2017.

HOFFMANN-CAMPO, C. B. et al. Pragas da soja no Brasil e seu manejo integrado. **Embrapa**, Londrina, 2000.

JUNIOR, L. E.; JUNGER, A. P. O Lado Turístico de Guarapari: Tradições e Culturas. **Pesquisa em debate**, v. 1, n. 3, p. 1–25, 2009.

MACHADO, A. C. B.; PLEITEZ, V.; TIJERO, M. C. Usando a antimatéria na medicina moderna. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, n. 4, p. 407–416, maio 2006.

MARQUES, Deividi Marcio. **As Investigações de Ernest Rutherford Sobre a Estrutura da Matéria - contribuições para o ensino de Química**. Bauru, 2006. 182f. Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência) - Curso de Pós-Graduação em Ensino de Ciências, Universidade Estadual Paulista.

MARTINS, R. A. Como Becquerel não descobriu a radioatividade. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 7, n. 0, p. 27–45, jun.1990.

MARTINS, W. D. Wilhelm Conrad Roentgen e a Descoberta dos Raios-X. **Revista de Clínica e Pesquisa Odontológica**, São Paulo, v. 1, p. 59–63, jan./mar. 2005.

MENDONÇA, F. Aquecimento global e saúde: uma perspectiva geográfica–notas introdutórias. **Terra Livre**, São Paulo, v. I, p. 205–221, jan./jul. 2003.

MONTEIRO, K. F.; GRUBBA, L. S. A Luta Das Mulheres Pelo Espaço Público Na Primeira Onda Do Feminismo: De Suffragettes Às Sufragistas. **Direito e Desenvolvimento**, João Pessoa, v. 8, n. 2, p. 261, nov. 2017.

MOREIRA, I. D. C. Conferência Nobel de Thomson sobre a Descoberta do Elétron. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 19, n. 3, p. 299–307, set. 1997.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem Significativa**. Fórum Permanente de Professores. Brasília. UnB. 1999. 130p.

MOREIRA, M. A. Aprendizagem Significativa: Um Conceito Subjacente. **Aprendizagem Significativa em Revista**, Porto Alegre, v. 1, n. 3, p. 25–46, 2011

MOURA, J. C. DE. **Estudo da Variação Sazonal dos Níveis de Radiação Gama na Praia da Areia Preta, Guarapari, Espírito Santo, Brasil**: Radiometria e Análise de Risco Ambiental. Vitória, 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Pós-Graduação em Engenharia Ambiental do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo

NOVAK, J. D.; CAÑAS, A. J. A Teoria Subjacente aos Mapas Conceituais e Como Elaborá-los e Usá-los. **Práxis Educativa**, Ponta Grossa, v. 05, n. 1, p. 1–36, jan./jun. 2008.

NUCLEAR, W. C. O. **Big Ivan , The Tsar Bomba (“Rei das Bombas”) - A maior arma nuclear do mundo**, [s.d.]. Disponível em: <<http://www.nuclearweaponarchive.org/Russia/TsarBomba.html#Feoktistov99>>. Acesso em: 05 out. 2021.

PASSOS, A. P. et al. Energia nuclear: o poder do átomo. **Revista Eletrônica - Colégio Mãe de Jesus**, Porto Alegre, v. 2, p. 1–12, set. 2011.

SECCO, Marcello. **Desenvolvimento de Dispositivo Movimentador Automatizado de Amostras Com Vista à Aplicação em Medidas de Radioisótopos que Possuem Curto Tempo de Meia-Vida**. São Paulo, 2016. Dissertação (Mestrado em Ciências da Tecnologia Nuclear) - Curso de Pós-Graduação em Ciências da Tecnologia da Educação, Universidade de São Paulo.

SILVA, R. W. C.; PAULA, B. L. Causa do aquecimento global : antropogênica versus natural. **Terra e Didática**, v. 5, n. 1, p. 42–49, 2009.

SOUZA, L. S. DE; OLIVEIRA, R. C.; SIMONETTI, M. J. **A Energia Nuclear e sua Aplicação Industrial**, 2010. Disponível em: <<https://silo.tips/download/a-energia-nuclear-e-sua-aplicacao-industrial>>. Acesso em: 07 jun. 2022.

TAVARES, O. A. P. 80 Anos Da Fissão Nuclear: a Mais Abundante Fonte De Energia Disponível Para a Humanidade. **Ciência e Sociedade**, Macapá, v. 6, n. 2, p. 19–34, abr. 2019.

TRANCOSO, Marcelo Daleno. **A História das Ciências Colaborando no estudo da Estrutura Atômica e dos Modelos Atômicos no Ensino Médio**. Rio de Janeiro, 2016. 202f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Química) - Curso de Pós-Graduação em Ensino de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

VIEIRA, G. S. **Estudo de coorte sobre exposição ocupacional à radiação ionizante e câncer em instituição pública brasileira**. São Paulo, 2022. Tese (Doutorado em Ciências) – Curso de Pós-Graduação em Ciências, Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo