



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
POLO 39 – UFSC – FLORIANÓPOLIS
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

Sandro Rogério Bagnara

Oficinas Pedagógicas de Física: uma proposta de complemento às aulas de Física.

Florianópolis

2020



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
POLO 39 – UFSC – FLORIANÓPOLIS
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

Sandro Rogério Bagnara

Oficinas Pedagógicas de Física: uma proposta de complemento às aulas de Física.

Florianópolis

2020

Sandro Rogério Bagnara

Oficinas Pedagógicas de Física: uma proposta de complemento às aulas de Física.

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Federal de Santa Catarina no curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.
Orientador: Prof. Dr. Marcio Santos

Florianópolis

2020

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

BAGNARA, SANDRO ROGÉRIO
Oficinas Pedagógicas de Física : Uma proposta de
complemento às aulas de Física. / SANDRO ROGÉRIO BAGNARA ;
orientador, MARCIO SANTOS, 2020.
172 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas,
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Florianópolis,
2020.

Inclui referências.

1. Ensino de Física. 2. FÍSICA. 3. OFICINA. 4. ENSINO.
I. SANTOS, MARCIO . II. Universidade Federal de Santa
Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física. III.
Título.

Sandro Rogério Bagnara

Oficinas Pedagógicas de Física: uma proposta de complemento às aulas de Física.

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Dr. Wagner Figueiredo

Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC/FSC

Prof. Dr. André Ary Leonel

Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC/SED

Prof. Oswaldo de Medeiros Ritter, Dr.

Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC/FSC

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de MESTRE EM ENSINO DE FÍSICA.

Prof. Dr. Oswaldo de Medeiros Ritter

Coordenador do Programa de Pós-Graduação

Prof. Dr. Marcio Santos

Orientador

Florianópolis, 01 de Outubro de 2020.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar ao Deus criador de todas as coisas e criaturas, aos meus familiares (esposa e filhos), pois sem eles nada disso seria possível, pela dedicação, paciência e incentivo deles nestes longos meses de angustias e indefinições, dilemas e tribulações. Sem a força deles não seria possível fazer o trajeto de 600 km ligando minha cidade (MARAVILHA) até a UFSC (na capital FLORIANÓPOLIS). Sei que sem eles eu com certeza não teria chegado até aqui.

Agradeço também aos professores do programa MNPEF da UFSC de Florianópolis pela dedicação dada aos alunos participantes deste programa, principalmente para aqueles professores que conseguiram compreender o quanto éramos heterogêneos em saber, em idade, em realidade, etc. Marcaram nossas vidas pela qualidade do saber transmitido e também pela empatia demonstrada nos encontros.

Um agradecimento especial ao meu orientador Prof. Dr. Marcio Santos que apesar das tribulações que passamos, pelos dias de aflição, pelas batalhas enfrentadas continuamos sempre ligados. Ele foi uma pessoa impar que sempre me incentivou, soube lapidar as ideias que eu propunha, teve muita paciência e desde o início soube acreditar no meu trabalho e nas possibilidades que o mesmo irá resultar.

À Sociedade Brasileira de Física (SBF) agradeço por organizar o mestrado profissional que vem atender aqueles professores que mais necessitam de ajuda, os professores da escola pública. E um agradecimento também à CAPES pelo apoio financeiro por meio da bolsa concedida, pois sem ela seria impossível desenvolver todas as etapas necessárias deste mestrado.

RESUMO

O ensino de Física passa por um dilema que o acompanha há tempos: como desenvolver toda a ementa proposta pelos documentos oficiais, mesmo com a baixa carga horária proposta sem tornar a aula algo maçante e desanimador? Ciente que se faz necessário buscar alternativas metodológicas para isso buscamos apresentar uma proposta de trabalho. O que propomos aqui é uma sequência didática a ser desenvolvida em horário extraclasse denominada de “Oficinas Pedagógicas de Física”. O modelo de oficina pedagógica aqui apresentado usa como temática a “Física das Radiações Nucleares” e apresenta de forma clara e objetiva todas as etapas metodológicas bem como os materiais usados na oficina.

Palavra chave: sequência didática; oficinas pedagógicas; física das radiações nucleares.

ABSTRACT

Physics teaching has been in a dilemma for many years: how to develop the entire menu proposed by the official documents, despite the proposed low timetable, without making the class somewhat dull and discouraging? Aware that it is necessary to seek methodological alternatives, we seek to present a work proposal. The proposal is a didactic sequence that can be developed during extra-class hours, called "Pedagogical Physics Workshops". The pedagogical workshop model presented has the theme "Physics of nuclear radiation" and shows clearly and objectively all the methodological steps as well as the materials used in the workshop.

Keywords: didactic sequence; pedagogical workshop; physics of nuclear radiation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Modelo atômico moderno.....	47
Figura 2 – Experiência que demonstra a existência das radiações naturais.....	52
Figura 3 – Foto do sol e de suas explosões.....	58
Figura 4 – Efeito Fotoelétrico.....	62
Figura 5 – Efeito Compton.....	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Alcance das partículas alfas.....	50
Tabela 2 : Alcance das partículas Betas.....	51
Tabela 3: Camada semi-conduta para os raios-X ou gama.....	51

SUMÁRIO

1. Introdução.....	12
2. A Aprendizagem Significativa como Teoria de Aprendizagem.....	14
3. O Filme como Organizadores Prévios.....	20
4. A Oficina Pedagógica como Estratégia de Ensino.....	26
5. A Confeção e Aplicação do Produto.....	32
6. Conclusão	88
Referências Bibliográficas	90
ANEXO 01 – Texto: Tratado de Não Proliferação de Armas Nucleares.....	93
ANEXO 02 – TCLE – Estudante	95
ANEXO 03 – TCLE – Responsável	100
ANEXO 04 – O Produto Educacional	105

1. INTRODUÇÃO

Vivemos uma realidade escolar bastante ambígua, onde temos salas de aula com grupos de alunos heterogêneo nos mais diversos níveis, sejam eles de caráter social, emocional, de interesse escolar, etc. Por isto cabe ao professor construir na sua dinâmica de trabalho pedagógico, condições e metodologias, que possam fazer com o que ele venha basicamente a cumprir com a ementa mínima presente nas propostas pedagógicas vigentes. Estes saberes mínimos exigidos por lei, por diversos motivos, nem sempre são possíveis de serem “vencidos”. Desta forma surge a necessidade de criar condições para que este “status quo” seja modificado e que os alunos venham a ter condições de aprender o máximo possível e com qualidade.

Por ser professor efetivo da rede estadual de Santa Catarina os dilemas acima citados estão presentes no meu cotidiano de forma corriqueira e acentuada. Por isto a busca por formas de solucionar ou amenizar partes destes dilemas sempre fizeram parte da minha prática docente.

Na tentativa de oportunizar aos alunos da escola no qual trabalho um momento de aprofundamento na temática astronomia propus no ano de 2011 a realização de encontros no período da noite para estudos específicos. Para minha surpresa, tive naquele ano um bom grupo participante (32 alunos) o que equivale a mais de 10% dos alunos do ensino médio. E os resultados foram os melhores possíveis apesar de ainda não se ter bem claro ainda a dinâmica de trabalho destes encontros.

A partir daquele momento notei que essa prática pedagógica, denominada de “*Oficinas Pedagógicas de Física*” estava produzindo ótimos frutos de tal modo que começamos a desenvolver duas por ano. No primeiro semestre a temática é sempre astronomia tendo como objetivo a preparação para participar da OBA (Olimpíada Brasileira de Astronomia) e no segundo semestre a temática é diversa dependendo do grau de interesse dos alunos participantes. Esta preparação para a OBA, juntamente com o trabalho da professora de História do Ensino Fundamental, proporciona à escola a grata satisfação de todo ano ter alunos medalhistas na OBA.

Ao ingressar no MNPE verificou-se que a sua dissertação se tratava da explanação das etapas da construção de um “produto educacional” relacionada a Física, por isso, resolvi construir o meu produto educacional como sendo uma proposta geral desta prática educacional que, na minha realidade, surtiu efeitos com bons resultados. Na esperança que replicando esta prática em outras realidades possam resultar em avanços educacionais significativos.

A proposta a seguir se apresenta da seguinte forma: no capítulo 2 buscamos uma fundamentação teórica para a metodologia centrada na Aprendizagem Significativa de David Ausubel(1980).

Já no capítulo 3 buscamos demonstrar o quanto o uso de filmes é uma ótima ferramenta de motivação e de despertar da curiosidade nos alunos para o tema a ser aprofundado. Citamos nesse capítulo vários casos e formas de como se apresentar os filmes como instrumentos pedagógicos.

No capítulo 4 buscamos fazer a construção do que se entende por Oficina Pedagógica em vários contextos. Demonstramos casos de oficinas sendo utilizadas nas mais diversas realidades, não somente em Física, oficinas sendo utilizadas mesmo em universidades, para desta forma possibilitar a compreensão das formas pelas quais as oficinas pedagógicas se apresentam e melhor se adaptam à realidade de cada professor/escola.

No capítulo 5 será descrita a aplicação da oficina na escola na qual trabalho, demonstrando os passos de cada etapa, quais materiais e dinâmicas foram utilizadas, bem como a avaliação dos resultados encontrados. Para esse momento utilizamos a temática Física das Radiações Nucleares, tendo o filme “O dia seguinte” como instrumento de provocação de discussão e aprofundamento.

2. APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA COMO TEORIA DE APRENDIZAGEM

Vários são os educadores que afirmam que o conhecimento é o instrumento que gera o maior ganho nas potencialidades nas pessoas, produzindo transformações profundas inclusive nas pessoas que fazem parte do seu entorno. Entre eles podemos citar o brasileiro Paulo Freire e o francês Jean Piaget. Através da aquisição de novos conhecimentos se constrói um ser humano com direitos e condições de uma ampla ascensão pessoal e profissional. Nas palavras de Freire é *“uma autoformação da qual pode resultar uma postura mais atuante do homem sobre seu contexto”* (Freire, 1998)

Quando nos referimos a conhecimento estamos levando em consideração a estrutura de saberes que irá promover uma interação entre o saber já presente em seu sistema cognitivo que foi construído historicamente e a sua integração com o meio no qual o sujeito convive, provocando mudanças no seu comportamento, transformando-o num ser conhecedor de seus potenciais bem como um articulador consciente da sua história.

É na integração do saber sábio presente nos manuais e do saber compreendido pelo sujeito que a sociedade se constrói e se forma como local de transformação social, cultural e familiar. Na construção da sua autonomia o sujeito transforma sua realidade conforme seus preceitos e necessidades.

Esta transformação é citada por Foucault (1977):

“Só há conhecimento na medida em que, entre o homem e o que ele conhece, se estabelece, se trama algo como uma luta singular, um “tête-a-tête”, um duelo. Há sempre no conhecimento alguma coisa que é da ordem do duelo e que faz com ele seja singular e significativo.”

Na década de 1960, o norte americano David Ausubel (1980, 2003) construiu a Teoria da Aprendizagem Significativa no qual propõe que uma nova informação se tornará realmente conhecimento quando produzir ressignificação das informações já constantes, construindo assim novos conceitos.

Para Ausubel (2003), a estrutura cognitiva traz em sua essência a ideia de uma estrutura hierárquica de conceitos, que possuem alta organicidade e perspectivas de que muitas ideias se encadeiam de acordo com a relação estabelecida entre elas. É nesta estrutura que estes conceitos adquiridos estarão depositados e serão

reorganizados. Este processo irá desencadear no que conhecemos como aprendizagem.

Segundo Marco Antônio Moreira (1999), quando comenta sobre a aprendizagem significativa, o fator mais importante para a aprendizagem é aquilo que o aprendiz já sabe, cabendo ao professor, usando de metodologia adequada, determinar quais são esses conhecimentos e, a partir deles, desenvolver seu aprofundamento e ampliação. Na aprendizagem significativa transforma-se o significado lógico de determinado material em significado psicológico, ocorrendo a sua internalização de forma mais objetiva.

Outro conceito muito importante da teoria de Ausubel (2003) é a de que o armazenamento de novas informações pela mente humana ocorre, mais frequentemente, de forma hierárquica, ou seja, inicialmente adquirimos conceitos mais inclusivos e, conforme conceitos novos e mais específicos vão sendo adquiridos, estes são interligados ao conceito mais geral se encadeando com os mesmos de acordo com as relações entre eles.

Ausubel (2003) salienta que para a aquisição de novos significados são necessários três requisitos essenciais: (i) o novo conhecimento a ser apreendido deve ser oferecido no mínimo de forma organizada e lógica; (ii) deve existir uma estrutura que possibilite uma conexão entre o conhecimento que o aprendiz já possui e aquele que ele irá adquirir; (iii) deve existir por parte do aprendiz uma atitude explícita de querer relacionar o que já sabe com o que irá aprender. Esses conhecimentos prévios já existentes são denominados de conceitos subsunçores ou conceitos âncora.

Segundo Moreira (2006):

Em termos simples, subsunçor é o nome que se dá a um conhecimento específico, existente na estrutura de conhecimentos do indivíduo, que permite dar significado a um novo conhecimento que lhe é apresentado ou por ele descoberto. Tanto por recepção como por descobrimento, a atribuição de significados a novos conhecimentos depende da existência de conhecimentos prévios especificamente relevantes e da interação com eles.

A aprendizagem de novos conceitos por parte do aluno pode ocorrer basicamente de duas formas bem distintas: de forma *significativa* e de forma *mecânica*.

A *aprendizagem mecânica* ou memorística não busca relacionar os saberes já existentes, não exige que o aprendiz faça conexões deste saber com situações reais e cotidianas, desta forma acaba gerando assim uma absorção superficial e de fácil esquecimento. Segundo afirma Moreira (2006), por questões históricas e por não necessitar de grande esforço, esta prática é muito comum em nossas escolas, principalmente àquelas que priorizam a memorização como forma de bons resultados nas avaliações, porém esta aprendizagem é considerada volátil e de baixo grau de retenção a médio e longo prazo. Nos momentos de avaliação a resposta é breve e finita em significado.

Nas disciplinas de Matemática e Física do ensino básico é muito comum esta forma de aprender, pois normalmente o domínio da resolução de algumas equações bem como a memorização de um grupo de fórmulas faz dele um “conhecedor” destas áreas. Cabe aqui salientar que tanto Ausubel quanto Moreira não sugerem a exclusão da aprendizagem mecânica, como se a mesma fosse totalmente prejudicial, porém sugerem que a mesma não seja a única forma de construção de saber, mesmo salientando ser a mais utilizada nos sistemas de ensino atual.

A *aprendizagem significativa*, por partir de conceitos já existentes na estrutura cognitiva do indivíduo (*subsunçores*), se torna mais atrativa por estar relacionando situações relevantes para o aprendiz, mas ao mesmo tempo mais exigente, pois cabe a ele fazer as devidas conexões entre aquilo que ele já tem de conhecimento acerca do assunto em questão e o conhecimento que está sendo apresentado.

Segundo Ausubel (1980) aprender de forma significativa é dar sentido e significado a cada informação retida, ou seja, relacionar de forma clara com o que já se sabe, porém para que isto ocorra é necessário em primeiro lugar uma situação proativa por parte do aprendiz, é necessário que o aprendiz esteja querendo, esteja motivado para aprender.

Não se impõe aqui a necessidade de grandes transformações no ambiente escolar para que ocorra a aprendizagem significativa, o que se espera é a construção de uma relação de maior interação entre o saber e o aprendiz. Mesmo em um ambiente tradicional de sala de aula é possível transformar significados lógicos de

determinado conhecimento em saberes estruturados e de grande valia na compreensão do conteúdo como um todo.

Porém, há situações onde os subsunçores são inexistentes ou inferiores ao esperado; não há neste caso uma ancoragem cognitiva. Neste caso se faz uso de uma estratégia denominada de “organizadores prévios” que servirão de base para os novos conceitos, podendo assim assimilar e modificar a estrutura cognitiva do aprendiz.

Para Moreira:

Organizadores prévios são materiais introdutórios apresentados antes do material de aprendizagem em si. Contrariamente a sumários ou resumos que são, de modo geral, apresentados ao mesmo nível de abstração, generalidade e abrangência, simplesmente destacando certos aspectos do assunto, os organizadores prévios são apresentados em um nível mais alto de abstração, generalidade e inclusividade.

Seu principal objetivo é criar uma “ponte cognitiva” entre o conhecimento existente e o novo saber que estará sendo apresentado, ligando desta forma os conhecimentos gerais daquele conteúdo com a parte mais específica que está sendo apresentada.

Segundo Moreira (1999), os organizadores prévios não devem se tornar uma mera comparação introdutória, pois os mesmos irão em primeiro lugar apresentar o que é relevante naquele conteúdo que irá ser estudado; será atribuído a ele também a função de dar uma visão geral do conteúdo mesmo de forma mais abstrata para desta forma salientar o que é mais importante.

Cabe salientar também que os organizadores prévios podem se apresentar de duas formas: expositivo e comparativo. O *organizador expositivo* é utilizado quando o assunto em questão é totalmente desconhecido do aprendiz, tendo assim a função de apresentar o conteúdo e fornecer as noções básicas do conhecimento. Sua necessidade se faz quando o aprendiz não possui familiaridade com o assunto, funcionando ele como uma ponte cognitiva entre aquilo que ele sabe e o que está por aprender.

O uso do filme “O dia seguinte” nesta proposta tem esta função, provocar no aprendiz a curiosidade suficiente para a aquisição dos saberes que lhe serão

apresentados logo em seguida relacionados à Física das Radiações Nucleares. Segundo Biazus (2016) o uso de filme como organizador prévio se torna relevante no ensino de física especialmente em se tratando de temas de difícil conexão com saberes anteriormente adquiridos ou com situações do cotidiano.

Outro modelo de organizador prévio é o *organizador comparativo*, no qual se faz uma relação entre fatos e circunstâncias que já são do conhecimento do aprendiz com situações que lhe serão apresentadas na sequência. Comparando um com o outro o aprendiz tem a noção de qual caminho estará galgando a partir desse momento. Terá ele um mapa, uma prévia de como serão as etapas até a compreensão daquele conteúdo.

Conforme o subsunçor vai se enriquecendo, torna-se mais diferenciado e pode facilitar novas aprendizagens com o passar do tempo. Desta forma, a aprendizagem significativa pode ser construída de três formas: aprendizagem significativa superordenada; aprendizagem significativa subordinada; e aprendizagem significativa combinatória (MOREIRA, 2012, p. 14).

Na *aprendizagem significativa superordenada* o novo conceito potencialmente significativo é visto mais geral e inclusivo do que os subsunçores já existentes no aprendiz. Nota-se que neste caso o novo conceito agrega boa parte senão todos os subsunçores que o aprendiz possui.

Na *aprendizagem significativa subordinada* a construção de novos conhecimentos estará sendo feita de forma hierárquica, onde a compreensão de um novo conceito estará relacionado com algo já existente e a sua relação direta com um novo saber. Sua construção é feita de forma tal que cada conceito está relacionado obrigatoriamente com a evolução da compreensão do conceito anterior.

Há também aquela forma de aprendizagem onde não ocorre uma agregação de conceitos (superordenada) e nem a subordinação de ideias mais gerais e inclusivas (subordinada). A essa forma de aprendizagem Ausubel (2003) chama de *aprendizagem combinatória*. Nela a aquisição do conhecimento ocorre quando o aprendiz é capaz de combinar o novo conhecimento com outros conceitos existentes

na sua estrutura cognitiva de uma maneira geral ao invés de relacionar com aspectos específicos de determinado conceito.

3. O FILME COMO ORGANIZADORES PRÉVIOS

Na unidade anterior foram expostas de forma breve as linhas gerais da Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, que embasam este trabalho. Nesta unidade iremos comentar o porquê de escolhermos o uso de filmes como instrumento pedagógico transformando-o em organizador prévio do conhecimento.

Uma das manifestações artísticas mais vistas e admiradas na atualidade são as produções cinematográficas, sejam elas vistas em ambientes clássicos como as salas de cinema dos shoppings ou aquelas disponibilizadas em sistema de “streaming” como a Netflix, Amazon, HBO Max, entre outros. Além dos fatores financeiros envolvidos no processo esta forma de arte se constitui também como um meio muito eficaz de disseminação cultural, uma fonte de lazer, bem como uma forma de divulgação tecnológica e científica, não sendo este é claro seu objetivo principal.

De acordo com Nogueira (2005):

As transposições e as vivências que a linguagem cinematográfica possibilita são tão marcantes, que muitas vezes elas se tornam as referências profundas e comuns pelas quais a ciência e a tecnologia são percebidas por grande parte da sociedade.

Na busca de um engajamento maior por parte dos estudantes no ensino da Física e na tentativa de construir bases mais sólidas em relação aos seus conceitos, diversas ferramentas pedagógicas estão sendo sugeridas aos professores e os diversos usos de filmes cinematográficos no contexto escolar é uma destas.

Em relação à questão histórica do uso de filmes e o ensino Brito (2011) conclui que isto não é algo novo, pois, conforme registros, os educadores brasileiros já usavam recursos audiovisuais em 1920. Ainda segundo este autor o Instituto Nacional de Cinema Educativo (INCE) foi instituído em 1936, tornando-se a primeira entidade do governo brasileiro voltada ao cinema. Porém, o seu uso como ferramenta metodológica ficou mais evidente nas ciências humanas, uma vez que nas ciências naturais o ensino continuou muito vinculado ao sistema tradicional, tendo o professor como transmissor do conhecimento fazendo uso de materiais didáticos impressos como ferramenta auxiliar.

Segundo Nogueira(2005), são comuns nos filmes, tanto os antigos como os atuais, a apresentação equivocada de questões relacionadas à Física, isso porque diretores, produtores e escritores dão ênfase mais aos efeitos visuais e sonoros. De forma geral eles não são fiéis aos conceitos científicos, entre eles as leis fundamentais da Física. Porém é interessante notar que ultimamente muitos filmes possuem entre seus colaboradores cientistas que possuem a função primordial de adequar o enredo e os efeitos visuais com a veracidade dos mesmos, segundo conceitos científicos. Um exemplo é o filme *Interestelar* (2014) que teve como consultor o físico Kip Thorne autor de vários livros que tratam sobre o tema Gravitação.

Secco e Teixeira (2007) em seu artigo “As leis da Física e os desenhos animados na educação científica”, alegam ser os desenhos animados uma expressão artística que possui o objetivo principal de proporcionar entretenimento, porém eles alertam para o fato de que os mesmos não têm nenhum preceito com a verdade e situações exatas.

Para Vasconcelos e Leão (2009) “no âmbito educacional, a utilização desses recursos é um importante aliado no processo de ensino e aprendizagem de conceitos devido à dinamização da prática pedagógica”. Os autores propõem que o uso dos filmes dinamiza a prática pedagógica, porém a sua inclusão no contexto escolar requer do professor um planejamento estratégico de tal forma a vir a surtir os efeitos desejados, caso contrário se tornará uma atividade de recreação e não de construção de saber em ciência.

Para Carmo (2003):

O cinema(filme) como prática pedagógica pode levar o aluno a se interessar pelo conhecimento, pela pesquisa, de modo mais vivo e interessante que o ensino tradicional apoiado em aulas expositivas e seminários.

Segundo Napolitano (2009) em seu artigo “Como usar o cinema em sala de aula”:

Ver filme na escola não é como ver filme em casa e nem no cinema. O professor tem que pensar o seu uso. É um exercício de aprender a ver filmes, mas também de aprender a pensar sobre o mundo. O uso do filme na escola, não pode partir só da subjetividade, do “eu gostei”, “é divertido”, desta forma os estudantes vêm em casa. Na escola o uso dos filmes precisa ter conotação didática.

Uma forma de utilização de filmes que sugerimos neste trabalho para as aulas de Física é a da apresentação de trechos de filmes (decupagem), previamente analisados e separados pelo professor, seguidos de questionamentos referentes a análises de conceitos físicos presentes. Faz-se necessário deixar claro que a análise não se restringe ao que é fisicamente certo ou errado (precisão científica), mas buscar observar quais conceitos (físicos ou não) estão presentes na cena que explique claramente a veracidade dela.

Para Moran (2013), um grande desafio para o professor é ajudar a tornar a informação veiculada por esse meio pedagógico significativa, e escolher as informações verdadeiramente importantes entre tantas possibilidades, a compreendê-las de forma cada vez mais abrangente e profunda e a torná-la parte do referencial dos estudantes.

Como esta ferramenta (o filme) é algo já presente em minha prática educacional posso afirmar que com a exibição correta e planejada do filme irão ser fomentados nos alunos não somente conceitos de Física, mas de outras áreas também. Por isto é necessário um bom planejamento, pois a interdisciplinaridade estará presente no processo em vários momentos.

Esta prática não só é algo inovador quando rompe com a forma explanativa e centrada no professor, mas diversifica a forma de ver o conteúdo presente em realidades distintas daquelas encontradas no livro didático, por exemplo. Além de propiciar ao aluno a incrível experiência da verificação de diferentes pontos de vista dos mesmos fatos. Esta experiência da múltipla visão dos fatos é construída principalmente pela oportunidade de diálogo entre os aprendizes. Nota-se que esta prática pedagógica acaba por construir uma nova forma de linguagem entre o saber e os participantes do processo de aprendizagem.

Por vivermos na era das imagens, ao aproveitar estes produtos como ferramenta educacional busca-se despertar um interesse maior dos alunos para a compreensão das ciências, em especial da Física.

Seguindo esta linha de pensamento Xavier et al. (2010) aponta que:

O uso de filmes como procedimento de ensino para se configurar como alternativa consistente de superação de uma pedagogia tradicional, centrada

na exposição do professor e na assimilação passiva do aluno, deve se constituir como elemento mediador de uma proposta pedagógica pautada em princípios como: relação professor-aluno dialógica; criação de espaço para a pergunta e a problematização; aluno como sujeito ativo de sua aprendizagem; relação teoria-prática; contextualização do objeto ou assunto em estudo.

Sobre a importância e a profundidade do uso dos filmes Bezerra e Kato (2003) relatam que:

Os filmes são fontes inesgotáveis de oportunidades de aprendizagem, se constituem também de uma porta de acesso a conhecimentos e informações. Estes por sua vez não se esgotam neles, são repletos de elementos de reflexão sobre a própria vida e a sociedade em que vive.

Ainda segundo Xavier (2010) foi notavelmente percebido que os estudantes se mostraram mais motivados e envolvidos nas atividades após a exibição do filme e a provocação por ele sugerida. Para Clemente e colaboradores (2014) a motivação para aprender (ou a falta dela) se configura como um problema a ser enfrentado pelos professores no desenvolvimento de seu trabalho e demanda novos estudos para propiciar uma maior compreensão e indicar frentes de ações práticas no contexto escolar.

O fato de os filmes não serem utilizados com maior intensidade na disciplina de Física, assim como Química, Biologia, etc, se deve ao fato de por vezes o professor não gostar desta prática, da falta de equipamentos multimídia adequados nas escolas ou mesmo de experiências mal sucedidas já realizadas. Por isto Xavier (2010) afirma que a mudança pedagógica que se faz com o uso dos filmes acarreta uma mudança profunda na postura do professor também.

Vemos que a introdução de filmes cinematográficos na prática educacional revela o fato de que o professor se vê como o profissional qualificado para produzir uma interação salutar entre a educação e os fenômenos culturais e artísticos que o aluno está integrado. Segundo Almeida (2004) o uso de filmes na sala de aula é importante:

[...] porque traz para a escola aquilo que ela se nega a ser e que poderia transformá-la em algo vívido e fundamental: participante ativa da cultura e não mera repetidora e divulgador de conhecimentos massificados muitas vezes já deteriorados, defasados e inadequados para a educação de uma pessoa que já está imersa e vive na cultura aparentemente caótica da sociedade moderna.

Agnaldo Arroio (2010) ao analisar o uso de filmes como um recurso pedagógico para contextualização nas aulas de Ciência da Natureza faz 5 ponderações ao professor:

Primeiro: selecione vários filmes com o tema pretendido, em uma análise primária verifique se a linguagem audiovisual é capaz de comunicar-se com o público (estudantes);

Segundo: se faz necessário fazer um levantamento do conhecimento científico presente nas cenas do filme para não ser tomado de surpresa;

Terceiro: observar como o conhecimento científico é apresentando, verificando é claro possíveis erros e principalmente como ele (conhecimento científico) poderá ser contextualizado.

Quarto: selecionar sequências curtas, mas adequadas para o uso nas aulas;

Quinto: utilizar esses episódios selecionados, como recurso cultural para contextualizar o conteúdo científico e motivar os estudantes nas aulas.

Em nosso produto educacional, que será apresentado posteriormente, o uso dos filmes tem como finalidade constituir-se, na linguagem de Ausubel, como o “organizador prévio de saberes”. Como não foram trabalhados ainda os conceitos gerais sobre a temática do filme, a sua apresentação seguida de questionamentos irá resultar em um clima de curiosidade, questionamentos e indagações, momento propício para a apresentação dos conteúdos que irão resultar nos saberes necessários para compreender o filme como um todo. Objetiva-se transformar curiosidade em motivação para busca do conhecimento.

Mesmo Ausubel (1980) já via nos filmes uma ótima ferramenta a ser utilizada no processo educativo, sempre acompanhado é claro de uma interação planejada.

[...] a ausência de contato direto, “vivo”, entre professor e alunos não é necessariamente uma desvantagem. Uma vez que todo o feedback, orientação, discussão e aspectos avaliativos de ensino podem ser realizados pelo professor em pequenos grupos, antes e depois da apresentação audiovisual.

O desafio do uso pedagógico de filmes se apresenta de forma bem clara neste momento. Propomos que usando-o na forma de oficinas os resultados para aprendizagem sejam potencializados. No próximo capítulo iremos descrever a visão que construímos sobre “oficinas pedagógicas”.

4. A OFICINA PEDAGÓGICA COMO ESTRATÉGIA DE ENSINO

Durante muito tempo a escola primou por ser o centro de transmissão de informações, onde valia a reprodução mecânica de saberes já estruturados e presentes nos manuais acadêmicos. Esta forma de organização cumpriu o seu papel em uma época em que o conhecimento estava restrito a poucos locais, que, não raro, eram de difícil acesso, ou seja, oferecido a poucos.

Segundo Libâneo (2007) os objetivos principais da escola atual são desenvolver competências que permitam ao aprendiz alcançar sucesso pessoal e profissional, visando dar espaço para que cada um possa aprender a utilizar estes saberes de forma que venha a atuar com eficiência e de forma ética no seu contexto.

Porém a escola sofre com um triste engodo, que é de prometer mais do que vem “entregando” aos aprendizes, vemos isso claramente nos indicadores internacionais como o PISA, entre outros. Urge a necessidade de sairmos da prática no qual o ensino se faz baseado única e exclusivamente naquilo que está planejado nos livros, por vezes, descontextualizado e feito de forma superficial.

Estes saberes são apresentados sem um devido aprofundamento e engajamento do aprendiz no processo. Devemos partir para a construções de saberes mais reais e significativos. Saberes estes que possuam um embasamento no cotidiano do alunos bem como um fim neste mesmo cotidiano vindo a transformá-lo para melhor.

Em Santa Catarina temos uma grade curricular do Ensino Médio, onde a maioria das disciplinas possui a carga horária de 2 aulas semanais, fazendo com que grande parte dos professores não tenham o tempo suficiente de trabalhar com os alunos os saberes mínimos considerados necessários.

Uma alternativa a esta realidade são as “metodologias ativas de aprendizagem” que reestruturam as relações entre professor e aprendiz, entre o aprendiz e o saber, inclusive alterando espaços pedagógicos, por vezes fugindo do tradicional. Não faz mais sentido na sociedade atual que o aprendiz seja um simples ouvinte. Não está se tirando a importância da sala de aula e do professor no processo de ensino e aprendizagem, Moran (2013) classifica com um compartilhamento de obrigações, uma visão colaborativa do ensino-aprendizagem.

O que propomos é uma prática metodológica não centrada na sala de aula, na grade curricular, mas em ambiente extra-classe, uma situação de aprendizagem aberta e dinâmica com saberes diversos de Física, intitulada de “Oficina Pedagógica de Física”.

Seguimos aqui o conceito de oficina proposto por Vieira (2002) que diz ser:

...um tempo e um espaço de aprendizagem, um processo ativo de transformação recíproca entre o sujeito e o objeto, um caminho com alternativas, com equilíbrios que nos aproximam do objeto a conhecer.

Vemos que atualmente saber lidar com novas situações, modificar e ampliar conhecimentos, ter estratégias para resolver problemas, conviver em grupo e saber se relacionar são as características necessárias a todas as pessoas, em qualquer ambiente, seja ele escolar ou não, por isto, a metodologia da oficina vem estruturar mais solidamente tudo isto.

A proposta metodológica das oficinas pedagógicas, busca apreender conhecimento a partir de um conjunto de acontecimentos: leitura de texto, construção de respostas à questões gerais e específicas, assistir filmes e discussão sobre os mesmos, construção de peças teatrais, organização de festival de paródias, etc. A junção destas etapas todas desenvolvidas de forma dinâmica e participativa resulta na construção de saberes que superam a simples memorização que tem por finalidade única e exclusivamente bons resultados em um momento avaliativo.

As oficinas são ferramentas de grande valia na educação básica de tal forma que várias propostas de extensão universitária se materializam desta forma. Maria Figueiredo (et ali) no artigo “*Metodologia de oficina pedagógica: uma experiência de Extensão com crianças e adolescentes*” *Revista Eletrônica da UFPB (2006)* demonstra o quanto esta ferramenta marca a vida dos jovens inclusos na prática da extensão.

O conhecimento aqui construído é feito através da criação compartilhada entre educadores e educandos, serem singulares e pertencentes a diferentes realidades, de histórias de vida, valores e projetos, mas que buscam um só fim: o saber.

O fato de a oficina ser construída em horário extra-classe, traz por si só um desafio imenso, pois está se modificando a dinâmica sala de aula centrada em regras

tais como horário, localização da sala de aula, postura do aluno em relação ao seus colegas, etc. O grupo constituído já não se equipara ao da sala de aula normal na sua característica de heterogeneidade, pois neste momento temos presentes somente os que aceitaram o convite e se fazem presentes de forma pró-ativa e de iniciativa própria, indiferente de qual série do ensino médio o mesmo estuda.

Esta prática busca construir um diálogo entre as partes envolvidas no processo, aluno e professor, entre os colegas e principalmente entre o saber a ser aprendido e aquele já existente. Segundo Eyng, Ens e Junqueira (2003)

Sobre as implicações da postura do professor com relação ao aluno diante do conhecimento, promove-se uma relação aberta na qual o conhecimento é construído pela interação, constituindo uma prática transformadora, ocorrendo aí uma mudança no foco do ensinar para o aprender, promovendo uma aprendizagem conjunta entre ensinante e aprendente.

Nas oficinas há uma ampliação do conhecimento pessoal, um favorecimento ao relacionamento interpessoal, confronto de ideias, um incentivo a comunicação, entre outras características necessárias a participação das etapas.

Para Vieira (2002):

Uma oficina deve atender a articulação de conceitos, pressupostos e noções com ações concretas, vivenciadas pelo participante ou aprendiz, bem como, a vivência e execução de tarefas em equipe, isto é, construção coletiva de saberes.

Nesta prática busca-se desmistificar a ideia de que o educador é o “dono da verdade”, pois nesta dinâmica ele se torna um mediador, fazendo uma ponte salutar entre os conteúdos necessários para compreensão e o problema proposto. Moran (2013) diz que:

Se queremos que os alunos sejam proativos, precisamos adotar metodologias em que os alunos se envolvam em atividades cada vez mais complexas, em que tenham que tomar decisões e avaliar os resultados, com apoio de materiais relevantes. Se queremos que sejam criativos, eles precisam experimentar inúmeras possibilidades de mostrar sua iniciativa.

Faz-se necessário salientar que a oficina, assim como toda ação pedagógica, pressupõe planejamento, mas é na execução que ela assume características diferenciadas. Neste sentido o planejamento prévio de uma oficina deve ser flexível, ajustando-se às situações-problemas apresentadas pelos participantes, a partir de seus contextos reais de conhecimento e de rendimento. (Valle 2012).

Salles (2008) salienta que a sinergia entre a dinâmica da oficina, o educador e os aprendizes transforma o ambiente escolar em um cenário propício para o desenvolvimento de funções psicológicas superiores. Na teoria de Vygotsky (2004) podemos dizer que as oficinas procuram trabalhar na zona do desenvolvimento proximal, guiando o aluno a seu nível máximo de desenvolvimento cognitivo.

Ao trabalhar as oficinas percebe-se como é importante que a aprendizagem se dê de forma construtivista, ou seja, que o aluno busque de forma pessoal o conhecimento, ao trilhar por um caminho que ele mesmo venha a construir, através das ferramentas e etapas propostas pela oficina e pelo professor, ele levante hipóteses, que serão refutadas e melhoradas nas discussões com seus colegas, num processo de sócio-construção.

Como veremos na etapa da construção da Oficina Pedagógica de Física, ela se diferencia de um minicurso enquanto estratégia de construção de conhecimento. Os minicursos normalmente são restritos a um determinado assunto, regido por um palestrante que tem seu fim em si mesmo. Porém, a oficina, como veremos adiante, requer várias etapas, partindo de um momento introdutório até uma avaliação final.

Para se ter mais claro as formas e vantagens das oficinas pedagógicas iremos citar, de forma breve, alguns modelos que vimos ser eficientes em sua aplicação. A forma que propomos nesta dissertação será descrita na etapa seguinte.

Uma publicação do Caderno Catarinense de Ensino de Física do ano de 2001 intitulada “Uma oficina de Física Moderna que vise a sua inserção no ensino Médio”, já buscava nas oficinas direcionadas a professores uma estratégia de poder para a construção de saberes. As oficinas propostas tinham como objetivo construir um embasamento sobre a compreensão da diferença entre o comportamento corpuscular e ondulatório da luz. A proposta sugere a metodologia de aprofundamento evolutivo, ou seja, que parte das concepções espontâneas dos professores participantes, colhidas através de um diálogo dirigido, evoluindo para um aprofundamento mais qualitativo do tema, necessitando é claro do uso de material bibliográfico apropriado para isto, que é fornecido pelos organizadores da oficina. Na oficina aplicada os participantes também fizeram uso de simuladores computacionais (PHET- Colorado) e desenvolveram atividades experimentais para poder observar interferências

construtivas, medida do comprimento de ondas em um tanque de água e observação do espectro luminoso utilizando um CD.

O trabalho desenvolvido por Valéria B Regina Fornazari e Ana Obara da UEM – PR (2016) demonstra a eficácia das oficinas, primeiro construindo um tutorial com os professores e depois com a análise dos resultados obtidos por eles junto a seus alunos. A oficina era dirigida a professores de ciências da região de Loanda - PR tendo como temática as Bacias Hidrográficas e ocorreram em 4 encontros que continham momentos de discussão entre os participantes, sobre quais “conteúdos eram importantes” e posteriores momentos de aprofundamento sobre os mesmos, tendo a orientação dos tutores das oficinas quanto as fontes de pesquisa. Ao término dos encontros os professores que ainda participavam das oficinas (dos 57 inscritos somente 16 compareceram até o último encontro) construíram modelos de oficinas a serem desenvolvidas em suas unidades escolares.

Em seu trabalho de conclusão de curso em Licenciatura em Química da UTFPR (2011) Daniele de Araujo propõe “Oficinas Pedagógicas de Ciências” para formação de professores direcionadas para o ensino experimental, ou seja, fugir do ensino centrado somente nos conteúdos sem uma prática experimental (laboratorial ou não). Nesta oficina, como as outras duas já citadas aqui, são desenvolvidas atividades com professores. Estas atividades visam construir modelos de atividades práticas que, baseado no planejamento de cada professor, serão utilizados em suas aulas. Cada professor constrói sua sequência didática constando nela desde quais saberes eram necessários possuir por parte dos alunos, quais materiais seriam utilizados bem como quais conhecimentos os alunos iriam adquirir ao final do processo.

Outro trabalho analisado, também do Paraná, também da UTFPR, desenvolvido por alunos bolsistas do PIBID, onde através de uma oficina usando de TIC's (Tecnologias de Informação e Comunicação) foi possível desenvolver diversos temas de física sem a necessidade de alterar o planejamento do professor. Estas oficinas eram desenvolvidas em horário extra classe, um encontro de uma hora para cada tema (no total 3 – Astronomia, Mecânica básica e forças fundamentais). Em cada encontro o tema era diferente e a abordagem tecnológica também. Foram usados softwares como o Stellariun, Tracker, jogo Angry Bird, documentário “O mundo

elegante” fazendo com que o interesse dos alunos fosse muito grande tendo em vista estas dinâmicas. Cada tema vinha acompanhado de sugestões de matérias de pesquisa para aprofundamento daquilo que ficou de dúvida após as atividades trabalhadas.

A mestranda do Programa de Pós Graduação em Ensino de Ciência Naturais da UFMT Rosângela Rogéria Griep propõe uma oficina pedagógica de uso dos simuladores do PHET para professores de Matemática que lecionam Física na rede pública do estado. Ela construiu um tutorial para os professores onde consta todas as etapas de forma detalhada para que dessa forma pudessem aplicar em sala de aula as temáticas: adição de vetores, força e movimento e efeito fotoelétrico. A expectativa que estas 3 oficinas propostas venham a provocar nos professores um clima para que seja possível o desenvolvimento de outras oficinas, com outras temáticas.

O mestrando do MNPEF Denilton Machado da Silva propõe oficinas aplicadas a astronomia denominadas Oficinas de Física e Astronomia (OFA's) aplicadas a alunos da primeira série do Ensino Médio de uma escola pública da cidade de São José do Rio Preto, estado de São Paulo. As OFA's por ele desenvolvidas se constituíam em encontros extra-classe quinzenalmente. O tema por ele escolhido, astronomia, foi decidido pelo fato dela ser uma ciência que gera tanta curiosidade nos jovens, mesmo que tal conteúdo está presente de forma quase insignificante no material pedagógico usado pela secretaria de estado de educação de São Paulo.

O seu desenvolvimento foi feito em etapas que partiram de questões básicas relacionadas ao movimento de planetas, passando por atividades práticas como a construção do relógio do sol, estudo de temas como as leis de Kepler, a história de vida de Newton e Galileu, construção de foguetes a propulsão de água, chegando a construção de maquetes do sistema solar. O autor salienta em toda a sua dissertação a importância de um trabalho interdisciplinar. Como desafio para sequência destas oficinas foram formatados os encontros, no total de 12, em forma de vídeos e disponibilizados no site de hospedagem de vídeos Youtube.

Na sequência estaremos descrevendo como foi construída a nossa proposta das Oficinas Pedagógicas de Física, bem como a demonstração da aplicação da mesma em uma temática específica: Física das Radiações Nucleares.

5. A CONFECÇÃO E APLICAÇÃO DE PRODUTO

Como já foi descrito em momentos anteriores, a proposta da construção de *Oficinas Pedagógicas* é uma busca, por parte do professor, de suprir algumas lacunas presente na forma pela qual a estrutura educacional vigente se apresenta. Vemos que esta estrutura se encontra deficitária em vários sentidos e que as oficinas se apresentam como uma alternativa possível para uma solução ou amenização destas problemáticas.

Desta forma, a partir deste momento, apresentaremos detalhadamente as etapas de como foi a construção e aplicação do produto educacional intitulado “Oficinas Pedagógicas de Física” que se tornou o produto educacional exigido para obtenção do título de MESTRE EM ENSINO DE FÍSICA.

As Oficinas Pedagógicas aqui propostas são momentos de estudo, discussão e aprofundamento de temas relacionados à Física, que normalmente, em horário escolar, não são possíveis de serem feitos, seja pela baixa carga horária da disciplina, seja pela gama de conteúdos exigidos nos documentos oficiais, seja pelo desinteresse da maioria pelo tema ou por outros problemas pontuais. Por isto os encontros serão presenciais e realizados sempre em contra turno, normalmente a noite, para poder contemplar os alunos que tenham interesse em participar mas que estudam no turno matutino e/ou vespertino e até aqueles que já possuem um emprego. A escola que em que foram feitas as práticas não possui mais ensino médio noturno.

O grupo de alunos que integram a oficina são preferencialmente do ensino médio, independente de série, mas que possuam interesse e disponibilidade em aprender sempre algo a mais sobre a Física. Este grupo tem bem claro que não deve haver a preocupação de “se vai cair na prova” ou “vale nota”. Na oficina aqui desenvolvida como modelo para o produto educacional (primeiro semestre de 2019) participaram 25 alunos da EEB João XXIII da cidade de Maravilha, oeste do estado de Santa Catarina. A referida escola possui cerca de 950 alunos do Ensino Fundamental Séries Iniciais (1º ao 5º ano), Ensino Fundamental Séries Finais (6º ao 9º ano) e Ensino Médio (1ª a 3ª série).

Os alunos participantes eram da seguinte realidade: 5 alunos do primeiro ano, 7 alunos do segundo ano e 13 alunos do terceiro ano, ou seja, quase 10% dos alunos do Ensino Médio. Os encontros ocorreram quinzenalmente às terças feiras à noite sempre das 19 h até as 22 h. Para participar cada aluno teve que apresentar aos seus pais/responsáveis além do TCLE (Termo de Consentimento Livre e Esclarecido apresentado e aprovado no comitê de ética de UFSC, processo nº 2.471.772) também um convite com as datas e horários previstos na oficina, para que os pais/responsáveis estejam cientes que nos referidos dias/horários eles estão na escola sob a tutela do professor Sandro Rogério Bagnara. Estes documentos estão presentes nos anexos desta dissertação.

O objetivo da oficina é de proporcionar aos alunos aprofundamentos teóricos/cognitivos/práticos sobre temas relacionados a física em um ambiente menos formal, mas igualmente cercado de uma atmosfera de seriedade e compromisso para com os objetivos propostos.

Como já vimos no capítulo 4 desta dissertação os modelos de Oficinas Pedagógicas possíveis são infinitos, dependendo do grupo de aprendizes, a estrutura física e pedagógica disponível, bem como da criatividade e dedicação do professor. Nossa proposta é uma estratégia de ensino e aprendizagem que o professor, baseado em sua realidade, possa aplicar o que está sendo aqui apresentado de forma idêntica, mas, ao mesmo tempo, que lhe de condições para que seja possível também ao mesmo fazer as devidas alterações levando em consideração as peculiaridades da sua realidade.

A forma de oficina pedagógica que propomos nesta dissertação segue basicamente 4 etapas que serão descritos da seguinte forma.

1º Encontro (3 horas)

Neste primeiro momento ocorreu a apresentação pessoal do professor bem como dos alunos participantes da oficina com o objetivo de estreitar as relações de afinidades tão importantes no desenvolvimento das etapas seguintes. Além de dados

básicos como nome, idade e série que estuda, foi sugerido a cada aluno comentar sobre o que ele pensa das ciências e sua importância para a sociedade atual.

Como o contato entre professor e alunos ocorre quase que diariamente, nos conhecemos parcialmente. Porém, este momento evidenciou que os participantes desta oficina, na sua maioria, pretendem seguir carreiras universitárias relacionadas às áreas das exatas: engenharias na sua maioria (elétrica, mecânica, da computação, etc) e um pequeno grupo à docência (Matemática, Física ou Química).

Logo após apresentou-se os objetivos da Oficina Pedagógica de Física bem como a metodologia que a mesma terá. Salientou-se que a oficina tem por objetivo o aprofundamento de temas relacionados à Física que neste caso será Física das Radiações Nucleares, por ser um dos temas estruturantes do PCN+ (estruturante nº 05 – Matéria e Radiação). Buscamos evidenciar a sua importância no cotidiano, bem como um aprofundamento das teorias referentes ao tema para uma compreensão e um esclarecimento sobre ele.

Alexandre Marcelo Pereira do MNPEF da UFRJ comenta em seu produto educacional a importância do estudo da Física das Radiações Nucleares e pondera sobre os temas considerados necessários para serem trabalhados junto aos alunos:

Em linhas gerais, o estudo das radiações, começa com um resumo histórico da descoberta da radioatividade e os efeitos das emissões radioativas, passa pela natureza das radiações α , β e γ e suas leis, a cinética das desintegrações radioativas, as famílias radioativas naturais, as reações artificiais de transmutação, a fissão e a fusão nucleares e termina com as aplicações das reações nucleares e os perigos de acidentes nucleares.

A temática aqui escolhida para a oficina pode ser a mais diversa possível, partindo sempre do pressuposto que os temas não estejam contemplados na grade normal do ensino médio. Outros temas que teriam o mesmo efeito e poder na dinâmica das oficinas seriam a Astronomia, Teoria da Relatividade, Física Quântica, Efeito Fotoelétrico, etc.

A inclusão de temas relacionados à Física Moderna no contexto do Ensino Médio está presente em muitos artigos, dissertações e teses. O professor Eduardo Terrazan em sua tese de doutorado em 1992 já justificava de forma bem clara e sensata a necessidade de o ensino médio (à época segundo grau) se ater com um olhar mais produtivo para os temas relacionados à Física Moderna.

Nesta etapa o professor deixou claro que a finalidade da Oficina não está vinculada a uma avaliação que irá resultar em uma ponderação (nota) na disciplina de Física e sim a construção de saberes relacionados a temática que normalmente não são abordadas na sala de aula.

Iniciam-se os trabalhos com a leitura de um texto, que versa sobre algo que tenha relação com o tema a ser aprofundado. Este texto deverá ser buscado obrigatoriamente em fonte confiável, que o mesmo não tenha um aprofundamento específico, pois o objetivo dele é de simplesmente provocar nos participantes da oficina a curiosidade sobre o tema bem como gerar indagações.

Como nossa proposta é trabalhar Física das Radiações Nucleares, por isto apresentamos, para início de discussão, o texto abaixo que disserta sobre o “Tratado de não proliferação de armas nucleares” de Emerson Santiago, publicado na revista eletrônica “*infoescola*”, reproduzido abaixo:

O Tratado de Não Proliferação de Armas Nucleares (TNP) é um instrumento firmado em 1968 por uma série de nações, e em vigor desde março de 1970, e que visa impedir a proliferação da tecnologia utilizada na produção de armas nucleares, bem como realizar a promoção do desarmamento nuclear, encorajando apenas a utilização pacífica de tal tecnologia.

Até o presente momento, 189 países aderiram ao TNP, sendo exceção Israel, Paquistão, Índia e Coreia do Norte (este último havia aderido ao tratado, retirando-se mais tarde, em 2003).

A questão principal a ser enfrentada é a do desequilíbrio entre os signatários. De um lado, as grandes potências como Estados Unidos, Rússia (União Soviética, à época de assinatura do tratado), Inglaterra, França e China, que não por acaso são também os membros permanentes do Conselho de Segurança da ONU, e no momento em que assinaram o tratado já possuíam avançado programa nuclear, tanto pacífico quanto bélico. O TNP permitiu que estes cinco permanecessem com o aparato que já dispunham, comprometendo-se a não partilhar os conhecimentos tecnológicos, ou fornecer armamento a terceiros que não possuíssem a tecnologia. Do outro lado, os países que até 1967 não tivessem desenvolvido armas nucleares ficavam comprometidas a não elaborar qualquer programa nesse sentido, abrindo mão da tecnologia nuclear para fins bélicos. Essa “divisão” estabelecida pelo tratado impediu que por muitos anos várias nações fossem compelidas a ratificar o TNP, incluindo o Brasil, que aderiu ao tratado apenas em 1998, por não concordar com tal divisão criada.

O arranjo diplomático que se estabeleceu para que o tratado gradualmente obtivesse a aprovação de quase a unanimidade das nações do globo era de que, à medida que os não detentores de tecnologia nuclear fossem aderindo ao tratado, as grandes potências nucleares iriam abrindo mão de seu arsenal em etapas, em processo similar ao que ocorreu com as armas bacteriológicas.

Apesar deste acerto, a assimetria óbvia entre os que “têm” e os que “não têm” é ainda questão a ser resolvida, pelo simples fato de não haver um mecanismo que garanta de forma incontroversa e definitiva que o desarmamento das cinco potências nucleares está sendo cumprido à risca. A

Agência Internacional de Energia Atômica, a responsável por tal fiscalização, encontra sérias dificuldades em comprovar tal política de não proliferação nuclear reiteradas vezes, sendo o caso mais famoso o do Irã, que mantém sigilo muitas vezes questionado internacionalmente sobre o seu programa nuclear. Outra questão importante é o do armamento nuclear localizado nas ex-repúblicas da União Soviética, cujo destino é de certo modo nebuloso, e que desperta preocupação da opinião pública internacional, pela possibilidade deste material ser adquirido por extremistas políticos ou religiosos¹.

Após a leitura do texto foi solicitado aos alunos que sejam feitos comentários sobre o texto ou mesmo qual a análise que eles fazem sobre o texto. Na sequência deste pequeno diálogo, foi sugerido pelo professor algumas indagações específicas sobre o texto. O objetivo destas indagações é buscar identificar os conhecimentos prévios e provocar os alunos a uma reflexão sobre o que será o tema de fundo do filme que será apresentado em seguida sem, obrigatoriamente, adentrar nesta temática com profundidade. Ao mesmo tempo pretende-se demonstrar a necessidade que teremos de um aprofundamento dos conceitos físicos. Nesta etapa busca-se construir uma problematização com vistas a motivar os alunos para a participação ativa na oficina. Não há aqui o objetivo de buscar respostas assertivas, mas sim fomentar que cada um construa argumentos plausíveis, baseados em seus conhecimentos para responder cada questão.

Para o texto acima, alguns questionamentos foram sugeridos.

- 1) Qual o objetivo de se ter uma entidade de controle em relação a um tema tão polêmico: *produção e proliferação de armas nucleares*?
- 2) Você acha correto que a entidade TNP seja composta pelas nações a serem analisadas?
- 3) Quais são os princípios de funcionamento de uma arma nuclear? Quais as consequências do seu uso?
- 4) Além do uso armamentista você conhece outra aplicação das tecnologias nucleares de forma pacífica em nosso cotidiano?
- 5) Você acha necessário o Brasil desenvolver tecnologia neste sentido?

¹ Disponível em <<https://www.infoescola.com/geografia/tratado-de-nao-proliferao-de-armas-nucleares/>>. Acessado em: 9 nov. 2020.

Na sequência foi sugerido aos alunos que venham a assistir um filme, (previamente analisado pelo professor), que tem como pano de fundo a temática a ser trabalhada. Sugere-se que o filme não seja na forma de documentário ou material didático específico, mas produção cinematográfica, pois os modelos de produção anteriormente citados normalmente seguem com um aprofundamento mais teórico e uma linguagem mais direcionada. Com o uso de filme de produção cinematográfica, por ser algo mais amplo e acompanhado de um enredo, queremos cativar mais os alunos, fazendo com que os mesmos tenham maior interesse pela história do filme e por consequência com o saber a ser construído.

Como nossa temática foi Física das Radiações Nucleares buscamos o filme do gênero drama e ficção científica; “O dia Seguinte” de 1983, dirigida por Nicholas Mayer de duração 2 h e 3 min.

Antecedendo ao filme sugere-se sempre a apresentação da resenha do mesmo e também é solicitado que os alunos façam anotações sobre dúvidas e comentários sobre o filme para uma discussão futura.

Segue então a resenha: “Este filme ocorre na década de 80 em pleno auge da Guerra Fria. Em Lawrence, uma pequena cidade próxima a Kansas City, EUA. Russell Oakes está ocupado com seus afazeres como chefe de cirurgia do hospital local e a família Dahlberg cuida dos preparativos para o casamento da filha mais velha. Paralelamente, o exército russo invade Berlim Oriental, o que cria uma grave crise diplomática entre a União Soviética (URSS) e os Estados Unidos. Em resposta, a OTAN (Organização do Tratado do Atlântico Norte) envia para a área de conflito todo seu arsenal. As forças contrárias iniciam então ações militares de combate que vão se intensificando e agravando a situação, até que é usada pela primeira vez arma nuclear de pequena potência sobre o QG da OTAN na Europa. Nos Estados Unidos um dos alvos é Kansas City, onde estão armazenados dezenas de mísseis nucleares.”

Em um ambiente apropriado o filme foi apresentado aos alunos. Neste caso usamos o auditório da escola por possuir uma tela de projeção e um sistema de som de qualidade. Salientando sempre para que os alunos façam as devidas anotações sobre dúvidas e questionamentos sobre o filme. Na sequência os alunos foram dispensados.

2º Encontro (2 horas)

No primeiro momento deste encontro, o professor sugeriu a formação de pequenos grupos (2 ou 3 alunos), que irão se reunir por afinidade ou proximidade, para discutir e compartilhar as dúvidas e comentários que cada um possui em relação ao filme assistido. Para que este momento seja produtivo, faz-se necessário por parte do professor uma motivação para os alunos em relação a seriedade e aproveitamento desta oportunidade, para que não sejam reunidos para atividades dispersas. Tempo máximo de 10 minutos.

Logo após esta etapa estes mesmos grupos foram discutir sobre trechos do filme que haviam sido selecionados pelo professor (decupagem) e que estavam presentes na página do professor (<https://profsandrobagnara.wixsite.com/bagnara/oficina>) para visualização e discussão, juntamente com algumas questões sobre cada cena. Esta visualização pode ser feita no laboratório de informática da escola ou mesmo através do smartphone do aluno.

Não se busca neste momento respostas assertivas, mas somente o estabelecimento de organizadores prévios. A construção dos saberes suficientes para responder a todas estas indagações será objeto da próxima etapa.

Segue abaixo o quadro com as cenas e as questões sugeridas sobre o filme “O dia seguinte”

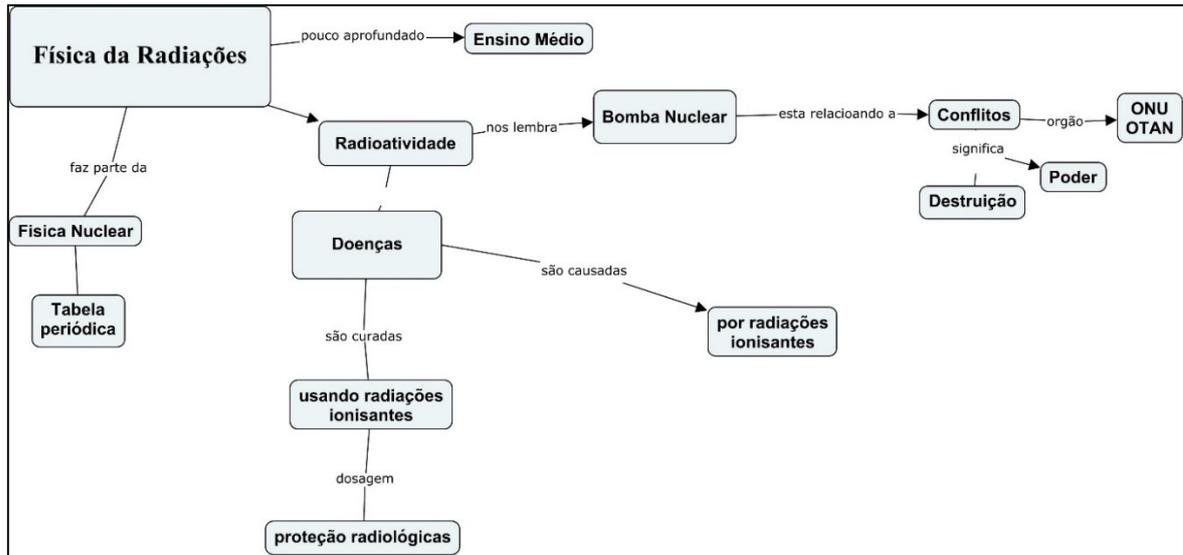
CENA /TEMPO	FATO IMPORTANTE A SER ANALISADO
<u>CENA 01</u> 31:40 – 32:54	No diálogo entre os dois médicos é possível notar que em determinado momento eles falam sobre a evacuação das cidades, também questionam sobre a evolução do conhecimento e suas consequências para a vida das pessoas. Até que ponto as tecnologias atuais trouxeram melhorias para a vida do ser humano? E quantos fatos danosos estas mesmas tecnologias trouxeram?
<u>CENA 02</u> 37:34 – 39:01	Enquanto conversavam sobre o uso de armas nucleares um dos clientes comenta sobre a sua pouca preocupação com as consequências pelo fato de estar longe do conflito, nas palavras do mesmo, “neste fim do mundo”. As guerras e o uso de armas poderosas não produzem danos somente no local envolvido no conflito, mas também nas regiões próximas. Como você analisa as consequências de um bombardeio nuclear num determinado local e os danos na vizinhança?
<u>CENA 03</u> 41:22 – 42:50	Se preparando para a ocorrência de um conflito nuclear entre as nações, a população busca armazenar mantimento, estocar água, produz barreiras com terras nas janelas dos porões. Quais são as medidas de proteção que você tem conhecimento além destas citadas no filme?

<u>CENA 04</u> 53:59 /- 57:50	No momento da explosão da bomba nuclear é possível notar que carros e equipamentos deixam de funcionar de forma repentina. Qual o motivo para tal fato? É possível notar no filme o poder de destruição da bomba imediatamente após a sua explosão e que este poder é intenso, identifique alguns deles.
<u>CENA 05</u> 1.04:54- 1.06:05	Acredita-se que a falta de energia elétrica no hospital é devido ao fenômeno da Pulsação Eletro Magnética (PEM). O que é? Quais são suas aplicações e consequências?
<u>CENA 06</u> 1.09:40- 1.10:43	Ao notar que o hospital esta superlotado de pacientes em consequência da exposição direta ou indireta à radiação, o médico se pergunta sobre o alcance desta contaminação em relação ao local da queda da bomba. Alguém pode se considerar livre da ameaça?
<u>CENA 07</u> 1.18:10- 1.19:26	No momento de desespero, ao sair do porão a moça comenta que não consegue identificar nada de radiação porém a mesma é alertada que a radiação é invisível e produz danos irreversíveis quando exposta a doses acima do tolerado. Quais são os valores das doses mínimas que o ser humano suporta?
<u>CENA 08</u> 1.27:28- 1.28:36	As pessoas buscam ajuda para seus problemas de saúde gerados pela incidência das radiações em valores acima do tolerável. Qual a influência da radiação nestas enfermidades (queda de dentes e cabelo, vômitos, feridas pelo corpo, cegueira, etc)?

No momento seguinte, baseado nas questões que os alunos anotaram quando assistiam o filme, juntando as questões sugeridas pelo professor, organiza-se um mosaico no quadro com palavras que descrevam as dúvidas e questionamentos que os alunos trouxeram em relação ao filme. A palavra chave do mosaico é Física das Radiações, que a partir dela, irão ser interligadas as demais, conforme descrito logo a seguir.

Será baseado neste mosaico que o professor irá desenvolver o aprofundamento teórico para responder as perguntas dos alunos. Segundo Moreira (2006) o mosaico aqui apresentado é denominado Mapa Conceitual, que tem por objetivo organizar um sistema hierárquico dos conceitos partindo de itens mais inclusivos para os de pouca abrangência

Na figura abaixo temos a representação do mapa conceitual originário da discussão proposta sobre a temática em questão.



Os questionamentos que surgiram dos alunos foram organizados conforme o seu grau de relação com a temática para que no momento da construção da teia estivessem todas elas contempladas. Estas questões retornaram a discussão após o aprofundamento como uma forma de verificação de aprendizagem.

É neste momento que os organizadores prévios começaram a ser formados, pois os estudantes durante seus diálogos poderão conectar ideias e conceitos que aparentemente não haviam percebido. Todo esse movimento intelectual ocorre no sentido de manter vivo na estrutura cognitiva dos alunos conhecimentos prévios, que poderão estar vinculados ao filme.

É necessário ter um cuidado especial nesta etapa para não pulverizar demais os conteúdos a serem aprofundados de tal forma que venha a ser necessário se aprofundar em muitos conceitos relacionados à Física e até de outras disciplinas. Ao mesmo tempo é uma ótima oportunidade para a construção de um trabalho interdisciplinar, pois em muitos momentos, as respostas não estarão presentes somente no campo da Física necessitando assim de um aprofundamento em outras disciplinas, bem como a colaboração de professores de outras áreas.

Citamos alguns casos: para compreendermos a Guerra Fria seria necessária a colaboração do professor de História; para a compreensão da função e organização da OTAN o professor de Geografia seria de grande valia; para compreender um pouco mais sobre a radiação teremos que buscar fundamentos junto ao professor de

Química; os bioefeitos da radiação no ser humano e na natureza tão presentes no filme o professor de Biologia daria uma resposta plausível.

Os elementos desta teia, bem como sua extensão dependem basicamente da condução do trabalho por parte do professor, da interação entre os componentes da oficina e do nível de conhecimento dos alunos. O professor também pode, se achar necessário, sugerir uma pesquisa de aprofundamento sobre alguns temas que não foram elencados nas discussões mas que serão de grande valia para o sucesso da oficina. Na aplicação desta oficina, baseado da alto grau de interesse dos alunos, acabamos por buscar um maior aprofundamento sobre a produção de energia nas Usinas Nucleares, os tipos de combustíveis usados e a sua forma de produção, desde o processo de mineração do Urânio na natureza até o seu enriquecimento, transformando-o no combustível da usina (Urânio 235).

A seguir consta os conteúdos que foram definidos para serem aprofundados nesta oficina.

- 1 – Radiação Nuclear: o que é, que tipos existem;
- 2 – Conflitos Mundiais (primeira e segunda guerra);
- 3 – Função das organizações como ONU, OTAN.
- 4 – Tipos de bomba e o poder de destruição;
- 5 – Efeito das radiações nos seres vivos;
- 6 – Utilização da radiação nuclear no cotidiano: vantagens e desvantagens;

3º e 4º Encontro (3 horas cada)

Nesta etapa o professor irá realizar o aprofundamento dos conceitos elencados no encontro anterior, de forma a tornar possível a compreensão do filme, ou seja, a construção das respostas por parte dos alunos para as questões apresentadas em relação ao filme e ao artigo do primeiro encontro.

Fazendo uso de apresentações em slide, recortes de vídeo-aulas, material impresso e simulações computacionais cabe ao professor construir uma aula dinâmica e significativa sobre os temas propostos.

A seguir está exposto uma proposta de aprofundamento de conteúdos que foi desenvolvida nesta oficina.

O texto a seguir é um recorte do trabalho de conclusão do Curso de Especialização em Ensino de Física (2003) de Sandro Rogério Bagnara junto a Facepal – Palmas – Paraná.

Física das Radiações

Introdução

Existem certos assuntos controversos, que periodicamente vem à tona, exigindo da comunidade uma postura crítica para a avaliação de suas finalidades e de suas consequências. A Radioatividade com certeza é um destes assuntos.

Geralmente, as opiniões a respeito são apresentadas sem o devido embasamento técnico-científico, o que facilmente pode levar a erros na sua avaliação. Por outro lado, quando são expostos argumentos fundamentados há uma certa resistência na sua compreensão, devido principalmente aos conceitos científicos envolvidos, considerados complicados e/ou pouco conhecidos pelos alunos.

Esta desinformação tem raízes na nossa formação escolar. Na verdade, como regra geral, conceitos como radioatividade não são apresentados nos ensinos fundamental e médio e aparecem, às vezes, na disciplina de química do ensino médio. No ensino superior elas só são discutidas em cursos da área de ciências exatas sob seus aspectos físicos/químicos/energéticos, ficando sua interação com seres vivos para a área das ciências biomédicas (biologia, medicina, etc).

Isto significa que um cidadão com o ensino superior completo, que não tenha optado por uma das áreas exatas acima mencionadas, terá, na melhor das hipóteses, visto o assunto radioatividade sob seu aspecto químico em algumas aulas no ensino médio! Assim sendo o cidadão que tem somente o ensino fundamental, nunca ouviu falar do assunto na escola, pensando ser a escola o local mais apropriado para

discussão de um tema tão importante como este. E a radioterapia, lixo radioativo, danos de radiação, proteção radiológica e tantos outros temas que dizem respeito ao dia-a-dia do indivíduo? Nem sabe o que é.

Desta forma o texto que segue tenta construir uma abordagem do tema que seja ao mesmo tempo fruto de uma pesquisa técnica-bibliográfica, mas que seja também uma forma de esclarecimento sobre este tema tão pouco conhecido da grande maioria da população, mas que possui grande aplicabilidade e influência no dia-a-dia.

Um pouco de História

O estudo da radioatividade parte dos trabalhos originais que resultaram na descoberta do elétron. Na tentativa de entender a condução da eletricidade através dos gases, foram feitas diversas experiências usando diferentes gases a diferentes pressões.

Quando um tubo estava cheio de gás a pressão atmosférica a eletricidade não fluía entre os eletrodos mesmo com a aplicação de altas voltagens mas, reduzindo a pressão, ocorria, então, a passagem da corrente elétrica através do ar rarefeito.

Este gás brilhava como uma luz azulada, que desaparecia com o abaixamento da pressão, sendo substituída por uma fluorescência esverdeada nas paredes do tubo que continha o gás.

Pesquisas posteriores mostraram que o brilho esverdeado era produzido por partículas emitidas pelo eletrodo negativo (cátodo). Estas emissões, que nada mais eram que um feixe de elétrons invisível a olho nu, foram denominados de raios catódicos.

A descoberta dos raios catódicos e os trabalhos posteriores de Crookes despertaram o interesse de um grande número de físicos do final do século XIX; entre eles o alemão Wilhelm Konrad Röntgen (1845-1923).

Em um dos seus experimentos com raios catódicos Röntgen percebeu que um negativo de filme fotográfico virgem tinha sido sensibilizado, mostrando o fecho

metálico de uma bolsa que estava colocada sobre o filme. Baseado nisto, Röntgen propôs que quando os raios catódicos se chocavam com o vidro ou com metais, novos raios eram emitidos. Estes raios além de serem altamente energéticos possuíam também a propriedade de sensibilizar até mesmo um negativo fotográfico que estivesse envolto por papel preto.

Em 8 de Novembro de 1895 Röntgen concluiu que esses raios provocavam a fluorescência em certos materiais como o platinocianeto de bário. Como esses raios não eram desviados por um campo magnético, ele concluiu que tais raios não eram catódicos e não possuíam carga elétrica. Denominou-os, então, de raios-X.

Na década de 1890 o físico francês Antoine-Henri Becquerel (1852 – 1908) se dedicava a verificar a fluorescência de certos minerais ao serem expostos a luz forte (Sol). Um dos minerais que trabalhava era o Urânio (U), e em um dia nublado, impróprio para realização de suas experiências, Becquerel guardou em uma gaveta filmes fotográficos armazenados em embalagens escuras. Surpresa grande teve Becquerel quando ao revelar os filmes notou que os mesmos estavam “impressionados” (revelados); concluiu que alguns minerais produziam raios que penetravam em substâncias consideradas protegidas, mesmo sem os mesmos serem excitados pela luz, propriedade semelhante ao do raio-X de Röntgen e a esta propriedade denominou de radioatividade.

Seis dias depois de sua descoberta Röntgen apresentou seu achado aos colegas da Universidade de Würzburg. A imprensa noticiou o fato com destaque em 5 de janeiro de 1896. No mesmo ano os médicos adotaram a novidade. Imagine: com ela dava para ver ossos quebrados e órgãos doentes dentro do corpo humano. Logo começou a ser usada no tratamento do câncer. Pesquisadores também radiografavam animais para estudos anatômicos. Na sociedade a reação era de deslumbramento e todos queriam ver seu próprio esqueleto. Rápido, o americano Thomas Alva Edison (1847-1931) inventou um instrumento com tela fluorescente que deixava ver a radiografia ao vivo, sem necessidade de revelar filmes. Em 1902 um inglês fabricou uma máquina de raios X controlada por moeda, como essas de refrigerante que temos hoje em dia.

Por sugestão de Becquerel, Pierre Curie (1859-1906) e sua esposa, a física polonesa Marie Curie (1867-1934), examinaram cuidadosamente o Urânio e concluíram que a emissão é proporcional à quantidade de Urânio presente na amostra. Deve-se notar que Marie Curie foi a primeira mulher a receber um prêmio Nobel (de Física em 1903) e também o primeiro cientista a recebê-lo duas vezes (de Química em 1911).

Radioatividade

De que são feitas as coisas, a terra, as plantas, a gente? A pergunta é a mesma desde há muito tempo! A resposta é que vem mudando à medida que mais conhecimentos se acumulam sobre o assunto, permitindo novas interpretações de fenômenos que eram supostamente conhecidos.

No tempo de Aristóteles dizia-se que eram quatro os elementos que compunham todo o tipo de matéria: terra, ar, fogo e água. Mas mesmo neste tempo já se sabia da existência de outras substâncias como cobre, prata, ouro e enxofre, que não podiam ser decompostas em nenhum dos quatro elementos propostos como fundamentais. Estas substâncias: cobre, ouro, prata, ferro, chumbo e mercúrio e etc, conhecidas desde há muitos milhares de anos, são hoje reconhecidas como sendo elementos químicos. Embora o número de elementos seja relativamente pequeno, o número de combinações que se pode realizar com eles é muito grande, e é isto que origina um número grande de substâncias diferentes.

Mas se um elemento não pode ser separado em constituintes mais simples, o que ocorre se dividirmos um pedaço de um dado elemento, ouro, por exemplo, em pedaços cada vez menores? O último pedacinho que ainda é ouro é chamado de um átomo de ouro e, portanto, átomo é o menor pedaço de um elemento e que ainda armazena as propriedades do elemento.

Por volta de 1900, as pessoas pensavam nos átomos como bolas permeáveis com pequenas quantidades de carga elétrica vibrando internamente.

Mas de que são constituídos os átomos? A resposta mais atual e aceitável diz que o átomo é constituído por um núcleo cercado por um envoltório de elétrons. E

este núcleo é composto por prótons e nêutrons. Estes constituintes dos átomos são chamados por nomes diferentes porque possuem propriedades diferentes (carga elétrica, massa, spin, etc).

Além disso, experimentos que "olharam" o interior de um átomo usando sondas de partículas indicaram que os átomos tinham estrutura e que não eram somente bolas permeáveis. Esses experimentos ajudaram na determinação de que os átomos têm um minúsculo núcleo denso, positivo, e uma nuvem de elétrons negativos (e^-) representado na figura 1.

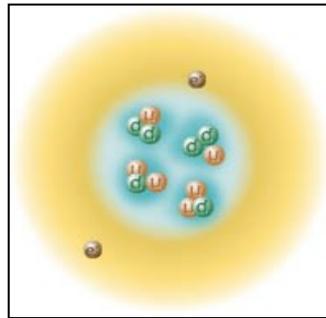


Figura 1 : Modelo Atômico Moderno

Os físicos descobriram que os prótons e os nêutrons são compostos de partículas ainda menores chamadas quarks.

De acordo com as teorias modernas dizemos que a matéria é formada por elétrons, prótons e nêutrons. A diferença entre um elemento químico e outro é determinada pelo número de prótons que seu núcleo possui. Se dois átomos tiverem mesmo número de prótons, mas diferente número de nêutrons, eles são do mesmo elemento, mas não são a mesma coisa. Quando isto ocorre, dizemos que são *isótopos*. Às vezes é interessante se referir aos diferentes tipos de núcleos chamando-os de *nuclídeos*.

A Radioatividade é um processo no qual um núcleo com **Z** prótons e **N** nêutrons, pode se transformar em outro núcleo com **Z** e **N** diferentes. Esta transformação é chamada desintegração nuclear, sendo acompanhada por emissão de radiação. Por este motivo, os núcleos instáveis são chamados de radioativos. A

liberação de energia se deve a um grau de instabilidade interna do átomo que, ao se converter em outro átomo, alcança um grau maior de instabilidade.

A descoberta da Radiação

Becquerel verificou que qualquer composto de urânio, incluindo aqueles que não eram fluorescentes, sensibilizavam as chapas fotográficas do mesmo modo que as substâncias fluorescentes. Veja o que Becquerel disse:

Todos os sais de urânio que estudei(...), quer em forma de cristal ou em solução, deram-me resultados correspondentes. Eu chequei à conclusão de que o efeito é devido à presença do elemento urânio nestes compostos, e que o metal dava efeitos mais evidentes que seu composto. Um experimento realizado algumas semanas atrás confirmou esta conclusão; o efeito sobre chapas fotográficas, produzido pelo elemento, é muito maior do que o produzido por um de seus sais, particularmente pelo sulfato duplo de uranila e potássio.

Desta forma estava, quase acidentalmente, descoberta a radioatividade (atividade de emitir raios), a qual não tem nenhuma relação com a fluorescência.

Os cientistas da época ficaram bastante excitados com a nova descoberta. O fato de o urânio emitir continuamente radiação penetrante, semelhante aos raios-X, sem auxílio de luz, de calor, ou de qualquer outra coisa, foi um mistério fascinante no fim do século XIX. Vários cientistas continuaram a pesquisar intensamente tudo que estivesse relacionado com a radioatividade. Dentre estes cientistas dois se destacaram: Marie Sklodowska Curie, e Pierre Curie. Estes cientistas descobriram dois novos elementos radioativos. Um deles recebeu o nome de polônio (originário de minérios de urânio, chamados de pechblendas) em homenagem à Polônia, pátria de Marie Curie. O outro recebeu o nome de rádio, devido à intensa radiação que emitia.

Num sentido amplo radiação é aquilo que irradia (emite raios) de algum lugar. Em física o termo se refere usualmente a partículas e campos que se propagam (transferindo energia) no espaço (preenchido ou não de matéria).

A radiação pode ser de natureza particulada ou ondulatória (ou eletromagnética). A radiação de natureza particulada é caracterizada por sua carga (carregada ou neutra), sua massa (leve ou pesada) e sua velocidade (rápida ou lenta). Prótons, nêutrons e elétrons ejetados de átomos ou núcleos atômicos são exemplos de radiação particulada.

A radiação de natureza ondulatória ou eletromagnética é constituída de campos elétricos e magnéticos oscilantes, e se propagam com velocidade constante num determinado meio, chegando ao valor máximo no vácuo (300.000 Km/s). Ondas de rádio, ondas luminosas (luz), raios infravermelhos, raios ultravioletas, raios-X e raios gama são exemplos de radiação eletromagnética. Suas características são as características ondulatórias: a amplitude, o comprimento e a frequência.

Max Planck (1858-1947) em 1901, e Albert Einstein (1879-1955) em 1905, iniciaram a formulação da teoria dos quanta, na qual diziam que a radiação eletromagnética é emitida e se propaga descontinuamente em pequenos pulsos de energia, chamados de pacotes de energia, fótons ou quanta. Mesmo sem possuir carga ou massa, carregam energia e momento.

As radiações (particuladas ou ondulatórias) podem ser ionizantes ou não ionizantes. A ionização acontece quando a energia da radiação incidente sobre um material é suficiente para arrancar elétrons dos seus átomos. A radiação é dita não ionizante quando sua energia não é suficiente para arrancar elétrons dos átomos. Neste caso pode ocorrer a excitação do átomo, onde elétrons são levados a níveis orbitais mais externos do átomo, sem serem ejetados.

A unidade padrão do Sistema Internacional (SI) para energia é o Joule mas, por ser uma unidade macroscópica na escala humana, não é conveniente seu uso em fenômenos atômicos. No domínio atômico usamos o elétron-volt (eV), definido como a energia que um elétron adquire ao atravessar uma diferença de potencial de 1 volt:

$$1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

A incidência da radiação sobre uma determinada matéria pode provocar alterações na estrutura atômica desta matéria.

Decaimento Radioativo

Os estudos realizados sobre o fenômeno da radioatividade, a partir do final do século XIX, comprovaram a existência de três tipos de radiações emergentes do interior dos átomos (núcleo): os raios alfa, beta e gama.

Raios Alfa (α). De natureza eletropositiva e identificados como feixes de núcleos de hélio², os raios alfa são altamente energéticos e emitidos pelos elementos radioativos a milhares de quilômetros por segundo. São também chamadas partículas alfas. Apesar de seu elevado conteúdo energético possuem baixa penetrabilidade e são facilmente detidos por folhas de papel, de alumínio e de outros metais, conforme apresentado na tabela 1.

Energia (MeV)	Alcance (cm)		
	Ar	Tecido Humano	Alumínio
1,0	0,55	$0,33 \cdot 10^{-2}$	$0,32 \cdot 10^{-3}$
2,0	1,04	$0,63 \cdot 10^{-2}$	$0,61 \cdot 10^{-3}$
3,0	1,67	$1,00 \cdot 10^{-2}$	$0,98 \cdot 10^{-3}$
4,0	2,58	$1,55 \cdot 10^{-2}$	$1,50 \cdot 10^{-3}$
5,0	3,50	$2,10 \cdot 10^{-2}$	$2,06 \cdot 10^{-3}$

Tabela 4: Alcance das partículas alfas

Fonte: OKUNO; CALDAS; CHOW. Física para Ciências Biológicas 1986

Raios Beta (β). Também chamados de partículas beta, de carga negativa (β^-) ou positiva (β^+). A emissão de radiação beta é um processo mais comum entre os núcleos leves ou de massa intermediária que possuem um excesso de nêutrons (emite β^- , transformando os nêutrons em prótons) ou um excesso de prótons (emite β^+ , transformando os prótons em nêutrons).

Os raios betas são identificados como partículas de alta energia expelidas pelos núcleos de átomos radioativos. As partículas betas possuem menor energia que as alfa, mas apresentam maior poder de penetração, razão pela qual ultrapassam a barreira das lâminas metálicas finas usadas para deter as partículas alfa. Para isolar a radiação beta, é necessário usar lâminas muito mais espessas.

Na tabela 2 apresentamos o poder de alcance das partículas Beta.

Energia (MeV)	Alcance (cm)		
	Ar	Tecido Humano	Alumínio
0,01	0,23	$0,27 \cdot 10^{-3}$	-
0,1	12	$1,51 \cdot 10^{-2}$	$4,3 \cdot 10^{-3}$
0,5	150	0,18	$5,90 \cdot 10^{-2}$
1,0	420	0,50	0,15

² Hélio – 2 Prótons e 2 neutrons.

2,0	840	1,00	0,34
3,0	1260	1,50	0,56

Tabela 5 : Alcance das partículas Betas.

Fonte: OKUNO; CALDAS; CHOW. Física para Ciências Biológicas 1986

Raios Gama (γ). Eletricamente neutros e constituídos de radiação eletromagnética (fótons) de frequência superior ao do espectro da luz visível e a dos raios X, os raios gama são emitidos quando os núcleos efetuam transições, por decaimento alfa, de estados excitados para os de energia mais baixa. Sua energia e capacidade de penetração dificultam sua manipulação. A excessiva exposição dos tecidos vivos a esses raios ocasiona malformações nas células, que podem provocar efeitos irreversíveis. Na tabela 3 apresentamos os níveis de penetração ou camada semi-redutora dos raios gama.

Energia (MeV)	Camada Semi-redutora (cm)	
	Tecido Humano	Chumbo
Raios X ou Gama		
0,01	0,13	$4,5 \cdot 10^{-4}$
0,05	3,24	$0,8 \cdot 10^{-2}$
0,1	4,15	$1,1 \cdot 10^{-2}$
0,5	7,23	0,38
1,0	9,91	0,86
5,0	23,10	1,44

Tabela 6: Camada semi-conduta para os raios-X ou gama

Fonte: OKUNO; CALDAS; CHOW. Física para Ciências Biológicas 1986

Atualmente, sabe-se que existem também radiações devidas à fissão espontânea do núcleo, que são observadas em núcleos pesados como os de urânio, plutônio e netúnio. Essa radiação ocorre devido à quebra espontânea do núcleo em dois núcleos mais leves, com liberação de nêutrons.

A experiência provando as características das radiações foi realizada por Marie Curie. Uma amostra radioativa (radio) foi colocada em uma cavidade de um bloco de chumbo e os raios que emergiam foram direcionados para passar entre os polos de um ímã. As trajetórias das radiações eram desviadas quando passavam através do

campo eletromagnético e eram por fim detectadas ao se chocarem com uma chapa fotográfica (filme), conforme demonstra a figura 2:

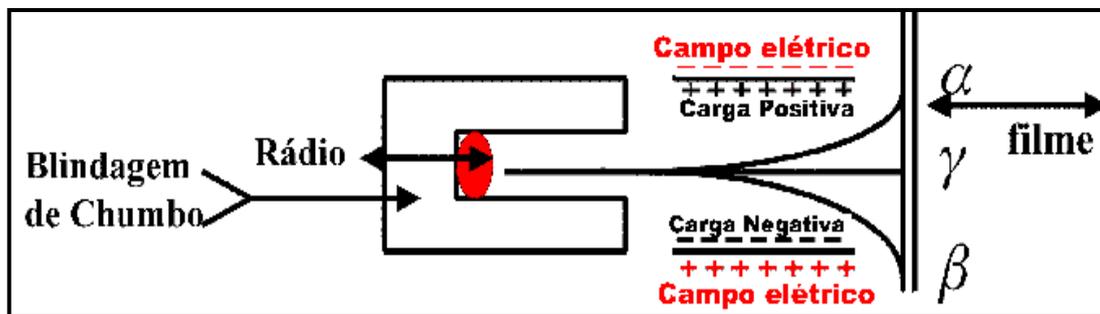
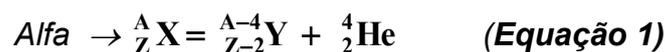


Figura 2. Experiência que demonstra a existência das radiações naturais. (Adaptado de Willians, et ali, 1971)

Após a confirmação das hipóteses enunciadas por Ernest Rutherford (1871-1937) e Frederick Soddy (1877-1956), segundo as quais a radioatividade resulta da transmutação de elementos químicos em outros, o próprio Soddy e Kasimir Fajans enunciaram as leis que levam seus nomes e que determinam os produtos finais de uma decomposição radioativa, resumidas na chamada lei do decaimento radioativo: O átomo radioativo que decai pela emissão de uma partícula alfa se transforma num elemento químico diferente, com dois prótons a menos em seu núcleo e com quatro unidades de massa atômica a menos; se o decaimento resulta da emissão de uma partícula beta, seu número atômico se eleva uma unidade, observadas nas equações 01 e 02.



Quando um elemento emite uma partícula alfa (libera 2 prótons e 2 nêutrons), tanto o número de massa quanto o número atômico diminuirão (o primeiro de 4 unidades e o segundo de 2 unidades).

Vejamos agora a partícula beta: ela não altera o número de massa do nuclídeo que desintegrou, no entanto, o número de prótons do núcleo (número atômico **Z**) aumenta, e como é o número de prótons que caracteriza um dado elemento, quando um nuclídeo emite um beta ele se transforma em um nuclídeo de outro elemento (a este processo chamamos de decaimento radioativo).

Em muitos núcleos o decaimento através de partículas alfa e beta é seguido da emissão de energia em forma de uma onda eletromagnética. Esta onda é chamada radiação gama (γ).

Quanto à sua natureza, esta radiação é do mesmo tipo da radiação X (raios-X) ou da radiação luminosa, por exemplo. Comparando sua energia, no entanto, verifica-se que ela é muito maior do que a da luz visível e em muitos casos maior do que a dos raios-X. Não é, no entanto, sua energia que a caracteriza e sim sua origem. Isto significa que se observarmos uma radiação X e uma radiação gama de mesma energia não a diferenciaremos fisicamente; sua caracterização é feita somente se soubermos se ela se originou no núcleo ou no envoltório eletrônico.

No interior do núcleo os prótons e os nêutrons interagem muito intensamente devido a força nuclear. Para esta interação não existe diferença entre prótons e nêutrons de forma que estas partículas interagem de maneira indistinta e às vezes as chamamos simplesmente de núcleons. Devido ao curto alcance destas forças³ somente núcleons muito próximos interagem entre si.

Existe, também no núcleo, uma interação entre partículas com carga dando origem às forças elétricas que são muito fracas se comparadas às forças nucleares; no entanto, sua atuação é de um alcance muito maior. Quando prótons e nêutrons estão no núcleo existe uma competição entre estas forças: as forças nucleares de curto alcance querem manter os núcleons juntos e a força elétrica quer separar os prótons (partículas com carga) e, portanto, tenta desmanchar o núcleo.

Para muitos núcleos a força nuclear sai vencedora, mas para núcleos pesados há um delicado balanço entre as duas forças opostas. Para núcleos com muitos prótons e muitos nêutrons, a força elétrica continua atuando sobre os prótons, mas a força nuclear, por ser de curto alcance, não atinge todos os núcleons atuando apenas sobre alguns núcleons muito próximos. Estes núcleons com número de massa grande e instáveis podem se transformar em núcleos com núcleons mais fortemente ligados através de um decaimento alfa ou beta.

Radiatividade Natural

³ As forças nucleares e fraca só atuam em distâncias da ordem de 10^{-13} cm ou menos

As transformações sofridas pelos elementos radioativos, existentes na natureza num total de aproximadamente quarenta permitem agrupá-los em três séries, chamadas séries de desintegração radioativa, nas quais os elementos se convertem uns nos outros por sucessivas emissões alfa e beta (a emissão gama não produz intrinsecamente alterações nucleares).

Os elementos ${}^{232}_{90}\text{Th}$, ${}^{238}_{92}\text{U}$ e ${}^{235}_{95}\text{U}$, encabeçam as séries ou famílias radioativas naturais. Cada um deles se desintegra inicialmente por emissão de partículas ${}^4_2\alpha$, dando origem a um segundo elemento que também irá se desintegrar (por alfa ou beta), gerando um terceiro elemento, e assim sucessivamente até o último elemento gerado em cada série, seja um isótopo estável do chumbo ($Z=82$).

(1) Série do urânio, a partir do isótopo 238 do urânio chega-se ao chumbo estável (206). Ao dividirmos o número de massa (A) de qualquer elemento da série por 4 teremos um resto de 2 ($A=4n+2$);

(2) Série do tório, inicia com o isótopo 232 do tório termina com o chumbo estável (208). Ao dividirmos o número de massa A de qualquer elemento da série por 4 teremos um valor exato ($A=4n$);

(3) Série do actínio, partindo do isótopo 235 do urânio (o Actínio) finaliza com o chumbo estável (207). Se dividirmos o número de massa A de qualquer elemento da série por 4, a divisão dará sempre resto 3 ($A=4n+3$). Esta sequência é empregada nos processos de fusão ou ruptura nuclear.

Há ainda uma quarta série, a série do netúnio, que começa com o isótopo 237 do netúnio, que tem meia-vida de dois milhões de anos. Os elementos que integram essa série não ocorrem naturalmente; são produzidos artificialmente por reações nucleares.

Alguns radionuclídeos não estão inclusos em nenhuma das séries acima citadas, pois eles têm origem cósmica (chamados elementos de medida espectral de radiação de fundo) e estaremos descrevendo-os mais especificamente no próximo item. Como exemplo podemos citar o potássio natural K^{39} , encontrado no material que constituí as paredes de construção ou mesmo no solo abaixo dela. Este elemento

apresenta 0.012 % do radioisótopo K^{40} , o qual decai com uma meia-vida de $1,3 \cdot 10^9$ anos.

Radioatividade Artificial

Reação de transmutação artificial é toda reação nuclear provocada pelo homem. A transformação artificial de um átomo de determinado elemento químico em outro átomo de elemento químico diferente pode ser conseguida bombardeando-se os átomos (denominados alvos) com partículas aceleradas (denominadas projéteis). O produto desse bombardeamento tanto pode ser um isótopo natural do elemento químico como pode ser um isótopo artificial. A radioatividade artificial foi descoberta pelo casal Curie num estudo dos efeitos do bombardeio de partícula α sobre os núcleos de elementos leves. Depois da descoberta de que esta reação conduzia a produtos radioativos foi encontrado que reações nucleares induzidas por prótons, deuteron, nêutrons e fótons também resultavam em produtos radioativos.

Fissão Nuclear

Alguns anos antes da segunda guerra mundial vários grupos de pesquisadores tentavam obter novos elementos químicos com $Z > 92$, bombardeando o urânio com nêutrons. Em janeiro de 1939 os alemães Otto Hahn (1879-1968) e Fritz Strassman (1902-1986) anunciaram a presença de bário, lantânio e criptônio numa amostra de urânio bombardeada com nêutrons. Nos meses que se seguiram, esse processo passou a ser mais bem compreendido e chamado de fissão nuclear. *Fissão Nuclear é o processo de quebra de núcleos grandes em núcleos menores, liberando uma grande quantidade de energia.*

A palavra fissão significa partição, quebra, divisão. Desta forma, fissão nuclear é a quebra de um núcleo atômico pesado e instável através de bombardeamento desse núcleo com nêutrons moderados, originando dois núcleos atômicos médios, mais 2 ou 3 nêutrons e uma quantidade de energia.

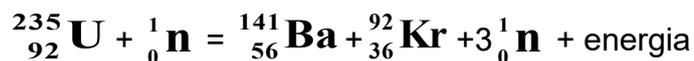
O nêutron, ao atingir um núcleo de urânio, provoca sua quebra em dois núcleos menores e a liberação de mais nêutrons que, por sua vez, irão atingir outros núcleos e provocar novas quebras. É uma reação em cadeia, análoga ao início de

uma epidemia de gripe: uma pessoa transmite o vírus para duas, que o transmite para quatro, daí para oito, e assim por diante.

Como os nêutrons não possuem carga elétrica não sofrem desvio de sua trajetória devido ao campo eletromagnético do átomo. Estando muito acelerado (energia na ordem de 1 MeV) atravessariam completamente o átomo; estando a uma velocidade muito lenta, seriam rebatidos; mas com velocidade moderada (energia da ordem de 10 eV) ficam retidos, e um novo núcleo é formado. Ele é instável e sofre desintegração posterior com emissão de partículas beta. Somente alguns átomos são capazes de sofrer fissão, entre eles o Urânio-235 e o Plutônio-239.

A enorme quantidade de energia produzida numa fissão nuclear provém da transformação da matéria em energia. Na fissão nuclear há uma significativa perda de massa, isto é, a massa dos produtos é menor que a massa dos reagentes. Tal possibilidade está expressa na famosa equação de Einstein: $E=mc^2$. No processo de fissão, cerca de 87,5% da energia liberada aparece na forma de energia cinética dos produtos da fissão e cerca de 12,5% como energia eletromagnética.

Vejamos um exemplo: a fissão do ${}^{238}_{92}\text{U}$:



Para calcularmos a quantidade de energia liberada realizaremos o cálculo da diferença de massa antes e depois da emissão dos 3 neutrons:

Para o ${}^{238}_{92}\text{U}$ temos massa igual a: 235,04390 u.m.a.

Para o ${}^1_0\text{n}$ temos massa igual a: 1,008665

u.m.a.

Temos, então: \rightarrow 236,052565 u.m.a.

Após a emissão temos:

Para o $^{141}_{56}\text{Ba}$ temos massa igual a: 140,9139
u.m.a.

Para o $^{92}_{36}\text{Kr}$ temos massa igual a: 91,9 u.m.a.

Para os 3^1_0n temos massa igual a : 3,025995 u.m.a.

Temos, então: → 235,839895

A perda de massa atômica foi de 0,21267 u.m.a., e sabendo que 1 u.m.a. é igual a $1,66 \cdot 10^{-27}$ kg, usando a equação $E=mc^2$ teremos que:

$$E = (0,21267 \times 1,66 \cdot 10^{-27}) \cdot (3 \cdot 10^8)^2 = 3,1810^{-11}\text{J}$$

Temos que 1 J equivale a $6,25 \cdot 10^{12}$ MeV e transformando J em MeV teremos
 $= 3,18 \cdot 10^{-11}\text{J} \times 6,25 \cdot 10^{12} = 198,75$ MeV.

Reação em cadeia é um conjunto de reações de fissão nuclear que se inicia, geralmente, pelo bombardeamento com nêutrons e que continua espontaneamente pela captação de nêutrons originados de fissões anteriores.

Se a massa físsil de urânio (massa de urânio que sofre fissão) for muito pequena, os nêutrons não serão captados por outros núcleos de urânio e a reação não terá continuidade. Portanto: *Massa crítica é a massa mínima da substância físsil que ainda possibilita a ocorrência de uma reação em cadeia.* Para o urânio²³⁵ a massa crítica é de aproximadamente 3,25 Kg.

Então para que a reação em cadeia se sustente devem ser observados os seguintes itens:

1º) A concentração de Urânio²³⁵ na massa a ser bombardeada dever ser da ordem de 98%, pois o urânio²³⁸ absorve os nêutrons diminuindo a probabilidade e a extensão da reação em cadeia.

2º) A massa de Urânio deve ser tal que o número de nêutrons gerados na fissão dos núcleos desses átomos que venham a causar a fissão do núcleo dos

átomos vizinhos seja maior que o número de nêutrons que escapam da massa físsil para o meio ambiente.

Alguns elementos químicos, como o boro, na forma de ácido bórico ou de metal, e o cádmio, em barras metálicas, têm a propriedade de absorver nêutrons, porque seus núcleos podem conter ainda um número de nêutrons superior ao existente em seu estado natural, resultando na formação de isótopos de boro e de cádmio. A grande aplicação do controle da reação de fissão nuclear em cadeia é nos Reatores Nucleares para geração de energia elétrica.

A velocidade de uma reação em cadeia pode ser de dois tipos: não-controlada e controlada. No primeiro caso, a reação ocorre muito rapidamente (em menos de 1 segundo), liberando enorme quantidade de energia. É o que acontece, por exemplo, na explosão da bomba atômica. No segundo caso, a reação é controlada pelos chamados reatores de fissão nuclear, o que permite aproveitar a energia liberada e evitar explosões.

Fusão Nuclear

Muitas pessoas dizem que o sol é uma bola de fogo. O que estará em queima lá, então? Na verdade, nada está queimando. No sol, bem como em outras estrelas, está ocorrendo um processo denominado "fusão nuclear". Na figura 3, apresenta-se as explosões do sol.

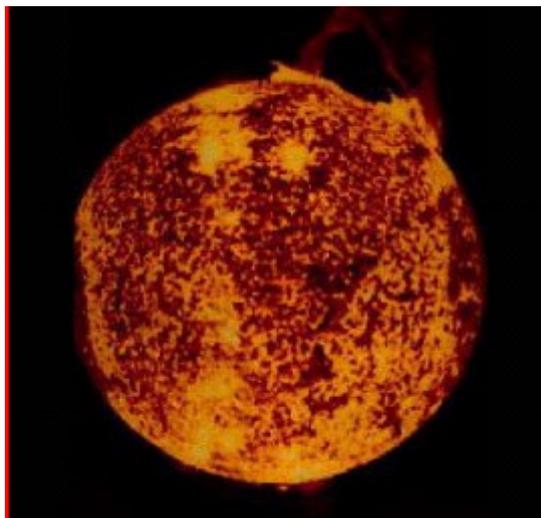


Figura 3: Foto do Sol e de suas explosões

Fusão Nuclear é a junção, união de núcleos pequenos, formando núcleos maiores e liberando uma quantidade muito grande de energia.

Para ocorrer fusão nuclear é necessário que os núcleos estejam muito próximos para que a força de atração nuclear supere a força de repulsão coulombiana (elétrica). Isso porque, sendo os núcleos positivamente carregados, aparece uma força de repulsão elétrica que tende a separá-los. Para os núcleos se aproximarem ao ponto em que a atração nuclear seja suficiente para fundi-los é necessário que a energia cinética associada a cada um seja grande. Sabemos que energia cinética grande significa alta velocidade ou altas temperaturas (pelo menos da ordem de 10 milhões de graus Celsius). O Sol é uma imensa bola de hidrogênio onde a temperatura é suficiente para que ocorra a fusão de átomos de hidrogênio, formando átomos mais pesados e liberando a energia que chega até nós na forma de luz e calor. Uma das reações que acontecem no sol é quando um átomo de deutério se funde com um átomo de trítio, formando um átomo de hélio e liberando grande quantidade de energia.

A energia liberada na reação de fusão não chega a ser maior que na fissão nuclear, porém é preciso menos material para produzir a mesma energia. Aproveitar a energia da fusão nuclear em usinas seria extremamente vantajoso, pois o hidrogênio (seu isótopo, o deutério) pode ser obtido a partir da água do mar a baixo custo, o rendimento energético da fusão é alto e o lixo resultante é bem menos perigoso que o lixo da fissão, contendo apenas um nuclídeo radioativo, o trítio.

A quantidade de Deutério existente na água do mar está na razão de 1:6.500, ou seja, um átomo de deutério em cada 6.500 átomos de hidrogênio. Pelo seu alto rendimento energético teremos que em um metro cúbico de água do mar tem, aproximadamente, $12 \cdot 10^{12}$ J o que corresponde aproximadamente a $2 \cdot 10^3$ barris de petróleo.

Como relatamos anteriormente, uma das primeiras reações de fusão obtida foi a de dois dêuterons (núcleos do isótopo do hidrogênio, deutério), como segue esquema abaixo:



Em 1939 o astrofísico Hans Bethe sugeriu que a grande quantidade de energia do Sol e outras estrelas é devida à fusão nuclear. As grandes temperaturas existentes em uma estrela são suficientes para produzir a fusão dos núcleos de hélio, com a correspondente liberação de energia. O resultado de tal reação é a seguinte:



A bomba de hidrogênio funciona à base de fusão nuclear. Uma das reações possíveis em uma bomba H é a formação de partículas alfa e uma grande quantidade de energia a partir de um composto de lítio e hidrogênio, ${}^6_3\text{Li}$, ${}^2_1\text{H}$. Esta reação é iniciada submetendo-se o composto a temperaturas e pressões extremamente elevadas usando uma reação fissão como detonador:



Estes 22,4 MeV distribuídos por 8 núcleons, significando 2,8 MeV por núcleon, supera em muito a fissão do Urânio, por exemplo, que é de 0,790 MeV por núcleon. Infelizmente, o problema da liberação da energia de fusão em quantidades controladas não foi ainda resolvido. Todavia, estão sendo realizadas pesquisas para controlar esta promissora fonte de energia. O grande empecilho está na temperatura necessária. Uma reação do tipo: 4 prótons se unirem para formar o núcleo de um átomo de hélio com liberação de pósitrons exige, para ser iniciada, uma temperatura da ordem de cem milhões de graus Celsius (10^8 °C).

Interação da Radiação com a Matéria

O Raio- X

Uma das primeiras descobertas após a identificação dos elétrons foi a dos Raios-X pelo físico Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923) em 1895. Essa tem sido considerada a pedra fundamental na estrada que leva a física de nossos dias.

Na tarde de 8 de novembro de 1895, após o trabalho, Röntgen, reitor da Universidade Wurzburg na Alemanha, resolveu continuar alguns experimentos que fazia no laboratório de sua casa. Antes de cair a noite um acaso o ajudaria a descobrir

os raios-X. Foi naquela tarde que o homem ganhou a incrível capacidade de ver o invisível.

Como muitos físicos da época, Röntgen pesquisava o tubo de raios catódicos, inventado alguns anos antes pelo inglês William Crookes (1832-1919). Era um tubo de vidro dentro do qual um condutor metálico aquecido emitia elétrons, então chamados raios catódicos, em direção a outro condutor. Quando Röntgen ligou o tubo naquele dia algo muito estranho aconteceu: perto do tubo uma placa de um material fluorescente chamado platino cianeto de bário brilhou. Ele desligou o tubo e o brilho sumiu. Ligou de novo e lá estava ele. O brilho persistiu mesmo quando Röntgen colocou um livro e uma folha de alumínio entre o tubo e a placa. Algo de estranho era emitido de dentro do tubo, que atravessava barreiras e atingia o platino cianeto de bário.

No dia 22 de dezembro ele fez a radiação atravessar por 15 minutos a mão da mulher, Bertha, atingindo, do outro lado, uma chapa fotográfica. Revelada a chapa, viam-se nela as sombras dos ossos de Bertha, na primeira radiografia da história. Fascinado, mas ainda confuso, Röntgen decidiu chamar os raios de "X" - símbolo usado em ciência para designar o desconhecido.

A radiação X é uma radiação eletromagnética e, como tal, é constituída de pacotes de energia (fótons) transmitido em forma de um movimento ondulatório, representado pela oscilação de campos elétricos e magnéticos perpendiculares entre si, não necessitando de meio material para sua propagação. Os raios-X são emitidos quando elétrons atômicos sofrem mudança de órbita (nível atômico).

A quantidade de energia de cada fóton está relacionada ao comprimento de onda da radiação. Observa-se que a energia do fóton (E) é diretamente proporcional ao inverso do comprimento de onda da radiação ($1/\lambda$), de forma que podemos escrever $E=h\nu$, onde h é a constante de Planck⁴ e ν é frequência da radiação ($\nu=1/\lambda$).

A interação da radiação gama ou X com a matéria é marcadamente diferente da que ocorre com partículas carregadas. A penetrabilidade dos raios gama ou X é muito maior devido ao seu caráter ondulatório, e sua absorção depende do tipo de

⁴ Constante de Planck = $6,63 \cdot 10^{-34}$ J.s

interação que provoca. Há vários processos que caracterizam a interação (absorção ou espalhamento) da radiação gama ou X com a matéria. Esses processos dependem essencialmente da energia da radiação e do meio material que ela atravessa. Os fótons não têm massa propriamente dita (massa de repouso nula) e não transportam carga elétrica, portanto produzem ionização somente indiretamente quando incidem sobre os átomos. Quando o fóton (gama ou X) interage com a matéria sua energia é transferida para esta por uma variedade de mecanismos alternativos, sendo que os 3 efeitos secundários mais importantes são: efeito fotoelétrico, Efeito Compton e Formação de Pares.

Efeito Fotoelétrico

Efeito fotoelétrico é ocorre quando os elétrons podem ser extraídos de uma superfície metálica quando a luz ultravioleta incide sobre a superfície metálica, conforme descoberto por Heinrich Hertz (1857-1897) em 1887. A energia cinética do fóton ejetado (T) é dada pela diferença entre as energias do fóton incidente ($h\nu$) e a energia de ligação do elétron ao orbital ($E_{\text{ligação}}$), descrita na equação abaixo:

$$T = h\nu - E_{\text{ligação}}$$

onde h é a constante de Planck e ν é a frequência do fóton incidente. Esta equação foi proposta por Einstein e explica o fenômeno fotoelétrico. Por causa dela ele foi agraciado com o prêmio Nobel em 1916.

A direção de saída do fotoelétron com relação a incidência do fóton varia com a energia do fóton. Assim, para energia acima de 3MeV, a probabilidade de o fotoelétron ser ejetado para frente é bastante grande; para energias abaixo de 20keV a probabilidade de sair para o lado é máxima para um ângulo de aproximadamente 70°. Na figura 4 há a representação gráfica do efeito fotoelétrico:

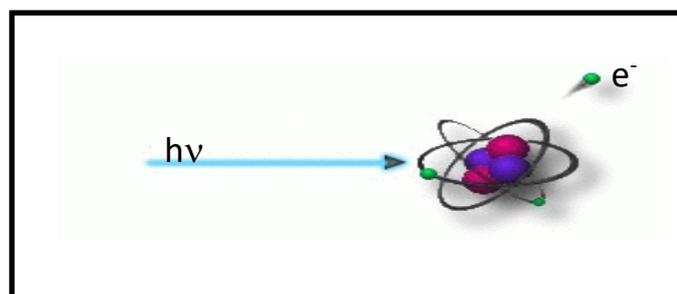


Figura 4: Efeito Fotoelétrico

Hertz também descobriu que uma descarga elétrica entre dois eletrodos ocorre mais facilmente quando se faz incidir sobre um deles luz ultravioleta. Lenard em 1900, medindo a razão e/m para fotoelétrons, mostrou que esta é mesma que para elétrons. Mostrou que a energia cinética dos fotoelétrons é diretamente proporcional à intensidade da luz ultravioleta, mas há uma energia máxima independente da intensidade da luz incidente.

O efeito fotoelétrico é predominante para radiações eletromagnéticas de baixas energias e para elementos de elevado número atômico (Z). O efeito fotoelétrico decresce rapidamente quando a energia aumenta e é proporcional a Z^5 . Por este motivo, é adequado usar blindagem de chumbo para a absorção da radiação γ e da radiação X de baixas energias.

Espalhamento Compton

Efeito este descoberto por Arthur Holly Compton (1892-1962) em 1923 durante seus estudos sobre espalhamento de raios X pela matéria. A partir daí a natureza corpuscular da luz foi comprovada.

Compton foi capaz de mostrar que, quando um feixe de raios-X monocromático era espalhado por um elemento leve como o carbono, a radiação espalhada consistia em duas componentes: uma do mesmo comprimento de onda que o do feixe incidente, e outra de um componente de onda levemente maior. Compton fez com que um feixe de raios-X de comprimento de onda λ incidisse sobre um alvo de grafite. Mediu, então, a intensidade dos raios-X espalhados como função de seu comprimento de onda, para vários ângulos de espalhamento.

O efeito Compton é o espalhamento no qual o fóton incidente é espalhado por um elétron periférico e pouco ligado ao núcleo, que absorve parcialmente a energia do fóton incidente, conseqüentemente o fóton terá uma energia menor e uma direção diferente daquela incidente.

A figura 5 representa o efeito Compton:

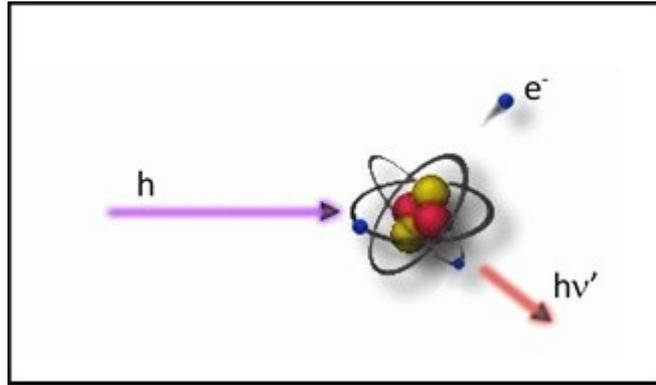


Figura 5: Efeito Compton

O efeito Compton ocorre predominante em energias intermediárias, por exemplo, de 50 keV a 15 MeV para o alumínio Al^{13} , e de 500 keV a 4MeV para o chumbo Pb^{82} , faixa em que a energia de ligação ($E_{\text{ligação}}$) do elétron é desprezível. Dessa forma, a interação do fóton é descrita como um espalhamento por um elétron livre inicialmente em repouso. O efeito Compton depende ainda da densidade do elemento (número de elétrons/cm³) e decresce em função da energia dos fótons, porém não tão rapidamente como o efeito fotoelétrico. O efeito Compton é inversamente proporcional à energia do fóton e, como cada elétron se espalha independentemente, o coeficiente de absorção Compton por átomo é proporcional ao número atômico Z do material absorvedor.

Formação de Pares

Um outro processo significativo de interação de raios gama é a produção de pares. Este processo ocorre majoritariamente no campo do núcleo do material absorvedor e corresponde à criação do par elétron-positron no ponto do desaparecimento completo do raio gama incidente, ou seja, trata-se de uma transformação de energia em matéria, de acordo com a fórmula de equivalência de Einstein ($E = mc^2$).

A energia $2m_0c^2 = 1,02 \text{ MeV}$ é limiar para o processo, sendo este valor a energia de massa de repouso necessária para criar o par elétron-positron. Este processo de interação, apesar de importante, só ocorre quando se usa feixes de radiação com fótons de energia maior que 1,02 MeV (que equivale a um comprimento de onda de 0,012 Å). Se o comprimento de onda for menor que isto, correspondendo a uma energia maior que o valor limite, o fóton produz o par com uma certa energia cinética, além da energia de repouso.

A equação a seguir mostra a reação de formação do par elétron-pósitron:



O pósitron, após transmitir, por colisões, sua energia cinética ao meio, volta a se combinar com um elétron e dá origem a 2 fótons, cada um deles com uma energia de 0,511 MeV (energia equivalente à massa de repouso do elétron): $E = mc^2 = 0,511 \text{ MeV}$.

A produção de pares é predominante para elementos de grande número atômico, pois cresce com Z^2 . A produção de pares reforça a teoria quântica, não tendo ela qualquer explicação satisfatória dentro da física clássica, pois é necessário supor que o elétron pode existir em dois conjuntos de estados quânticos, um de energia positiva (incluindo a energia de repouso) e o outro de energia negativa. Pares elétron-pósitron são produzidos na natureza por fótons de raios cósmicos e em laboratório por fótons de “bremsstrahlung” obtidos em aceleradores de partículas. Outros pares de partículas tais como próton e antipróton podem ser produzidos se o fóton tiver energia suficiente.

Intimamente relacionados com a produção de pares está o processo inverso, chamado de aniquilação de pares. Um elétron e um pósitron, estando essencialmente em repouso próximos um do outro, se unem e são aniquilados. A matéria desaparece e em seu lugar obtemos energia radiante. Já que o momento inicial do sistema é zero, e como o momento deve se conservar no processo não podemos ter apenas um fóton criado, pois um único fóton não pode ter momento zero. O processo que tem maior probabilidade de ocorrer é a criação de dois fótons que se movem com o mesmo momento em sentidos opostos.

Aplicação das Radiações

Logo após a descoberta dos raios X por Wilhelm Conrad Roentgen, em 1895, os cientistas perceberam que esses raios poderiam ter grandes aplicações práticas. Nos 15 anos que se seguiram os médicos trabalharam ativamente com os físicos no exame de corpos humanos. As primeiras aplicações estão relacionadas às fraturas ósseas. Com o uso da radiografia se tornou mais fácil diagnosticar vários tipos de enfermidades.

Somente por volta de 1920 é que se iniciaram os estudos relativos à aplicação de raios-X na inspeção de materiais. Hoje em dia, os raios-X são usados na indústria em ensaios não destrutivos, na medicina em radiologia diagnóstica e em terapia, e em pesquisas científicas.

A descoberta da radioatividade artificial e o desenvolvimento dos métodos de produção de radioisótopos em grande escala estimularam muitos pesquisadores ao estudo de suas aplicações em diferentes ramos das ciências. Essas pesquisas trouxeram grandes progressos, principalmente na medicina, na agricultura e na indústria. De fato, os radioisótopos foram muitos úteis como traçadores de diagnose ou como fontes de energia na terapia. Sua importância como traçadores se justifica pelo fato que possuem comportamento químico idêntico ao de isótopos estáveis do mesmo elemento e, também, por apresentarem emissão espontânea de radiação que pode ser detectada, indicando assim sua posição e a quantidade.

Como fonte de energia sua utilidade se justifica pelo fato de serem detectáveis após a absorção ou espalhamento pela matéria, ou mesmo por quebrarem moléculas e ionizarem átomos formando íons, iniciando reações químicas ou biológicas. São usados para destruir tecidos, especialmente os cancerosos, ou para suprir alguma função orgânica. As radiações podem também ser produzidas por aceleradores de partículas, que são utilizados em pesquisas na área da Física Nuclear. Sua principal vantagem é a produção de radiação com energia muito maior que as fornecidas por radioisótopos.

Aplicação das Radiações na Indústria Radiografias e Gamagrafias

Uma das aplicações mais importantes na indústria refere-se ao ensaio não-destrutivo, que usa a propriedade de penetração da radiação na matéria para examinar o interior de materiais e conjuntos lacrados. A radiografia é, portanto, um método não-destrutivo para detectar discontinuidades e heterogeneidades na matéria, e é obtida utilizando-se raios-X. Quando se utiliza a radiação gama obtém-se a gamagrafia. Esses métodos são utilizados para inspecionar a qualidade das soldas, estruturas de navios, componentes de aviões, como motores, asas, etc.

Num processo de inspeção radiográfica, a radiação penetrante, raios-X ou gama, atravessa o espécime em ensaio. Uma parte da radiação é absorvida pelo espécime, e a restante vai impressionar um filme fotográfico, onde se pode visualizar

toda a estrutura do corpo de prova ou parte dela. Tanto com a radiografia como com a gamagrafia pode-se analisar desde folhas finas de vegetais até aços com espessuras de cerca de 25 cm.

A escolha da radiação a ser utilizada depende de uma série de fatores como: densidade, espessura do material, forma geométrica do objeto e acesso ao espécime. Atualmente existem cerca de 60 isótopos radioativos que foram e são utilizados com relativo sucesso em gamagrafias industriais. No entanto, cerca de 90% das gamagrafias industriais são feitas utilizando-se apenas 4 radioisótopos: cobalto-60, irídio-192, cézio-137 e túlio-170.

Medida de Espessura ou de Níveis de Materiais

Baseia-se no fato de que o material, colocado entre a fonte de radiação e o detector, absorve ou espalha parte da radiação. A radiação que atravessa o material e atinge o detector pode dar informação sobre a espessura e a densidade do material. Algumas das vantagens no uso dessa técnica são:

a) Não ser necessário o contato mecânico com o material a ser medido. Isso é importante quando se trata de materiais corrosivos, tóxicos ou perigosos de manusear;

b) A medida pode ser feita continuamente e à longa distância.

Essa técnica é frequentemente utilizada para medir níveis de líquidos dentro de recipientes fechados. Uma fonte radioativa flutua sobre o líquido, e o detector é colocado na base inferior. O aumento da intensidade da radiação que atinge o detector indica uma diminuição no nível do líquido.

Medida de Vazamentos

Radioisótopos empregados como traçadores oferecem um método simples, seguro e razoavelmente barato para detectar vazamento de líquidos ou gases, como de petróleo, por exemplo.

Pesquisas sobre desgaste de motores

Materiais radioativos são usados como traçadores na fabricação de motores. A análise do óleo lubrificante poderá fornecer informação sobre o grau de desgaste

do motor; verificando a análise dos resíduos existentes no óleo, nota-se o grau de materiais retirados das paredes do motor.

Conservação de alimentos

Na indústria alimentícia, a radiação pode ser usada com três objetivos:

- a) Evitar que certas raízes ou tubérculos germinem durante o armazenamento, como é o caso de cebolas e batatas;
- b) Eliminar insetos dos grãos, antes do armazenamento;
- c) Preservar alimentos, inibindo ou destruindo as bactérias e outros microrganismos.

A radiação, atuando sobre as substâncias alimentícias ioniza alguns átomos e altera a estrutura de moléculas vitais de bactérias e microrganismos, provocando sua morte. Os alimentos, contudo, não sofrem efeitos nocivos nem se tornam radioativos. Existem, entretanto, certos problemas associados com a esterilização de alimentos como mudança no sabor, na cor e na textura, dependendo do alimento. Em outros casos há diminuição do teor de vitamina.

Esterilização de materiais cirúrgicos

A esterilização pode ser feita de várias maneiras. O método tradicional é por aquecimento do material entre 150°C e 170°C. Por outro lado, radiações suficientemente energéticas podem destruir as bactérias e, portanto, são consideradas agentes esterilizantes.

Um dos problemas introduzidos com a esterilização por radiação é a mudança na estrutura de alguns plásticos, tornando-os quebradiços, o que diminui as chances de reciclagem desses produtos.

Dentre as vantagens dessa técnica, está a possibilidade de esterilizar materiais:

- a) Sem a aplicação de calor, que pode deteriorar o produto, dependendo do caso;

b) Ainda embalados, por causa do grande poder de penetração da radiação empregada.

Aplicações na Agricultura

Uma das aplicações mais importantes dos radioisótopos diz respeito à resolução de problemas básicos da produção de alimentos. Alguns dos benefícios trazidos com o uso dos radioisótopos são:

a) Criação de novas variedades de plantas com características melhoradas;

b) Capacidade de aumentar e de melhorar a produção de alimentos através do conhecimento do metabolismo vegetal e animal;

c) Controle ou eliminação dos insetos;

d) A obtenção de variedades melhoradas de plantas, quando feita naturalmente, requer anos de produção e seleção. Irradiando-se sementes ou plantas é possível aumentar cerca de 1.000 vezes ou mais a taxa de um largo espectro de mutações genéticas.

Dessa forma, pode-se obter plantas que produzam mais, amadureçam num período menor e sejam resistentes a doenças. O estudo do crescimento e do metabolismo das plantas é feito com radioisótopos, utilizando-os como traçadores. Os isótopos mais comumente empregados são: carbono-14, fósforo-32, enxofre-35, cálcio-45, hidrogênio-3, potássio-42.

O processo de absorção dos nutrientes, da água e dos fertilizantes é também pesquisado, podendo-se distinguir entre a absorção pela raiz e pela folhagem. Com isso, obtém-se também informação sobre o local mais adequado para a colocação de fertilizante. A erradicação ou controle de insetos é muito importante na agricultura devido a infestação, depredação e destruição das colheitas alimentares.

Outras Aplicações Científicas

Análise por ativação com Nêutrons

É uma técnica na qual a amostra é irradiada com nêutrons, a fim de tornar radioativos seus elementos constituintes. Como cada radioisótopo emite um espectro de radiação característico, é possível, por meio deste meio, identificar e medir os elementos presentes na amostra.

Há duas vantagens importantes desse método sobre os outros:

a) A análise por ativação é não-destrutiva;

b) Para alguns elementos consegue-se uma sensibilidade muito maior que a obtida pela análise química.

A elevada sensibilidade da análise por ativação, na determinação da presença de certos elementos em quantidade diminuta, tem sido de grande utilidade para as autoridades policiais. O cabelo humano, por exemplo, possui pequeníssimos traços de elementos metálicos, como o sódio, o ouro e o cobre. A análise por ativação do cabelo humano demonstrou que a quantidade desses elementos presentes em cada fio de cabelo de um indivíduo é relativamente uniforme, mas varia de indivíduo para indivíduo, fato este que pode ajudar na elucidação de um crime.

A morte de um indivíduo por envenenamento pode ser determinada efetuando-se uma análise por ativação do cabelo, descobrindo doses de arsênico, por exemplo, preso ao cabelo. Este processo foi utilizado para demonstrar o gradativo envenenamento de Napoleão Bonaparte.

Também pode ser utilizada para demonstrar a composição de minerais (técnica utilizado com resíduos lunares), determinar a alteração no metabolismo de proteína, a quantidade de sais, etc, em paciente que foram submetidos a neutronterapia.

Estudo da Poluição do ar

A análise da quantidade de poluentes na atmosfera vem sendo feita através do método PIXE (Particle Induced X-ray Emission), em que a amostra de ar coletada é irradiada com prótons ou partículas alfa.

Os prótons ou partículas alfa altamente energéticos ejetam os elétrons dos orbitais mais internos dos elementos constituintes da amostra. Quando os elétrons

dos orbitais mais externos passam a ocupar as vacâncias deixadas pelos elétrons ejetados, raios-X característicos são emitidos com energia específica de cada elemento. A detecção e a análise desses raios-X, fornecerão as informações sobre a qualidade do ar da amostra coletada.

Datação por meio da radiação

A datação de peças arqueológicas, de fósseis e de rochas pode ser feita quantitativamente através de dois métodos.

Primeiro: datação por Carbono-14. Por esse método pode-se medir a idade de materiais orgânicos de centenas e até dezenas de milhares de anos. Por outro lado, para determinar a idade das rochas que tem milhões ou bilhões de anos emprega-se um método similar, o do urânio-238.

No ar existe uma pequeníssima fração de carbono-14, em forma de gás carbônico. Para cada 10^{12} átomos de carbono-12 há um de carbono-14. Esses átomos de carbono-14 são gerados por colisões de raios cósmicos, incidentes nas camadas mais externas da atmosfera, com o nitrogênio do ar.

O carbono-14, radioativo, assim gerado se desintegra, e desapareceria por completo se sua geração não fosse contínua na atmosfera.

Os organismos vivos – plantas e animais – absorvem o carbono do ar diretamente, pela fotossíntese, ou indiretamente, pela ingestão de plantas ou animais. O carbono existente nos seres vivos como caules, folhas, tecidos humanos, ossos, etc. contém, portanto, a mesma fração de carbono-14 para o carbono-12 existente no ar.

Quando morre, o organismo cessa de absorver o carbono do ar. A quantidade de carbono-12 se mantém constante. O carbono-14 por sua vez vai se desintegrando sem ser substituído. Portanto, a fração de carbono-14 vai diminuindo. Dessa forma, medindo-se a radioatividade existente no material, pode-se determinar a fração de carbono-12 para carbono-14. A comparação dessa fração com a que havia antes da morte do organismo fornecerá informações para se deduzir a idade.

Segundo método: datação por termoluminescência. Esse método baseia-se no fato de que muitos cristais podem armazenar energia proveniente da radiação. Quando o cristal é aquecido, essa energia é liberada em forma de luz. Medindo-se a intensidade da luz, a quantidade de energia acumulada pode ser determinada.

No caso de rochas ou de cerâmicas localizadas no subsolo que contenham quartzo, o qual é termoluminescente, a radiação natural é acumulada desde a idade zero. No caso das rochas, essa idade é a época de sua formação e, no caso das cerâmicas, o momento de sua fabricação, em que elas são queimadas a temperaturas superiores a 700°C (eliminando, assim, qualquer radiação acumulada no quartzo antes da fabricação da cerâmica).

A datação da peça é realizada, portanto, determinando-se a quantidade total de radiação acumulada nos cristais e conhecendo-se a radiação de fundo ou natural através da relação:

$$\text{idade} = \frac{\text{radiação natural acumulada}}{\text{radiação natural anual}}$$

Bioefeitos da Radiação

Em 1896, quatro meses após a descoberta dos raios-X por Röntgen, o médico J. Daniels notificou à comunidade científica o primeiro efeito biológico da radiação: a queda de cabelo de um de seus colegas, cuja radiografia de crânio havia sido tirada. Em 1899, dois médicos suecos conseguiram curar o tumor de pele na ponta do nariz de um paciente.

Os cientistas aprenderam que a radiação não é apenas fonte de energia e cura, mas também pode ser uma ameaça aos seres vivos, se não for tratada adequadamente. Muitos morreram de doenças induzidas pela radiação a que foram expostos em suas pesquisas. Um ajudante de Thomas Edison, por exemplo, morreu de um tumor como resultado de exposição excessiva aos raios-X.

Durante a Primeira Guerra Mundial, uma tinta à base de rádio e fósforo era usada em instrumentos de navegação aérea em aviões de guerra, para permitir que

fossem vistos em vôos noturnos. Quando a guerra acabou esta tecnologia foi usada em mostradores e ponteiros de relógios. As mulheres empregadas nesta tarefa costumavam passar as pontas dos pincéis na boca para afinar o traço, e sem saber acabam engolindo pequenas parcelas de rádio e comprometendo sua saúde. Depois de dois anos nove mulheres que eram pintoras de mostrador morreram com uma grave e inexplicável anemia, acompanhada por lesões na boca e na mandíbula. Um dentista que tinha tratado uma destas mulheres, finalmente fez a conexão entre a inflamação do osso da mandíbula com a tinta dos relógios.

Por volta de 1915, a Sociedade Britânica Röntgen adotou uma resolução para proteger as pessoas de superexposição aos raios-X. Por volta de 1922, organizações norte-americanas adotaram as normas inglesas. A conscientização e educação aumentaram e nos anos 1920 e 1930 mais normas foram desenvolvidas e além dos EUA outros países passaram a adotar medidas de prevenção. Nos EUA até 1940 a prevenção e proteção radiológicas não eram assunto de governo. Somente após a Segunda Guerra, e com a explosão de armas atômicas, é que o governo tomou este processo em suas mãos.

O Núcleo da Célula e a Incidência de Radiação

Dois são os principais tipos de mecanismos pelos quais a radiação pode lesar uma molécula: direta ou indiretamente. Diretamente é quando a radiação age sobre uma molécula importante como a de DNA (Acido Desoxirribonucléico), danificando seu material genético. Indiretamente, através da radiólise, que é quando a radiação age sobre as moléculas de água (H₂O). Na quebra o radical livre Hidroxila (OH) e o produto oxidante peróxido de hidrogênio (H₂O₂ _{aq}) atacam moléculas importante das células. Vejamos então o esquema da radiólise segundo Thomaz Bitelli (1982):



Sendo que os íons H^+ e OH^- não possuem excesso de energia e se recombinaem para formar água. Os radicais livres H° e OH° são altamente reativos:



Os íons H_2O^- e H^+ se recombinaem e produzem água oxigenada:



Nosso corpo contém cerca de 75 trilhões de células, que constituem a unidade básica da vida. O componente mais importante da célula e seu centro de controle é o núcleo. Ali se encontram os cromossomos que são formados basicamente pela molécula de DNA.

Uma molécula de DNA, compõe-se basicamente de duas longas cadeias ou fibras de milhões de nucleotídeos, que formam como que uma escada cujas barras seriam a sucessão dos açúcares e dos fosfatos alternados, e as travessas, duas bases unidas entre si e fixadas na outra extremidade aos açúcares alternadamente. No DNA estão os genes que são os responsáveis pelas informações genéticas, é eles que transportam o material genético de uma célula à outra e de uma geração a outra, controlam o bom funcionamento da célula. As células humanas possuem 46 cromossomos agrupados em 23 pares de dois cromossomos, aparentemente idênticos (tamanho, forma, etc), um proveniente do pai, o outro da mãe. Um destes 23 pares é particular, o dos cromossomos sexuais.

Qualquer alteração no número, características ou ordem dos genes ou dos cromossomos que venha a ocorrer no núcleo da célula é chamada de mutação celular. A mutação pode ser espontânea no caso da divisão celular (somática e não transmissível à geração seguinte) ou induzida, no caso da incidência de radiação, provocando ionização da célula e por consequência uma série de reações, desencadeando em últimos casos até na morte do organismo, ou mesmo na indução de mutações no material genético, que produzirá descendências anômalas.

Alguns dos efeitos das radiações no DNA e nos cromossomos podem ser assim resumidos:

- Modificações de bases: adenina, citosina, guanina e, sobretudo timina. Um par de bases pode então encontrar-se ausentes ou ser substituído por outro. A modificação da ordem ou da natureza das bases acarreta uma alteração da informação transportada pelo gene.
- Mudanças de formação do DNA: ruptura de uma das duas fibras (fácil de reparar pela endocuclease), ou ruptura das duas fibras, esta de difícil reparo.
- Lesão por entrecruzamento (cross link): formam-se ligações entre duas cadeias de DNA, ou entre uma cadeia e uma proteína, etc.
- Remodelação na estrutura dos cromossomos: conhecida como mutação genética. Uma ruptura única ou múltipla pode acarretar a perda de um fragmento (deleção), ou mesmo a fixação desse fragmento noutra cromossomo (translação)

Quando dois cromossomos trocam fragmentos deste modo, fala-se de translocação recíproca. O fragmento pode então voltar a soldar-se de maneira anormal no mesmo cromossomo (inversão). As duas extremidades de um cromossomo podem soldar-se e forma um anel; os cromossomos podem soldar-se de novo de maneira mais complexa e forma cromossomos dicêntricos (com dois pontos de junção).

Nem todas as células vivas têm a mesma sensibilidade à radiação. As células que tem mais atividade são mais sensíveis do que aquelas que não são, pois a divisão celular requer que o DNA seja corretamente reproduzido para que a nova célula possa sobreviver. Assim são, por exemplo, as da pele, do revestimento intestinal ou dos órgãos hematopoiéticos. Uma interação direta da radiação pode resultar na morte ou mutação de tal célula, enquanto que em outra célula o efeito pode ter menor consequência.

Assim, as células vivas podem ser classificadas segundo suas taxas de reprodução, que também indicam sua relativa sensibilidade à radiação. Isto significa que diferentes sistemas celulares têm sensibilidades diferentes:

- Linfócitos (glóbulos brancos) e células que produzem sangue estão em constante reprodução e são as mais sensíveis.
- Células reprodutivas e gastrointestinais não se reproduzem tão rápido, portanto, são menos sensíveis.
- Células nervosas e musculares são as mais lentas e, portanto, as menos sensíveis.

Estágios dos efeitos Biológicos das Radiações

Simplificadamente podemos dizer que as etapas pelo qual as radiações ionizantes desencadeiam reações nos organismos, podem ser descritas em quatro estágios:

a) O primeiro estágio tem uma duração muito pequena, da ordem de um quadrilionésimo de segundo, após a incidência da radiação. Neste estágio ocorre o *fenômeno físico da ionização* e da *excitação de átomos* do corpo humano com a absorção de energia da radiação. Em virtude da transferência da energia cinética para o átomo no processo da ionização, o elétron é ejetado do átomo, e na excitação o elétron ganha energia passando a uma órbita mais energética.

b) No segundo estágio, chamado *físico-químico*, as ligações químicas das moléculas são rompidas com a formação de radicais livres que interagem com outras moléculas, gerando diversas reações químicas. Esse estágio tem uma duração também curta de, aproximadamente, um milionésimo de segundo.

c) O terceiro estágio tem uma duração de poucos segundos e é um *estágio químico*. Os radicais livres formados anteriormente, que são altamente reativos, ligam-se a moléculas importantes da célula, tais como as proteínas, as enzimas, ou, no pior dos casos, as moléculas de DNA, danificando-as. As células possuem mecanismos que corrigem alguns danos causados pelos radicais livres, ajudados principalmente por vitaminas (C e E) que liberam elétrons que inativam os radicais livres. No entanto é impossível impedir que todos os radicais livres produzam algum dano, e da mesma forma que todos os danos sejam reparados.

d) No quarto estágio ocorrem *efeitos bioquímicos e fisiológicos*, produzindo alterações morfológicas e/ou funcionais. Sua duração é variável, desde horas até anos. E seus efeitos também são variáveis dependendo de vários fatores

(dose recebida, quantidade de energia, tipo de radiação, tipo de tecido, órgãos atingidos, etc).

Efeitos Biológicos das Radiações

A sensibilidade à radiação do corpo inteiro depende dos órgãos mais sensíveis, que por sua vez, depende das células mais sensíveis. Sendo que os órgãos mais sensíveis são aqueles envolvidos com a formação do sangue e o sistema gastrointestinal.

Os efeitos biológicos no corpo inteiro dependerão de vários fatores: dose total, tipo de célula, tipo de radiação, idade do indivíduo, estágio da divisão celular, parte do corpo exposto, estado geral da saúde, volume de tecido exposto e intervalo de tempo em que a dose é recebida. Se uma pessoa já é suscetível a uma infecção e receber uma alta dose de radiação, pode ser mais afetado por ela do que uma pessoa saudável.

Os efeitos biológicos da radiação são comumente classificados em hereditários e somáticos, dependendo da forma pelo qual são afetados.

Efeitos Hereditários

Eles constituem a mutação de células reprodutoras que afetam gerações futuras. Esses efeitos podem surgir quando os órgãos reprodutores são expostos à radiação, e aparentemente não afetam o indivíduo que sofre a exposição, mas apenas seus descendentes.

Quando a radiação atinge as células reprodutoras ou seus precursores, pode ocorrer uma alteração na informação genética codificada, provocando uma mutação genética. Se o espermatozoide ou óvulo que sofreu a mutação for, posteriormente, utilizado na concepção, a alteração será incorporada ao óvulo fertilizado, e durante a gravidez, quando o zigoto se reproduzir milhares de vezes, essa alteração será fatalmente reproduzida. Todas as células do recém-nascido conterão informações genéticas modificadas, incluindo aquelas que anos mais tarde irão se transformar em espermatozoides ou óvulos. Ou seja, quando este indivíduo chegar a fase fértil estará transmitindo adiante as mesmas informações genéticas adquiridas, até mesmo aquelas alteradas. Algumas destas alterações se tornam letais, antes do nascimento

do feto, outras produzirão defeitos físicos ou mentais, ou mesmo aumento da suscetibilidade a determinadas doenças crônicas.

Em relação aos efeitos genéticos é interessante levar em consideração que:

- a)** Qualquer dose de radiação, por menor que seja, deve ser considerada nociva, do ponto de vista genético.
- b)** Pequenas doses recebidas durante cada dia, somam-se em seus efeitos no decorrer dos anos, mesmo que ocorram intermitências de longa duração.
- c)** O efeito populacional das radiações recebidas por uma parte da população (pacientes e profissionais), é idêntico ao que ocorreria se o total recebido por essa parte fosse distribuído por toda a população.
- d)** A irradiação de uma parcela da população, cuja média de idade é elevada, resultará em efeito diminuto, sobre a composição genética das gerações seguintes, enquanto que a irradiação de crianças e jovens poderá representar ponderável impacto sobre as gerações posteriores.

Efeitos Somáticos

São aquelas que afetam diretamente o indivíduo exposto às radiações. Os efeitos somáticos são, de uma perspectiva ocupacional de risco, os mais significativos, principalmente para os trabalhadores da área que podem ter consequências na sua saúde, a saber, o câncer.

Como já foi relatado a ação das radiações no organismo humano produzem uma série de efeitos, que dependem da região irradiada, bem como a dose e o tempo de exposição. A seguir, segue um resumo dos sintomas clínicos, relativos aos efeitos biológicos imediatos mais prováveis na irradiação do corpo inteiro, com doses agudas:

a) Sangue: Os glóbulos brancos do sangue são as primeiras células a serem destruídas pela exposição, provocando leucopenia e reduzindo a imunidade do organismo. Uma semana após uma irradiação severa as plaquetas começam a desaparecer, e o sangue não coagula. Sete semanas após começam a perda de células vermelhas, acarretando anemia e enfraquecimento do organismo.

b) Sistema linfático: O baço constitui a maior massa de tecido linfático, e sua principal função é a de estocar as células vermelhas mortas do sangue. As células

linfáticas são extremamente sensíveis à radiação e podem ser danificadas ou mortas quando expostas.

c) Canal alimentar: Os primeiros efeitos da radiação são a produção de secreções e descontinuidade na confecção de células. Os sintomas são náuseas, vômitos e úlceras no caso de exposição muito intensa.

d) Glândula tiróide: Essa glândula não é considerada sensível à radiação externa, mas concentra internamente iodo-131 (radioativo) quando ingerido, o que causa o decréscimo da produção de tiroxina. Como consequência, o metabolismo basal é diminuído e os tecidos musculares deixam de absorver o oxigênio necessário.

e) Sistema urinário: A existência de sangue na urina, após uma exposição, é uma indicação de que os rins foram atingidos severamente. Danos menores nos rins são indicados pelo aumento de aminoácidos na urina.

f) Ossos: A radiação externa tem pequena influência sobre as células dos ossos, fibras e sais de cálcio, mas afeta fortemente a medula.

g) Olhos: Ao contrário das outras células, as das lentes dos olhos não são auto recuperáveis. Quando estas células são danificadas ou morrem, há formação de catarata ocorrendo perda da transparência dessas células.

h) Os órgãos reprodutores: Doses grandes de radiação podem produzir esterilidade, tanto temporariamente como permanente. Nas mulheres grávidas que foram expostas às radiações no Japão durante a segunda guerra mundial, houve um aumento significativo de partos retardados e mortes prematuras.

Alguns erradamente consideram os efeitos In-Utero como uma consequência genética da exposição à radiação, porque o efeito é observado após o nascimento, embora tenha ocorrido na fase embrionária/fetal. No entanto, trata-se de um caso especial de efeito somático, porque é o feto que é exposto à radiação.

Os efeitos podem ser:

- Morte intrauterina.
- Retardamento no crescimento.
- Desenvolvimento de anormalidades.
- Cânceres na infância.

Os efeitos intrauterinos envolvem a produção de mal formações em embriões em desenvolvimento. A radiação é um agente físico teratogênico. Há muitos agentes químicos (como a talidomida) e muitos agentes biológicos (como os vírus que causam

sarampo) que também podem produzir malformações enquanto o bebê ainda está no estágio de desenvolvimento embriônico ou fetal.

Os efeitos da exposição in-útero podem ser considerados como subconjunto de uma categoria geral de efeitos somáticos. As más formações produzidas não indicam um efeito genético, pois quem está sendo exposto é o embrião e não as células reprodutivas dos pais.

Antes da fixação do óvulo no útero, isto é, até o décimo dia, os efeitos são relativos. Podem dar origem à morte do óvulo, que passa frequentemente despercebida (não existe ainda atraso nas regras), ou permitir um desenvolvimento normal, pois as células não possuem qualquer especificidade e as que são destruídas são substituídas por outras com as mesmas potencialidades.

Já durante a embriogênese, isto é, do décimo dia da concepção até ao fim do segundo mês, os tecidos diferenciam-se e a morte de uma ou de várias células, num momento em que o número desta num tecido é ainda muito pequeno, pode alterar o desenvolvimento de um órgão, dando, portanto, origem a uma anomalia grave. Com efeito, neste estágio as células sobreviventes já não podem mudar de orientação e o número de células destinadas a formar cada um dos órgãos encontra-se limitado.

O período em que o risco de radiação provoca mal formação, é máximo da terceira à décima semana da gravidez, para as malformações dos olhos e do esqueleto. Quanto ao cérebro, uma irradiação efetuada entre a oitava e a décima sexta semana pode dar origem ao mal desenvolvimento do sistema nervoso central, em razão da morte ou da falta de migração dos neurônios, o que pode ocasionar um atraso mental. O risco persiste atenuado, até a vigésima quinta semana.

No decorrer do período posterior, os riscos diminuem. Certos dados sugerem a existência de um risco de cancerigêneses no final da gravidez em caso de irradiação, ainda que modesta (alguns cGy), isto traduzir-se-ia por um ligeiro aumento dos cancros da criança e do adulto jovem.

Não se recomenda radiografias que irradiam na bacia das mulheres grávidas entre a terceira e a décima semana, principalmente.

Relação Dose-Efeito

Muito daquilo que se sabe hoje provém de experiências feitas com animais, cuja sensibilidade à radiação pode ser diferente da do ser humano. Entre as espécies

isto já é notável, tendo os mamíferos maior susceptibilidade à radiação que as aves ou os peixes. Os vertebrados igualmente são mais sensíveis que os invertebrados. O homem não suporta mais de 10 Gy (1000 rad) enquanto a mosca da fruta suporta doses superiores a 600 Gy e a ameba valores próximos de 1000 Gy.

O próprio homem é mais sensível quando na vida embrionária do que na vida adulta. Na fase embrionária a incidência de doses radioativas superiores a 0,1 Gy pode causar malformações físicas ou mentais congênitas ou ainda propiciar a crianças doenças como asma, bronquite ou mesmo leucemia. Países como a Dinamarca recomendam que para doses como a acima citada sejam recomendado o aborto terapêutico.

Embora muito do que sabemos sobre os efeitos de radiação nos corpos, estão baseadas em experiências sobre animais, foram irradiados números suficientes de seres humanos tal que também são documentados estes efeitos agudos em humanos. Algumas informações são buscadas junto aos sobreviventes de bombardeios atômicos (Hiroxima e Nagasaki), acidentes nucleares (Chernobyl, Goiânia, Fukushima, etc), pacientes com câncer irradiados terapeuticamente, pessoas expostas à radiação acidental ou ocupacionalmente como médicos radiologistas, cientistas, as mulheres que pintavam os mostradores dos relógios, trabalhadores de minas de urânio e tório, etc.

O efeito primário de uma exposição aguda alta sobre um determinado corpo é a morte, "lethality", que acontece dentro de dias a semanas depois de exposição. O tempo de morte é dependente na dose dada, e é precedido por um número específico de sinais e sintomas que são relacionados ao dano direto, e morte das células de um sistema de órgãos em particular.

Toda exposição aguda não resulta em morte. Às vezes é difícil entender por que algumas pessoas morrem, enquanto outras sobrevivem depois de serem expostas à mesma dose de radiação.

A principal razão para isto é a saúde dos indivíduos quando expostos e quais são suas capacidades individuais em combater os efeitos incidentais da exposição à radiação, bem como suas sensibilidades a infecções. Na tabela a seguir os valores de

dose são o limiar para início do efeito observado em pessoas mais sensíveis à exposição.

Efeitos de Altas Doses	
Dose (Rad)	Efeitos Observados
15—25	Mudança na contagem sanguínea do grupo
50	Mudança na contagem sanguínea de um indivíduo
100	Vômito (limiar)
150	Morte (limiar)
320—360	DL 50/30* com cuidado mínimo
480—540	DL 50/30* com cuidados médicos
1.100	DL 50/30* com cuidados médicos intensivos (transplante de medula)
*DL 50/30 é a dose letal em que 50% dos expostos àquela dose morrerão dentro de 30 dias.	

Além da morte, há outros efeitos de dose de alta radiação.

- Perda de Cabelo (*epilação*) é similar aos efeitos na pele e ocorre depois de doses agudas de cerca de 500 Rad.
- Esterilidade pode ser temporária ou permanente em homens, dependendo da dose. Em mulheres, é geralmente permanente, mas para isto requer-se doses altíssimas, da ordem de 400 Rad nas células reprodutivas.
- Cataratas (turbamento da lente do olho) surgem para um limiar de dose de 200 Rad. Os nêutrons são especialmente relacionados com as cataratas, devido ao fato do olho conter água e esta ser absorvedora de nêutrons.
- Síndrome Aguda de Radiação (SAR): Se vários tecidos importantes e órgãos são danificados, pode-se produzir uma reação aguda. Os sinais iniciais e sintomas de SAR são náusea, vômito, fadiga e perda de apetite. Abaixo de 150 Rad, estes sintomas que são diferentes daqueles produzidos por uma infecção viral podem ser a única indicação externa de exposição à radiação. Acima de 150 Rad, uma das três síndromes de radiação descritas na tabela 8 se manifestam dependendo do nível da dose.

Como observado, nada pode ser executado se a dose for muito alta e destruir o sistema gastrointestinal e o sistema nervoso central. Por isto, nem sempre um transplante de medula é bem-sucedido.

OBSERVAÇÃO: O material didático aqui utilizado bem como sugestões de aprofundamento estão disponíveis para o aluno na forma de arquivo pdf na página pessoal do professor na aba “OFICINA” (<https://profsandrobagnara.wixsite.com/bagnara/oficina>). Esta página os alunos já utilizam nas aulas de Física de forma corriqueira, pois nela estão disponíveis exercícios de aprofundamento, vídeo aulas e atividades extras necessárias para as aulas de Física.

O aprofundamento teórico nesta oficina, foi na sua grande maioria feito fazendo uso da dinâmica da aula expositiva, utilizando de um resumo geral apresentado em forma de animação em PPT (Power point) baseado no material didático de apoio em anexo.

5º Encontro (2 horas)

Nesta etapa o professor irá retomar as questões apresentadas pelos alunos bem como aquelas por ele proposta no primeiro encontro e buscará de forma conjunta e coletiva construir respostas para as mesmas que possam levar a todos à compreensão.

Na oficina aqui desenvolvida que foi usada como modelo para construção desta dissertação foram identificadas algumas conclusões que achamos necessário aqui relacionar:

- Para dois alunos as respostas dadas para a pergunta da cena 01 onde os médicos retratam as vantagens para a sociedade quando da evolução do conhecimento, foi a mesma. Para eles o conhecimento trouxe somente coisas benéficas, não conseguindo ver algo que a sociedade atual estivesse em desvantagem em relação as sociedades mais antigas e menos tecnológicas.

- Sobre a cena 04 em que os equipamentos deixam de funcionar logo após a explosão da bomba, as respostas foram todas superficiais e sem nexo com a realidade. Notou-se que nenhum dos participantes tinha uma explicação clara e correta sobre o fato.
- Em relação a cena 07 que retrata a moça, em um grau de desespero imenso, dizendo que a radiação não existe por não poder vê-la, notou-se entre os alunos a percepção e a preocupação até com a radiação solar e o uso de protetores para a pele entre outros fatores.

Nas conversas informais que temos comumente com os alunos, os participantes da oficina retrataram o quanto foi proveitosa a participação delas na oficina e quanto eles conseguiram compreender melhor os conceitos apresentados. A forma pela qual os conteúdos foram apresentados e os saberes foram sendo construídos gerou um ganho de saber muito grande.

A última etapa da oficina e de grande importância é a avaliação da metodologia utilizada. Baseado em um pequeno questionário, apresentado de forma que não seja necessária a identificação do aluno, foi avaliada a proposta de trabalho da Oficina em alguns itens como tempo de duração, metodologia, material, professor, etc.

Se faz necessário salientar que mesmo sendo opcional a participação dos alunos nesta oficina, todos os 25 alunos que se inscreveram compareceram a todos os encontros. Esta mesma constatação é feita em todas as oficinas que já organizei.

MODELO DA AVALIAÇÃO
OFICINA PEDAGÓGICA DE FÍSICA
 PROF SANDRO ROGÉRIO BAGNARA

As tabelas abaixo possuem o objetivo de promover uma avaliação sobre a “Oficina Pedagógica de Física” que você participou, por isto assinale cada item de forma clara e justa.

1. Quanto a Metodologia da Oficina

QUESTÕES	RESPOSTAS		
	SIM	PARCIAL	NÃO
1.1 A oficina atingiu o objetivo que você estabeleceu para ela?			
1.2 A abordagem dada ao tema ficou clara e compreensível para você?			
1.3 A carga horária para cada atividades foi bem distribuída?			
1.4 A metodologia de usar filme para auxiliar na abordagem do tema demonstrou ser eficaz?			
1.5 O material para aprofundamento disponível foi suficiente para sanar suas dúvidas?			

ESPAÇO PARA JUSTIFICAR ALGUMA DAS RESPOSTAS DO ITEM ANTERIOR (USE O VERSO SE NECESSÁRIO)

--

2. Quanto ao Professor que desenvolveu a Oficina

Atribua nota de “0” a “5” para cada item abaixo, sendo “0”- não atendeu e “5” atendeu plenamente.

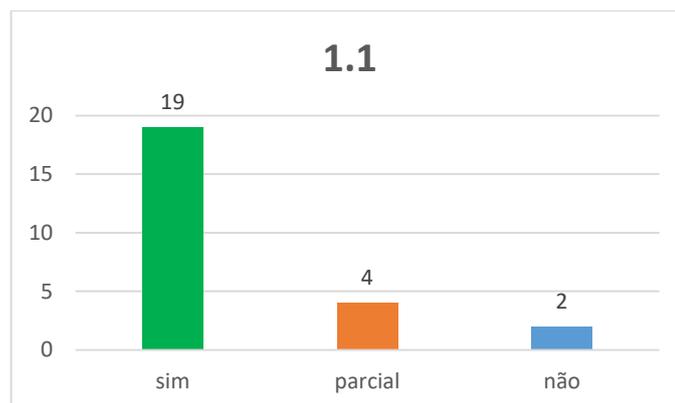
ITENS	NOTA
2.1 Clareza e objetividade no desenvolvimento das etapas da oficina.	
2.2 Conhecimento do conteúdo e da metodologia trabalhada na oficina.	
2.3 Utilização dos recursos didáticos (filme, site, simuladores, textos).	
2.4 Relacionamento com os participantes da oficina	

ESPAÇO PARA JUSTIFICAR ALGUMA DAS RESPOSTAS DO ITEM ANTERIOR
(USE O VERSO SE NECESSÁRIO)

Baseado nas respostas presentes nas duas tabelas acima foram feitas as seguintes análises sobre a Metodologia das Oficinas e sobre o desempenho do professor.

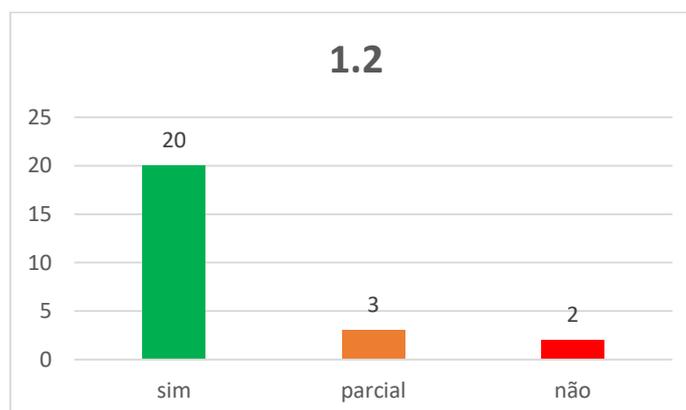
1. Quanto a Metodologia da Oficina

1.1 A oficina atingiu o objetivo que você estabeleceu para ela?



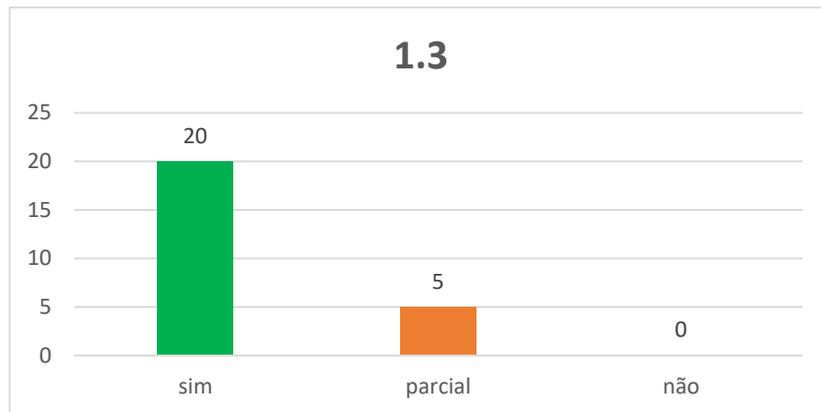
Verificamos que para a grande maioria os objetivos foram atingidos restando somente 2 alunos que não se sentiram satisfeitos com os resultados esperados.

1.2 A abordagem dada ao tema ficou clara e compreensível para você?



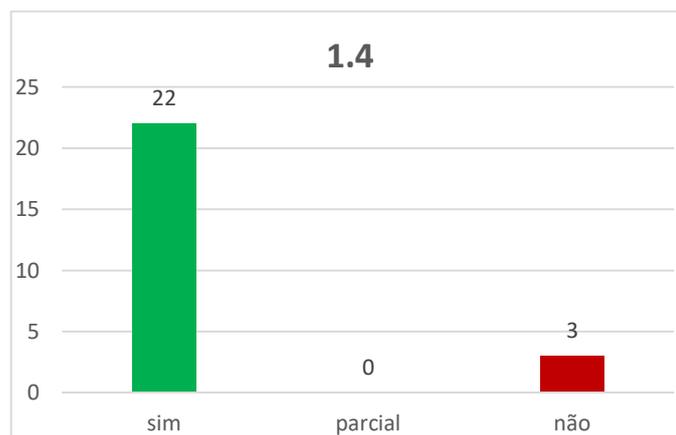
Para esta indagação nota-se que a abordagem ficou bem clara para um grupo maior 20 alunos, parcial para somente 3 e para 2 alunos a abordagem não foi a contento, imaginando ser os mesmos 2 do tópico anterior, pois um item está atrelado ao outro.

1.3 A carga horária para cada atividade foi bem distribuída?



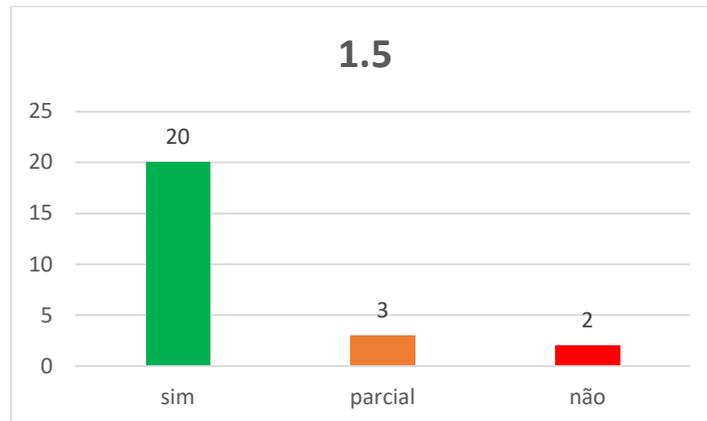
Neste momento ficou claro que a organização do tempo ficou a contento dos participantes, não ocorrendo aqui intervalos de ociosidade nem momentos maçantes e cansativos. Não houve nenhum aluno que indicou não como resposta.

1.4 A Metodologia de usar filme para auxiliar na abordagem do tema demonstrou ser eficaz?



A resposta a esta questão serviu para nos mostrar que a opção de uso de filmes como um elemento de provocação foi muito útil. Porém é necessário deixar claro que buscamos um filme que se enquadra nas condições por nós estabelecido de não ser um documentário com linguagem específica sobre o tema, nem um aprofundamento técnico que se tornasse até cansativo.

1.5 O material para aprofundamento disponível foi suficiente para sanar suas dúvidas?



O material que foi disponibilizado para os alunos para aprofundamento e foi considerado como referencial teórico para o professor para a construção dos conhecimentos sobre a temática baseado nas respostas dos alunos obteve uma boa aceitação, porém a sua construção não é tão simples. A grande preocupação é encontrar materiais que não sejam muito superficiais em linguagem e conhecimento, mas ao mesmo tempo que não tenham um aprofundamento excessivo tornando-o pouco produtivo.

Faz-se necessário salientar que mesmo com espaço disponível no formulário para comentários, os mesmos foram pouco usados, somente três estavam relacionados ao filme, um deles elogiando a escolha: *“gostei muito do filme, me fez repensar muitas coisas e me provocou a querer saber mais”*; o outro fez observação em relação ao tempo do filme: *“o filme escolhido poderia ser mais curto, duas horas é muito tempo para ficar sentado assistindo”*. O outro comentário descrito se referia ao material de aprofundamento: *“gostaria se possível disponibilizar mais materiais sobre o tema para que em outro momento pudéssemos buscar mais coisas.”*

Já em relação à segunda tabela do questionário os resultados obtidos foram quase que unânimes na nota máxima 5, obtendo somente duas nota 4: uma na questão 03 que se referia ao uso dos recursos didáticos, imagino ser o mesmo que não se sentiu muito bem com a duração do filme e na questão 04 em relação ao relacionamento com os participantes, pois foi possível identificar a formação em alguns momentos de pequenos grupos que mesmo participantes ativos da oficina a interação com os outros participantes quase não ocorria.

6. CONCLUSÃO

A ideia da construção deste produto surgiu da necessidade de se apresentar uma proposta de sequência didática que torne possível a construção de saberes que normalmente no desenvolvimento da sala de aula não é possível fazê-los.

Não podemos deixar de citar que apesar da educação não ser tida como a prioridade de governo, que tanto se comenta em períodos eleitorais, muito pode ser feito para melhorar o processo ensino aprendizagem. Sabemos que momentos como esse dependem muito do interesse do professor em executar, apesar das mazelas que o mesmo está submetido em seu cotidiano sendo a falta de valorização por parte dos governos e mesmo das famílias e alunos a maior delas.

Para a construção deste produto muitas observações e análises foram sendo feitas no decorrer do processo. Uma delas que consideramos a mais importante é como temos exemplos de práticas pedagógicas em nossas escolas que alcançam grandes efeitos mas normalmente não são utilizadas por não serem de conhecimento público.

Uma observação importante é que, nós professores da educação básica, normalmente pouco registramos nossas atividades, não compartilhamos entre nossos colegas, muito menos publicamos em eventos e encontros as nossas vivências. Temos que urgente assumir nosso papel de professor-pesquisador e desenvolver em nós e nossos colegas a importância da pesquisa em educação como forma de avaliação e evolução do processo ensino aprendizagem.

O primeiro passo para a construção deste produto foi organizar uma prática que já faz parte da nossa vivência a anos de tal forma que seja a mais clara e organizada possível. Por isto a construção deste produto trouxe-nos uma nova forma de ver a prática docente, a necessidade de organização de objetivos e métodos, não deixando de lado as possíveis adaptações que a própria prática requer.

Este produto aqui construído tem por objetivo ser uma ferramenta para auxiliar os docentes, nas mais diversas realidades para construir momentos de aprofundamento e construção de conhecimento porém norteados por uma sequência que venha a facilitar seu trabalho.

Pela nossa vivência na aplicação das oficinas há vários anos e pelos relatos dos alunos na avaliação desta oficina em particular, nota-se que é algo significativo, que traz grandes resultados e que vale a pena ser efetivada na prática docente. Nosso desejo é que mais professores venham a analisar esta prática e que a mesma se torne uma ferramenta na construção de saberes tão importantes principalmente na educação básica.

A cada nova oficina que se desenvolve notam-se que os resultados obtidos justificam a sua aplicação. Em um primeiro momento somente os alunos mais interessados participavam. Eles viam nas oficinas um momento de se relacionarem com alunos do mesmo nível de interesse e saber que eles. Porém notou-se que alguns daqueles que, em sala de aula, apresentavam dificuldades em compreender Física, após a participação nas oficinas começaram a produzir resultados melhores. Isto se deve ao fato de as oficinas produzirem interesse e organização para os estudos. Duas atitudes consideradas essenciais para o bom desempenho escolar.

É importante salientar que os temas que são trabalhados na oficina não são os mesmo da sala da aula. A oficina não é um momento de “reforço escolar”. Seu objetivo é desenvolver temáticas que normalmente não se desenvolvem na sala de aula.

Outro fator muito importante a ser salientado neste momento é sobre a construção da metodologia da oficina durante a aplicação. As primeiras oficinas desenvolvidas possuíam uma linguagem e uma dinâmica muito próxima de uma aula expositiva e centrada no professor. Porém a cada nova oficina desenvolvida novos desafios foram sendo propostos e a prática pedagógica foi se tornando mais dinâmica e produtiva. O aperfeiçoamento e a efetivação da sequência das etapas aqui propostas fez com que os objetivos propostos fossem alcançados.

No decorrer do processo notou-se também ser possível desenvolver temas até mais complexos relacionados a Física Moderna e Contemporânea, como por exemplo, teoria da relatividade, astrofísica, etc. Dependendo é claro do grupo no qual o professor esteja trabalhando bem como a capacidade de o professor desenvolver estes temas de forma clara e objetiva.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANASTASIOU, L.G.; ALVES, L.P. **Estratégias de ensinagem**. Processos de ensinagem na universidade: pressupostos para as estratégias de trabalho em aula. V.3, p 67-100,2004.
- ALMEIDA, M. J. **Imagens e sons: a nova cultura oral**. São Paulo: Cortez, 2004
- ARAUJO, Daniele Cecília Ulson. **Oficinas Pedagógicas de Ciências: Formação de Docentes para o Ensino Experimental**. Monografia Licenciatura em Química. UTFPR – 2011.
- ARROIO, A. **Aprendizagem baseada no contexto: um papel para o cinema no ensino de ciências**. 2010. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/47690163_Context_based_learning_A_role_for_cinema_in_science_education
- AUSUBEL, David P. **Psicologia Educacional**. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.
- AUSUBEL, David P. **Aquisição e retenção de conhecimentos: Uma perspectiva cognitiva**, Lisboa: Editora Plátano, 2003.
- BIAZUS, Marivane de Oliveira; ROZA, Afonso Werner da. **Organizadores prévios no ensino de física: o uso do filme Interestelar para abordar Relatividade no ensino médio**. V SINECT, 2016.
- BRASIL. **Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB)**, Lei nº 9.394, de 20 de Dezembro de 1996.
- BRASIL, MEC / SEMTEC, **Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCN)**, 1999.
- BRASIL, MEC/SEMTEC, **Orientações Complementares aos parâmetros Curriculares (PCN+)**, 2006
- BRITO, Carlos Eduardo Costa de. **A Física dos Filmes de Hollywood: Seria Essa Uma Fonte Segura de Conhecimento?** Brasília - DF, 2011.
- CANDAU, Vera Maria et al. **Oficinas pedagógicas de direitos humanos** . 2ª ed. Petrópolis, RJ : Vozes, 1995.
- CARMO, L. Revista Ibero Americana de Educação. No. 32: Maio-Agosto 2003. Disponível em <https://rieoei.org/historico/documentos/rie32a04.htm> acesso em março 2019
- CARVALHO JUNIOR, Gabriel Dias de. **O ENEM em sala de aula: desenvolvendo atividades para a construção de competências**. Belo Horizonte: PAX Editora e Distribuidora, 2009.

CAVALCANTE, Marisa Almeida. TAVOLARO, Cristiane R.C. **Uma oficina de Física Moderna que vise a sua inserção no ensino Médio**, Caderno Catarinense de Ensino de Física, UFSC, Novembro de 2004.

CLEMENTE, K. CUSTODIO, J. F., RUFINI, S. E. & ALVES FILHO, J. P. **Motivação autônoma de estudantes de física: evidências da validade de uma escala**. Revista Quadrimestral da Associação Brasileira de Psicologia Escolar e Educacional, 2014.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J.A. *Física*. São Paulo: Cortez, 1990

EYNG, A. M.; ENS, R.t; JUNQUEIRA, S.R.A(orgs) **O tempo e o espaço na educação: a formação do professor**. Curitiba: Champagnat, 2003.

FIGUEIREDO, Maria do Carmo (et ali) **Metodologia de oficina pedagógica: uma experiência de Extensão com crianças e adolescentes** Revista Eletrônica da UFPB, 2006

FOUCAULT, Michel. **Vigiar e punir**. Petrópolis:Vozes, 1977

FREIRE, Paulo. **Pedagogia da Autonomia: Saberes necessários à prática educativa**. 8ª Ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1998.

GRIEP, Rosangela Rogéria. **Tutorial para professores que lecionam Física: Laboratório Virtual – Phet**. Monografia, PPGECCN – UFMT, 2016

LIBÂNEO, José Carlos; OLIVEIRA, João Ferreira de; TOSCHI, Mirza Seabra. **Educação Escolar: Políticas, estrutura e organização**. 10 ed. São Paulo. Editora Cortez, 2011.

MORAN, José. **A Educação que desejamos: novos desafios e como chegar lá**. 5 ed. Campinas – SP, Papirus, 2013.

MOREIRA, Marco Antonio. **Teorias de Aprendizagem**. São Paulo, EPU, 1999.

MOREIRA, Marco Antonio. **A Teoria de Aprendizagem Significativa e sua Implementação em sala de aula**. Brasília, Editora Universidade de Brasília, 2006.

MUENCHEN, Cristiane; DELIZOICOV, Demetrio. **Os três momentos pedagógicos e o contexto de produção do livro “Física”**. Revista eletrônica Ciência e Educação, vol 3, 2014, Bauru, SP

NAPOLITANO, M. **Como usar o cinema na sala de aula**. São Paulo: Contexto, 2009.

NETO, J. M. & PACHECO, D. **Pesquisas sobre o ensino de Física no nível médio no Brasil**. In: NARDI, R. (Ogr.). **Pesquisas em Ensino de Física**. 2 ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2001

NOGUEIRA, Liebert Parreiras, **O uso de filmes no ensino de Física**. Universidade Estadual do Rio de Janeiro (UERJ) 2005.

OBARA, Ana. FORNAZARI, Valéria B Regina. **Concepções e Práticas sobre Oficina Pedagógica de Licenciandos em Ciências Biológicas**. Experiências em Ensino de Ciências, Vol 11, 2014. UEM - PR

PIASSI, Luis Paulo; PIETROCOLA, Mauricio. **Ficção científica e ensino de ciência: para além de encontrar erros**. Revista Educação e Pesquisa, São Paulo, V5, nº3. 2009

PINTO, Angela Emilia de Almeida (coord) **Oficina de Física para Estudantes do Ensino Médio Mediada por Tecnologias de Informação e Comunicação**. Projeto do PIBID, UTFPR- PR, 2011.

REZENDE JUNIOR, Mikael Frank; SOUZA CRUZ, Frederico Firmo. **Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio: Do consenso de temas à elaboração de propostas**. Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, Bauru, 2003.

SALES, Gilvandenys Leite; BARBOSA, Maria Núbia. **OFICINA DE FÍSICA: Uma proposta para desmistificar o ensino de Física e conduzir para uma aprendizagem significativa**. CEFET – CE , 2008

SANTA CATARINA. **Proposta Curricular de Santa Catarina: Formação integral na educação básica**. 2014.

SECCO, Marcello; TEIXEIRA, Ricardo R. Plaza. **As leis da física e os desenhos animados na educação científica**. In: XVII Simpósio Nacional de Ensino de Ensino de Física. São Luís - MA, 2007.

SILVA, Denilton Machado da. **A prática da Astronomia em Aulas no Formato de Oficinas e Suas Aplicações na Modalidade de Ensino EAD**. Dissertação de Mestrado MNPEF – UESP – Presidente Prudente, SP, 2017.

SOUZA, Valdeci Alexandre de; **Oficinas pedagógicas como estratégia de ensino: uma visão dos futuros professores de ciência naturais**. Monografia, UnB, 2016.

VASCONCELOS, Flávia Cristina Gomes Catunda de; LEÃO, Marcelo Brito Carneiro. **O vídeo como recurso didático para ensino de ciência**. Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2009.

VALLE, Herdalla; ARRIADA, Eduardo. **Educar para transformar: A prática de oficinas**. Revista Didática Sistêmica, vol 14, nº 01, 2012, FURG.

VIEIRA, Elaine; VOLQUIND, Lea. **Oficinas de ensino: O que? Por quê? Como?** 4 Ed. Porto Alegre: EdIPucrs, 2002.

VIGOTSKI, Lev Semionovitch. **Psicologia Pedagógica**. São Paulo. Editora Martins Fontes, 2004.

XAVIER, Carlos Henrique Gurgel. PASSOS, Carmensita Matos Braga. FREIRE, Paulo de Tarso Cavalcante. COELHO, Afrânio de Araújo. **O Usos do Cinema Para o Ensino de Física no Ensino Médio. Experiências em Ensino de Ciências**. v5(2), p. 93-106, 2010.

ANEXO 01 – TEXTO

Tratado de Não Proliferação de Armas Nucleares

*Por Emerson Santiago**

O **Tratado de Não Proliferação de Armas Nucleares** (TNP) é um instrumento firmado em 1968 por uma série de nações, e em vigor desde março de 1970, e que visa impedir a proliferação da tecnologia utilizada na produção de armas nucleares, bem como realizar a promoção do desarmamento nuclear, encorajando apenas a utilização pacífica de tal tecnologia.

Até o presente momento, 189 países aderiram ao TNP, sendo exceção Israel, Paquistão, Índia e Coreia do Norte (este último havia aderido ao tratado, retirando-se mais tarde, em 2003).

A questão principal a ser enfrentada é a do desequilíbrio entre os signatários. De um lado, as grandes potências como Estados Unidos, Rússia (União Soviética, à época de assinatura do tratado), Inglaterra, França e China, que não por acaso são também os membros permanentes do Conselho de Segurança da ONU, e no momento em que assinaram o tratado já possuíam avançado programa nuclear, tanto pacífico quanto bélico. O TNP permitiu que estes cinco permanecessem com o aparato que já dispunham, comprometendo-se a não partilhar os conhecimentos tecnológicos, ou fornecer armamento a terceiros que não possuíssem a tecnologia. Do outro lado, os países que até 1967 não tivessem desenvolvido armas nucleares ficavam comprometidas a não elaborar qualquer programa nesse sentido, abrindo mão da tecnologia nuclear para fins bélicos. Essa "divisão" estabelecida pelo tratado impediu que por muitos anos várias nações fossem compelidas a ratificar o TNP, incluindo o Brasil, que aderiu ao tratado apenas em 1998, por não concordar com tal divisão criada.

O arranjo diplomático que se estabeleceu para que o tratado gradualmente obtivesse a aprovação de quase a unanimidade das nações do globo era de que, à medida que os não detentores de tecnologia nuclear fossem aderindo ao tratado, as grandes potências nucleares iriam abrindo mão de seu arsenal em etapas, em processo similar ao que ocorreu com as armas bacteriológicas.

Apesar deste acerto, a assimetria óbvia entre os que "têm" e os que "não têm" é ainda questão a ser resolvida, pelo simples fato de não haver um mecanismo que

garanta de forma incontroversa e definitiva que o desarmamento das cinco potências nucleares está sendo cumprido à risca. A Agência Internacional de Energia Atômica, a responsável por tal fiscalização, encontra sérias dificuldades em comprovar tal política de não proliferação nuclear reiteradas vezes, sendo o caso mais famoso o do Irã, que mantém sigilo muitas vezes questionado internacionalmente sobre o seu programa nuclear. Outra questão importante é o do armamento nuclear localizado nas ex-repúblicas da União Soviética, cujo destino é de certo modo nebuloso, e que desperta preocupação da opinião pública internacional, pela possibilidade deste material ser adquirido por extremistas políticos ou religiosos⁵.

⁵ Fonte: <https://www.infoescola.com/geografia/tratado-de-nao-proliferao-de-arms-nucleares/>
20/07/2018.



ANEXO 02 - TCLE – ESTUDANTE

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

DEPARTAMENTO DE FÍSICA

CAMPUS UNIVERSITÁRIO REITOR JOÃO DAVID FERREIRA LIMA -
TRINDADE

CEP: 88.040-900 - FLORIANÓPOLIS – SC

Telefone: (48) 3721 – 2876. Fax: (48) 3721 - 9946

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Estimado Estudante:

Você está sendo convidado (a) a participar de um projeto de dissertação de mestrado intitulado **“Oficinas Pedagógicas de Física: uma proposta de complemento às aulas de Física.”**. Este projeto está ligado ao departamento de Física da Universidade Federal de Santa Catarina.

Ao longo deste estudo, pretende-se desenvolver uma proposta metodológica interativa e motivadora, que tenha como foco a construção de conhecimentos em Física, partindo sempre de uma temática atual e que faça parte de sua vivência.

Nesta oficina em particular, estaremos analisando sob o olhar da Física, o filme “o Dia Seguinte”, buscando até o final desta etapa uma compreensão maior sobre os saberes necessários a compreensão do filme que estejam relacionados a Física, em especial a radioatividade.

O objetivo principal desta oficina é verificar a eficácia desta metodologia na aprendizagem em comparação com a forma tradicional de estudar Física no Ensino Médio.

Os responsáveis por este trabalho são: o mestrando Sandro Rogério Bagnara, aluno regularmente matriculado no Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF) – UFSC, Campus Florianópolis, sob tutela da Sociedade Brasileira de Física (SBF) e professor efetivo de Física desta escola, tendo como orientador o

Prof Márcio Santos, professor efetivo no Departamento de Física da Universidade Federal de Santa Catarina.

Caso aceite participar desta atividade, você fará parte de um grupo que, em momentos extraclasse e previamente agendados estarão se reunindo, com autorização da direção da escola nas dependências da mesma, para o desenvolvimento da oficina, onde serão desenvolvidas dinâmicas individuais e coletivas como resolução de atividades escritas, coletas de informações através da participação oral, entre outras.

Nestes momentos, poderão ser coletados dados através dos seguintes instrumentos:

- Gravações em áudio e vídeo das discussões em sala de aula.
- Registros escritos pelos alunos.
- Questionários e avaliações.
- Registros do pesquisador.

Estes dados coletados serão analisados posteriormente de forma a garantir o sigilo absoluto sobre a identidade dos participantes, atendendo a legislação brasileira (Resolução Nº 466/12 do Conselho Nacional de Saúde). Os resultados deste projeto, cujos objetivos são estritamente acadêmicos e científicos, poderão ser divulgados através de relatórios, artigos científicos e comunicações em congressos, sempre envolvendo o anonimato entre os participantes.

Os riscos que estarão submetidos durante o processo serão os mesmos presentes em uma aula regular, pois a oficina irá ocorrer no mesmo ambiente e fazendo-se uso de materiais semelhantes (filme, computador, material didática, sala de aula, etc).

Caso você tenha alguma despesa adicional ou sinta-se lesado física ou moralmente por algo comprovadamente relacionado a sua participação na pesquisa, poderá, nos termos e procedimentos da lei, solicitar o ressarcimento dos valores gastos e indenização pelos danos sofridos.

A participação nesta pesquisa é totalmente voluntária e você não receberá qualquer forma de remuneração, monetária ou outra, por participar dela. Mesmo consentindo em participar, você pode, a qualquer momento, deixar de participar sem dar qualquer explicação e sem sofrer qualquer consequência. Caso queira desistir você pode entrar em contato com o pesquisador (prof. Sandro Bagnara) pelo telefone 49-999932560 ou e-mail física.sandro@gmail.com, pessoalmente na EEB João XXII, sala 306 ou com o orientador (prof. Marcio Santos) pelo telefone (48)37213719, e-mail marcio@ufsc.br ou pessoalmente no Departamento de Física da UFSC, Campus Universitário Trindade, Florianópolis, SC.

Os aspectos éticos desta pesquisa são regulamentados pela resolução 466/12 do Conselho Nacional de Saúde e leis complementares, das quais o pesquisador e seu orientador estão cientes e comprometem-se a seguir rigorosamente. O projeto de pesquisa, seus objetivos e metodologia, bem como este termo de consentimento e esclarecimento, foram avaliados e aprovados pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da Universidade Federal de Santa Catarina (CEPSH-UFSC) que pode ser contatado pessoalmente na rua Desembargador Vitor Lima, 222. Prédio Reitoria II, 4º andar, sala 401, Florianópolis, SC, pelo telefone (48) 3721-6094 e pelo email cep.propesq@contato.ufsc.br.

Nos colocamos a disposição para esclarecimento de possíveis dúvidas em relação ao projeto de pesquisa aqui proposto.

Declaração do estudante participante

Após a leitura do termo de consentimento, eu, _____ declaro estar suficientemente informado (a) a respeito do projeto intitulado “**Oficinas Pedagógicas de Física: uma proposta de complemento às aulas de Física.**” Declaro estar esclarecido acerca dos propósitos do trabalho, dos procedimentos que serão adotados, das garantias de confidencialidade e de que a qualquer momento posso pedir para que os dados coletados referentes a minha pessoa não sejam utilizados na pesquisa, o que não caracteriza dispensa da realização das atividades propostas neste projeto.

Estudante convidado e CPF

Declaração do Pesquisador

Declaro que obtive de forma apropriada e voluntária o Consentimento Livre e Esclarecido do sujeito de pesquisa para a participação neste projeto. Comprometo-me a conduzir a pesquisa de acordo com o que preconiza a Resolução 466/12 de 12/06/2012, que trata dos preceitos éticos e da proteção aos participantes da pesquisa.

Pesquisador



ANEXO 03 – TCLE – RESPONSÁVEL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA

CAMPUS UNIVERSITÁRIO REITOR JOÃO DAVID FERREIRA LIMA -
TRINDADE

CEP: 88.040-900 - FLORIANÓPOLIS – SC
Telefone: (48) 3721 – 2876. Fax: (48) 3721 - 9946

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Senhores Pais e/ou responsáveis:

Seu (sua) filho (a) está sendo convidado (a) a participar de um projeto de dissertação de mestrado intitulado “**Oficinas Pedagógicas de Física: uma proposta de complemento às aulas de Física.**”. Este projeto está ligado ao departamento de Física da Universidade Federal de Santa Catarina.

Ao longo deste estudo, pretende-se desenvolver uma proposta metodológica interativa e motivadora, que tenha como foco a construção de conhecimentos em Física, partindo sempre de uma temática atual e que faça parte de sua vivência.

Nesta oficina em particular, estaremos analisando sob o olhar da Física, o filme “o Dia Seguinte”, buscando até o final desta etapa uma compreensão maior sobre os saberes necessários a compreensão do filme que estejam relacionados a Física, em especial a radioatividade.

O objetivo principal desta oficina é verificar a eficácia desta metodologia na aprendizagem em comparação com a forma tradicional de estudar Física no Ensino Médio.

Os responsáveis por este trabalho são: o mestrando Sandro Rogério Bagnara, aluno regularmente matriculado no Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF) – UFSC, Campus Florianópolis, sob tutela da Sociedade Brasileira de Física (SBF) e professor efetivo de Física desta escola, tendo como orientador o Prof Marcio Santos, professor efetivo no Departamento de Física da Universidade Federal de Santa Catarina.

Caso aceite participar desta atividade, o estudante sob sua responsabilidade fara parte de um grupo que, em momentos extraclasse e previamente agendados, estarão se reunindo, com autorização da direção da escola nas dependências da mesma, para o desenvolvimento da oficina, onde serão desenvolvidas dinâmicas individuais e coletivas como resolução de atividades escritas, coletas de informações através da participação oral, entre outras.

Nestes momentos, poderão ser coletados dados através dos seguintes instrumentos:

- Gravações em áudio e vídeo das discussões em sala de aula.
- Registros escritos pelos alunos.
- Questionários e avaliações.
- Registros do pesquisador.

Estes dados coletados serão analisados posteriormente de forma a garantir o sigilo absoluto sobre a identidade dos participantes, atendendo a legislação brasileira (Resolução Nº 466/12 do Conselho Nacional de Saúde). Os resultados deste projeto, cujos objetivos são estritamente acadêmicos e científicos, poderão ser divulgados através de relatórios, artigos científicos e comunicações em congressos, sempre envolvendo o anonimato entre os participantes.

Os riscos que estarão submetidos durante o processo serão os mesmos presentes em uma aula regular, pois a oficina irá ocorrer no mesmo ambiente e fazendo-se uso de materiais semelhantes (filme, computador, material didática, sala de aula, etc)

Caso, o estudante sob sua responsabilidade, tenha alguma despesa adicional ou sintá-se lesado física ou moralmente por algo comprovadamente relacionado a sua participação na pesquisa, poderá, nos termos e procedimentos da lei, solicitar o ressarcimento dos valores gastos e indenização pelos danos sofridos.

A participação nesta pesquisa é totalmente voluntária e não haverá qualquer forma de remuneração, monetária ou outra, por participar dela. Caso o Sr. (Sra.) perceba a necessidade de descontinuar a participação do seu (sua) filho (a) do projeto poderá a qualquer momento, entrar em contato com o pesquisador (prof. Sandro Bagnara) pelo telefone 49-999932560 ou e-mail física.sandro@gmail.com,

pessoalmente na EEB João XXII, sala 306 ou com o seu orientador (prof. Marcio Santos) pelo telefone (48)37213719, e-mail marcio@ufsc.br ou pessoalmente no Departamento de Física da UFSC, Campus Universitário Trindade, Florianópolis, SC.

Os aspectos éticos desta pesquisa são regulamentados pela resolução 466/12 do Conselho Nacional de Saúde e leis complementares, das quais o pesquisador e seu orientador estão cientes e comprometem-se a seguir rigorosamente. O projeto de pesquisa, seus objetivos e metodologia, bem como este termo de consentimento e esclarecimento, foram avaliados e aprovados pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da Universidade Federal de Santa Catarina (CEPSH-UFSC) que pode ser contatado pessoalmente na rua Desembargador Vitor Lima, 222. Prédio Reitoria II, 4º andar, sala 401, Florianópolis, SC, pelo telefone (48) 3721-6094 e pelo email cep.propesq@contato.ufsc.br.

Nos colocamos a disposição para esclarecimento de possíveis dúvidas em relação ao projeto de pesquisa aqui proposto.

Declaração dos pais ou responsáveis

Após a leitura do termo anteriormente exposto, eu, _____, CPF n°: _____ declaro estar suficientemente informado (a) a respeito do projeto intitulado “**Oficinas Pedagógicas de Física: uma proposta de complemento às aulas de Física.**” Declaro estar esclarecido acerca dos propósitos do trabalho, dos procedimentos que serão adotados, das garantias de confidencialidade e de que a qualquer momento posso pedir esclarecimentos. Afirmando ter conhecimento também da possibilidade de retirada do meu consentimento de utilização das informações coletadas sem penalidades ou prejuízos. Declaro também ter recebido uma via original desse documento, rubricada em todas as páginas e assinada por mim e pelo pesquisador. Para finalizar, declaro concordar voluntariamente que meu filho (a): _____ participe da coleta dos dados deste projeto.



Declaração do Pesquisador

Declaro que obtive de forma apropriada e voluntária o Consentimento Livre e Esclarecido do representante legal do sujeito de pesquisa para a participação neste projeto. Comprometo-me a conduzir a pesquisa de acordo com o que preconiza a Resolução 466/12 de 12/06/2012, que trata dos preceitos éticos e da proteção aos participantes da pesquisa.

Pesquisador

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física
Polo 39 – UFSC – Florianópolis
Centro de Ciências Físicas e Matemáticas

SANDRO ROGÉRIO BAGNARA

PRODUTO EDUCACIONAL:

Oficinas Pedagógicas de Física: uma proposta de complemento às aulas de Física.

FLORIANÓPOLIS, Outubro de 2020

CARO PROFESSOR (a)

Nesta Sequência Didática descrita a seguir propomos de forma simplificada uma metodologia pensada de tal forma que seja possível o desenvolvimento, de forma objetiva e dinâmica, de temas relacionados a Física, mas que, por diversos motivos, não são possíveis serem trabalhados em sala de aula normal.

A proposta da construção destes momentos chamados de **Oficinas Pedagógicas de Física** é que eles sejam um complemento as aulas de física, gerando assim um ganho de saber para o educando. A sugestão é que as mesmas venham a ocorrer em contra turno tendo como participantes alunos do ensino médio de livre participação, mas que tenham o compromisso de se desafiar nesta metodologia, que por ser diferente da usual em sala de aula, requer compromisso e dedicação.

É importante salientar que os temas que são trabalhados na oficina não são os mesmos da sala da aula. A oficina não é um momento de “reforço escolar”. Seu objetivo é desenvolver temáticas que normalmente não se desenvolvem na sala de aula.

Para uma compreensão mais clara sobre a metodologia das oficinas sugere-se que seja feita a leitura da monografia completa. Pois na mesma está descrita a fundamentação teórica da teoria de Aprendizagem Significativa, descrevemos também a justificativa do uso de filmes como organizadores prévios, em seguida são analisadas várias formas de oficinas de aprendizagem para que na sequência pudéssemos demonstrar um caso em particular no qual usamos a temática **Física das Radiações Nucleares**.

De uma forma simples será descrito abaixo as etapas desta proposta, tento como referência o modelo apresentado na monografia, constando do ferramental pedagógico utilizado: texto introdutório, filme, material de apoio, avaliação, etc. Esta proposta pode ser seguida metodologicamente seguindo a ordem de etapas e de tempo sugerido ou mesmo adaptada para outras situações de tal forma que a mesma venha a alcançar os objetivos que são propostos.

1º Encontro (3 horas)

Neste primeiro momento ocorre a apresentação pessoal do professor bem como dos alunos participantes da oficina com o objetivo de estreitar as relações de afinidades tão importantes no desenvolvimento das etapas seguintes. Se por acaso o grupo não é tão familiar entre si sugere-se uma dinâmica de apresentação pessoal no qual cada participante venha a realizar sua apresentação pessoal bem como quais são os motivos/objetivos que lhe fizeram participar desta oficina.

Logo após este primeiro momento o professor fará a apresentação dos objetivos da Oficina Pedagógica de Física, bem como a metodologia que ela terá. Nesta etapa o professor deverá deixar claro que a finalidade da Oficina não está vinculada a uma avaliação que irá resultar em uma ponderação (nota) na disciplina de Física e sim construção de saberes relacionados a temáticas que normalmente não são abordadas na sala de aula.

Faz-se necessário também salientar que a participação ativa dos alunos nas etapas é de fundamental importância para que ele venha a construir o máximo possível de saberes. Anotar dúvidas e observações, participar dos grupos de debate, bem como realizar com empenho as atividades propostas são premissas essenciais para o bom desempenho na oficina.

Sugere-se que se iniciem os trabalhos com a leitura de um texto, que deverá obrigatoriamente versar sobre algo que tenha relação com o tema a ser aprofundado. Este texto deverá ser buscado junto a uma fonte confiável e que o mesmo não tenha um aprofundamento específico, pois o objetivo dele é de simplesmente provocar nos participantes da oficina a curiosidade sobre o tema bem como gerar algumas indagações.

O objetivo destas indagações é buscar identificar os conhecimentos prévios e provocar os alunos a uma reflexão sobre o que será o tema de fundo do filme (a ser apresentado em seguida), sem obrigatoriamente adentrar nesta temática com profundidade e ao mesmo tempo demonstrar a necessidade de um aprofundamento de conceitos físicos. Nesta etapa busca-se construir uma problematização com vistas à motivar os alunos para a participação ativa na oficina. Junto a este texto sugere-se ao professor incluir algumas questões referentes ao texto para que os alunos venham a conversar sobre as possíveis respostas.

Partindo da temática “**Física das Radiações Nucleares**” o texto apresentado na oficina desenvolvida foi sobre o “**Tratado de não proliferação de armas nucleares**” de Emerson Santiago, publicado na revista eletrônica “*infoescola*” (www.infoescola.com.br).

Tratado de Não Proliferação de Armas Nucleares

*Por Emerson Santiago**

O **Tratado de Não Proliferação de Armas Nucleares** (TNP) é um instrumento firmado em 1968 por uma série de nações, e em vigor desde março de 1970, e que visa impedir a proliferação da tecnologia utilizada na produção de armas nucleares, bem como realizar a promoção do desarmamento nuclear, encorajando apenas a utilização pacífica de tal tecnologia.

Até o presente momento, 189 países aderiram ao TNP, sendo exceção Israel, Paquistão, Índia e Coreia do Norte (este último havia aderido ao tratado, retirando-se mais tarde, em 2003).

A questão principal a ser enfrentada é a do desequilíbrio entre os signatários. De um lado, as grandes potências como Estados Unidos, Rússia (União Soviética, à época de assinatura do tratado), Inglaterra, França e China, que não por acaso são também os membros permanentes do Conselho de Segurança da ONU, e no momento em que assinaram o tratado já possuíam avançado programa nuclear, tanto pacífico quanto bélico. O TNP permitiu que estes cinco permanecessem com o aparato que já dispunham, comprometendo-se a não partilhar os conhecimentos tecnológicos, ou fornecer armamento a terceiros que não possuíssem a tecnologia. Do outro lado, os países que até 1967 não tivessem desenvolvido armas nucleares ficavam comprometidas a não elaborar qualquer programa nesse sentido, abrindo mão da tecnologia nuclear para fins bélicos. Essa "divisão" estabelecida pelo tratado impediu que por muitos anos várias nações fossem compelidas a ratificar o TNP, incluindo o Brasil, que aderiu ao tratado apenas em 1998, por não concordar com tal divisão criada.

O arranjo diplomático que se estabeleceu para que o tratado gradualmente obtivesse a aprovação de quase a unanimidade das nações do globo era de que, à

medida que os não detentores de tecnologia nuclear fossem aderindo ao tratado, as grandes potências nucleares iriam abrindo mão de seu arsenal em etapas, em processo similar ao que ocorreu com as armas bacteriológicas.

Apesar deste acerto, a assimetria óbvia entre os que "têm" e os que "não têm" é ainda questão a ser resolvida, pelo simples fato de não haver um mecanismo que garanta de forma incontroversa e definitiva que o desarmamento das cinco potências nucleares está sendo cumprido à risca. A Agência Internacional de Energia Atômica, a responsável por tal fiscalização, encontra sérias dificuldades em comprovar tal política de não proliferação nuclear reiteradas vezes, sendo o caso mais famoso o do Irã, que mantém sigilo muitas vezes questionado internacionalmente sobre o seu programa nuclear. Outra questão importante é o do armamento nuclear localizado nas ex-repúblicas da União Soviética, cujo destino é de certo modo nebuloso, e que desperta preocupação da opinião pública internacional, pela possibilidade deste material ser adquirido por extremistas políticos ou religiosos.

Após a leitura do texto é solicitado aos alunos que comentem algo sobre o texto ou qual a análise que o aluno faz sobre o texto. Feito este pequeno diálogo, é sugerido pelo professor algumas indagações específicas sobre o texto. O objetivo destas indagações é buscar identificar os conhecimentos prévios e provocar os alunos a uma reflexão sobre o que será o tema de fundo do filme que será apresentado em seguida, sem obrigatoriamente adentrar nesta temática com profundidade e ao mesmo tempo demonstrar a necessidade que teremos de um aprofundamento de conceitos físicos. Nesta etapa busca-se construir uma problematização com vistas à motivar os alunos para a participação ativa na oficina. Não há aqui o objetivo de buscar respostas assertivas, mas sim fomentar que cada um construa argumentos plausíveis, baseados em seus conhecimentos para responder cada questão.

Para o texto acima, alguns questionamentos foram sugeridos.

1) Qual o objetivo de se ter uma entidade de controle em relação a um tema tão polêmico: produção e proliferação de armas nucleares?

2) Você acha correto que a entidade TNP seja composta pelas nações a serem analisadas?

3) Quais são os princípios de funcionamento de uma arma nuclear? Quais as consequências do seu uso?

4) Além do uso armamentista você conhece outra aplicação das tecnologias nucleares de forma pacífica em nosso cotidiano?

5) Você acha necessário o Brasil desenvolver tecnologia neste sentido?

Na sequência é sugerido aos alunos que venham a assistir um filme, (previamente analisado pelo professor), que tem como pano de fundo a temática a ser trabalhada. Sugere-se que o filme não seja na forma de documentário ou material didático específico, mas produção cinematográfica, pois os modelos de produção anteriormente citados normalmente seguem com um aprofundamento mais teórico e uma linguagem mais direcionada. Com o uso de filme de produção cinematográfica, por ser algo mais amplo e acompanhado de um enredo, pretende-se cativar mais os alunos, fazendo com que os mesmos tenham maior interesse pela história do mesmo e por consequência com o saber a ser construído.

Como nossa temática foi Física das Radiações Nucleares buscamos o filme do gênero drama e ficção científica; **“O dia Seguinte”** de 1983, dirigida por Nicholas Mayer de duração 2 h e 3 min.

Antecedendo ao filme sugere-se sempre que o professor faça a apresentação da resenha como forma de dar aos alunos uma visão simplificada do que vem adiante. Também será solicitado aos alunos que façam anotações sobre dúvidas e comentários referentes ao filme para uma discussão futura.

Segue então a resenha: “Este filme ocorre na década de 80 em pleno auge da Guerra Fria. Em Lawrence, uma pequena cidade próxima a Kansas City, EUA. Russell Oakes está ocupado com seus afazeres como chefe de cirurgia do hospital local e a família Dahlberg cuida dos preparativos para o casamento da filha mais velha. Paralelamente o exército russo invade Berlim Oriental, o que cria uma grave crise diplomática entre a União Soviética (URSS) e os Estados Unidos. Em resposta, a OTAN (Organização do Tratado do Atlântico Norte) envia para a área de conflito todo seu arsenal. As forças contrárias iniciam então ações militares de combate que vão se intensificando e agravando a situação, até que é usada pela primeira vez arma nuclear de pequena potência sobre o QG da OTAN na Europa. Nos Estados Unidos um dos alvos é Kansas City, onde estão armazenados dezenas de mísseis nucleares.”

Em um ambiente apropriado o filme será passado para os alunos, sugere-se que este ambiente contenha qualidade de som e imagem, bem como acomodações, para que não venha a resultar numa fadiga desnecessária para esta proposta. Saliendo sempre para que os alunos façam as devidas anotações sobre dúvidas e questionamentos sobre o filme. Na sequência os alunos foram dispensados.

2º Encontro (2 horas)

No primeiro momento deste encontro, o professor sugere a formação de pequenos grupos (2 ou 3 alunos), que irão se reunir por afinidade ou proximidade, para discutir e compartilhar as dúvidas e comentários que cada um possui em relação ao filme assistido. Também irão discutir sobre trechos do filme (decupagem) que foram selecionados pelo professor e que estarão presentes em um ambiente apropriado (web site, por exemplo) para visualização e discussão, juntamente com algumas questões sobre cada cena. Não se busca neste momento respostas assertivas, mas somente o estabelecimento de organizadores prévios. A construção dos saberes suficientes para responder a todas estas indagações será objeto da próxima etapa.

Na oficina proposta as cenas selecionadas bem como as questões propostas estão presentes no web site criado especificamente para as oficinas (<https://profsandrobagnara.wixsite.com/bagnara/oficina>) e estão descritos nos quadros abaixo.



No diálogo entre os dois médicos é possível notar que em determinado momento eles falam sobre a evacuação das cidades, também questionam sobre a evolução do conhecimento e suas consequências para a vida das pessoas. Até que ponto as tecnologias atuais trouxeram melhorias para a vida do ser humano? E quantos fatos danosos estas mesmas tecnologias trouxeram?

CENA 02

37:34 – 39:01



Enquanto conversavam sobre o uso de armas nucleares um dos clientes comenta sobre a sua pouca preocupação com as consequências pelo fato de estar

longe do conflito, nas palavras do mesmo, “neste fim do mundo”. As guerras e o uso de armas poderosas não produzem danos somente no local envolvido no conflito, mas também nas regiões próximas. Como você analisa as consequências de um bombardeio nuclear num determinado local e os danos na vizinhança?

[CENA 03](#)

41:22 – 42:50



Se preparando para a ocorrência de um conflito nuclear entre as nações, a população busca armazenar mantimento, estocar água, produz barreiras com terras nas janelas dos porões. Quais são as medidas de proteção que você tem conhecimento além destas citadas no filme?

CENA 04

53:59 – 57:50



No momento da explosão da bomba nuclear é possível notar que carros e equipamentos deixam de funcionar de forma repentina. Qual o motivo para tal fato? É possível notar no filme o poder de destruição da bomba imediatamente após a sua explosão e que este poder é intenso, identifique alguns deles.

CENA 05

1.04:54 - 1.06:05



Acredita-se que a falta de energia elétrica no hospital é devido ao fenômeno da Pulsção Eletromagnética (PEM). O que é? Quais são suas aplicações e consequências?

CENA 06

1.09:40- 1.10:43



Ao notar que o hospital está superlotado de pacientes em consequência da exposição direta ou indireta a radiação, o médico se pergunta sobre o alcance desta contaminação em relação ao local da queda da bomba. Alguém pode se considerar livre da ameaça?

CENA 07

1.18:10- 1.19:26



No momento de desespero, ao sair do porão a moça comenta que não consegue identificar nada de radiação, porém a mesma é alertada que a radiação é invisível e produz danos irreversíveis quando exposta a doses acima do tolerado. Quais são os valores das doses mínimas que o ser humano suporta?

[CENA 08](#)

1.27:28- 1.28:36

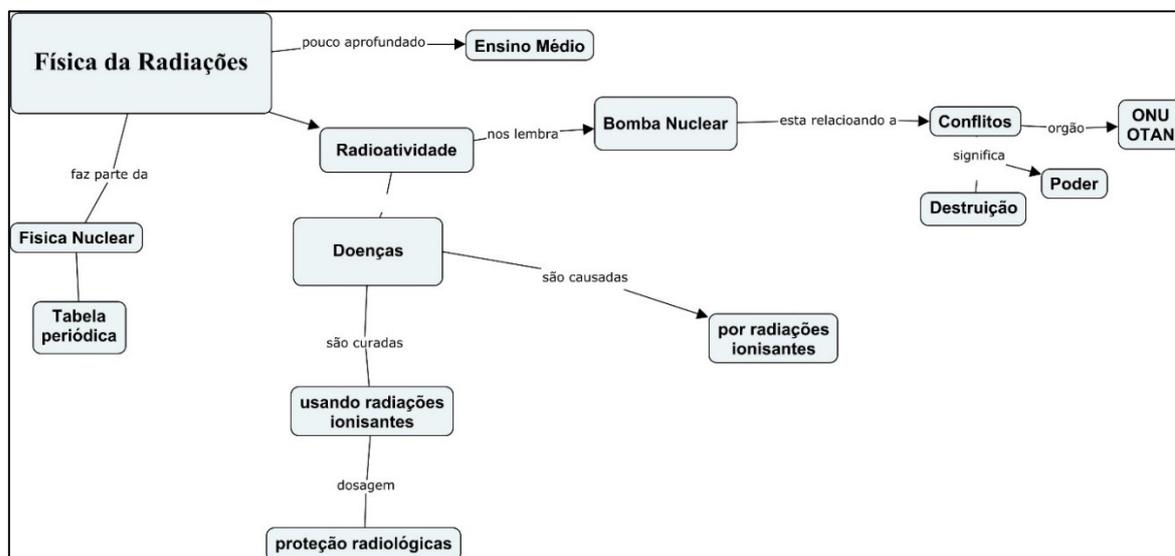


As pessoas buscam ajuda para seus problemas de saúde gerados pela incidência das radiações em valores acima do tolerável. Qual a influência da radiação nestas enfermidades (queda de dentes e cabelo, vômitos, feridas pelo corpo, cegueira, etc)?

No momento seguinte, baseado nas questões que os alunos anotaram quando assistiam o filme, juntando àquelas sugeridas pelo professor, organiza-se um mosaico no quadro com palavras que descrevam as dúvidas e questionamentos que os alunos trouxeram em relação ao filme, onde será construído o nosso “mapa conceitual”. Será baseado neste mapa que o professor irá desenvolver o aprofundamento teórico para responder as perguntas dos alunos.

A palavra chave do mapa para esta oficina foi **“Física das Radiações”**, que a partir dela, irão ser interligadas as demais, conforme descrito logo a seguir. Será baseado neste mosaico que o professor irá desenvolver o aprofundamento teórico para responder as perguntas dos alunos.

Na figura abaixo temos uma representação do mapa conceitual da discussão proposta sobre a temática em questão.



Os questionamentos que surgiram dos alunos foram organizados conforme o seu grau de relação com a temática para que no momento da construção da teia estivessem todas elas contempladas. Estas questões retornaram a discussão após o aprofundamento como uma forma de verificação de aprendizagem.

É neste momento que os organizadores prévios começam a serem formados, pois os estudantes durante seus diálogos poderão conectar ideias e conceitos que aparentemente não haviam percebido. Todo esse movimento intelectual ocorre no sentido de manter vivo na estrutura cognitiva dos alunos conhecimentos prévios, que poderão estar vinculados ao filme.

É necessário ter um cuidado especial nesta etapa para não pulverizar demais os conteúdos a serem aprofundados de tal forma que venha a ser necessário se aprofundar em muitos conceitos relacionados a Física e até de outras disciplinas. Outro fator muito importante neste momento é a construção de possibilidades de um trabalho interdisciplinar, pois em muitos momentos, as respostas não estarão presentes somente no campo da física, necessitando de aprofundamentos em outras disciplinas, bem como a colaboração de professores de outras áreas.

Os elementos deste mapa, bem como sua extensão dependem basicamente da condução do trabalho por parte do professor, da interação entre os componentes da oficina e do nível de conhecimento dos alunos. O professor também pode, se achar

necessário, sugerir uma pesquisa de aprofundamento sobre alguns temas que não foram elencados nas discussões, mas que serão de grande valia para o sucesso da oficina. Na aplicação desta oficina, baseado no alto grau de interesse dos alunos, acabamos por buscar um maior aprofundamento sobre a produção de energia nas Usinas Nucleares, os tipos de combustíveis usados e a sua forma de produção, desde o processo de mineração do Urânio na natureza até o seu enriquecimento, transformando-o no combustível da usina (Urânio 235).

A seguir consta os conteúdos que foram definidos para serem aprofundados nesta oficina.

- 1 – Radiação Nuclear: o que é, que tipos existem;
- 2 – Conflitos Mundiais (primeira e segunda guerra);
- 3 – Função das organizações como ONU, OTAN.
- 4 – Tipos de bomba e o poder de destruição;
- 5 – Efeito das radiações nos seres vivos;
- 6 – Utilização da radiação nuclear no cotidiano: vantagens e desvantagens;

3º e 4º (3 horas cada)

Nesta etapa o professor irá realizar o aprofundamento dos conceitos elencados no encontro anterior, de forma a tornar possível a compreensão do filme, ou seja, a construção dos saberes necessários para a que o aluno possa responder as questões apresentadas em relação ao filme e ao artigo do primeiro encontro.

O motivo dos alunos estarem fazendo parte da oficina é construir conhecimentos e saberes em relação a Física. Todo o processo até agora desenvolvido tem como finalidade preparar o clima para este momento. Nesta etapa o professor irá apresentar toda a fundamentação teórica necessária para a compreensão desta temática.

Fazendo uso de apresentações em slide, recortes de vídeo-aulas, material impresso e simulações computacionais cabe ao professor construir uma aula dinâmica e significativa sobre os temas propostos.

Em anexo se encontra uma proposta de aprofundamento de conteúdos que foi desenvolvida nesta oficina, intitulado “Física das Radiações”.

OBSERVAÇÃO: Todo o material didático aqui utilizado bem como sugestões de aprofundamento estão disponível para o aluno na forma de arquivo pdf na página da oficina (<https://profsandrobagnara.wixsite.com/bagnara/oficina>).

O aprofundamento teórico nesta oficina, foi na sua grande maioria feito fazendo uso da dinâmica da aula expositiva, utilizando-se de um resumo geral apresentado em forma de animação em PPT (power point) baseado no material didático de apoio em anexo. A apresentação encontra-se também em anexo a este produto.

5º Encontro (2 horas)

Nesta etapa o professor irá retomar as questões apresentadas pelos alunos bem como aquelas por ele proposta e buscará de forma conjunta e coletiva construir respostas para as mesmas que possam levar a todos à compreensão.

A última etapa da oficina e de grande importância é avaliação da metodologia utilizada. Baseado em um pequeno questionário, apresentado de forma que não seja necessária a identificação do aluno, será avaliada a proposta de trabalho da Oficina em alguns itens como tempo de duração, metodologia, material, professor, etc.

Cabe ao professor conduzir esta etapa de tal forma que as respostas advindas dos alunos sejam as mais sinceras possíveis e que venham a produzir o seu objetivo que é de refletir sobre a metodologia das Oficinas Pedagógicas de Física. Cada oficina desenvolvida irá produzir resultados característicos do grupo participante e da temática escolhida, por isto a avaliação do processo ser necessária sempre.

Sugere-se aqui desenvolver uma forma de avaliação de tal forma que seja avaliada a metodologia “**Oficina Pedagógica de Física**” e também “**O professor que desenvolveu a oficina**”. Desta forma apresentamos aos alunos o questionário a seguir.

3. Quanto a Metodologia da Oficina

QUESTÕES	RESPOSTAS		
	SIM	PARCIAL	NÃO

1.1 A oficina atingiu o objetivo que você estabeleceu para ela?			
1.2 A abordagem dada ao tema ficou clara e compreensível para você?			
1.3 A carga horária para cada atividades foi bem distribuída?			
1.4 A metodologia de usar filme para auxiliar na abordagem do tema demonstrou ser eficaz?			
1.5 O material para aprofundamento disponível foi suficiente para sanar suas dúvidas?			

ESPAÇO PARA JUSTIFICAR ALGUMA DAS RESPOSTAS DO ITEM ANTERIOR (USE O VERSO SE NECESSÁRIO)

--

4. Quanto ao Professor que desenvolveu a Oficina

Atribua nota de "0" a "5" para cada item abaixo, sendo "0"- não atendeu e "5" atendeu plenamente.

ITENS	NOTA
2.1 Clareza e objetividade no desenvolvimento das etapas da oficina.	
2.2 Conhecimento do conteúdo e da metodologia trabalhada na oficina.	
2.3 Utilização dos recursos didáticos (filme, site, simuladores, textos).	
2.4 Relacionamento com os participantes da oficina	

ESPAÇO PARA JUSTIFICAR ALGUMA DAS RESPOSTAS DO ITEM ANTERIOR (USE O VERSO SE NECESSÁRIO)

--

Anexo 01 - PPT DAS AULAS

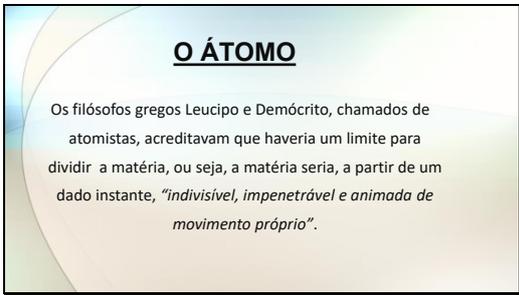
Slide 1



Física das Radiações Nucleares

Oficina Pedagógica de Física
Prof Sandro Rogério Bagnara
1º Semestre de 2019

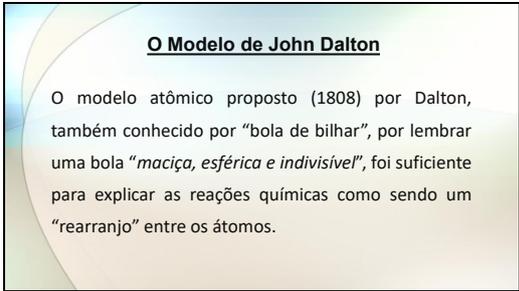
Slide 2



O ÁTOMO

Os filósofos gregos Leucipo e Demócrito, chamados de atomistas, acreditavam que haveria um limite para dividir a matéria, ou seja, a matéria seria, a partir de um dado instante, *“indivisível, impenetrável e animada de movimento próprio”*.

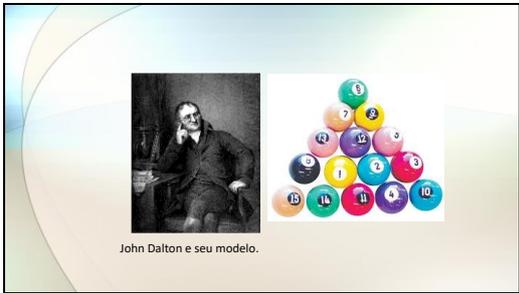
Slide 3



O Modelo de John Dalton

O modelo atômico proposto (1808) por Dalton, também conhecido por “bola de bilhar”, por lembrar uma bola *“maciça, esférica e indivisível”*, foi suficiente para explicar as reações químicas como sendo um “rearranjo” entre os átomos.

Slide 4



John Dalton e seu modelo.

Slide 5

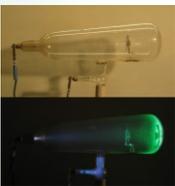
Os Modelos Evoluem

Na segunda metade do século XIX, trabalhos envolvendo *eletricidade* (já adiantados na época, como a *eletrólise*) e *radioatividade* não encontravam explicações convincentes à luz do modelo de Dalton. Havia a necessidade, portanto, de um modelo melhor.

Slide 6

Ampola de Crookes e a descoberta do elétron

Um tubo de vidro (ampola), apresentando nas extremidades dois metais chamados eletrodos. Estes são ligados a uma fonte (bateria) de alta "voltagem" ou tensão. O dispositivo é, então, ligado a uma bomba de vácuo para retirar o ar do interior.



Slide 7

Quando a pressão interna exercida pelo gás for reduzida a um décimo (1/10) da pressão ambiente, observa-se que o gás entre os eletrodos passa a emitir luminosidade. Quando a pressão for reduzida para cerca de 1/100 000 da pressão ambiente, desaparece a luminosidade, restando uma "mancha" luminosa atrás do ânodo. Essa "mancha", concluiu-se, provém do pólo positivo ou cátodo; por isso, os raios foram chamados *raios catódicos*.

A [Ampola de Crookes](#) (vídeo explicativo)

Slide 8

Referenciado-se nos trabalhos de Crookes e aperfeiçoando-os, Joseph Thomson (1887), esclareceu que os raios catódicos são, na verdade, constituídos por um fluxo de partículas menores do que os átomos e dotadas de cargas negativas.

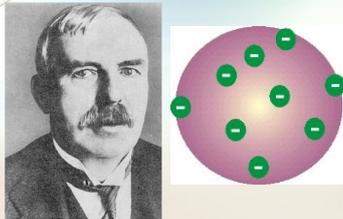
Denominou-as *elétrons*. Thomson concluiu que essas partículas (raios catódicos) eram dotadas de carga negativa, pois ao submetê-las a um campo elétrico eram atraídas pelo pólo positivo desse campo. Lembremo-nos: cargas elétricas de sinais contrários se atraem; de mesmo sinal, se repelem

Slide 9

Modelo Atômico de Thomson

Em 1897, Thomson sugeriu que o átomo seria formado por uma *esfera positiva* "incrustada" de *elétrons* (carga elétrica negativa). A conclusão de que a esfera deveria ser positiva está relacionada ao fato de os *átomos* apresentarem *carga elétrica total nula*. O grande mérito de Thomson foi admitir (e comprovar) que o *átomo* seria *divisível*.

Slide 10



Thomson e seu modelo ao lado.

Slide 11

Radioatividade



Antoine Becquerel (1896) descobriu que certos materiais que contêm *urânio (92)* emitem espontaneamente *radiações* (raios) de vários poderes de penetração, capazes inclusive de "manchar" um filme fotográfico. Mais tarde o casal Marie e Pierre Curie descobriu que os elementos *polônio (84)* e *rádio(88)* também eram *radioativos*.

Slide 12

A Radioatividade

Através de experiências, como submeter emissões radioativas a um campo magnético, Rutherford (1903) verificou que elas sofriam diferentes desvios. Pode, assim, identificar três tipos de emissões (denominadas por letras gregas): $\alpha(+)$, $\beta(-)$ e γ (onda)



Slide 13

Radiação Alfa (α)

→ As partículas alfa são constituídas por 2 prótons e 2 nêutrons, isto é, o núcleo de um átomo de hélio (He). Quando o núcleo as emite, perde 2 prótons e 2 nêutrons.



2 prótons
+
2 nêutrons

*"Lei da Radioatividade (Lei de Soddy):
massa diminui de quatro unidades."
 ${}_Z^AX^A \rightarrow {}_{Z-2}^{A-4}X^{A-4} + {}_2^4\text{He}^4$
Ex: ${}_{82}^{210}\text{Pb} \rightarrow {}_{80}^{206}\text{Hg} + {}_2^4\text{He}$*

Velocidade média: 20000 km/s.
Poder de penetração: pequenos, são detidas por pele, folha de papel ou 7 cm de ar.
Poder ionizante: elevado, por onde passam capturam elétrons, transformando-se em átomos de Hélio.

Slide 14

Radiação Beta (β) – desintegração de um neutron

→ Quando o núcleo emite uma partícula β , seu número de massa permanece constante e seu número atômico aumenta 1 unidade.



1 elétron

*"Lei da Radioatividade (Lei de Soddy)-Ritard
número de massa não se altera."
 ${}_Z^AX^A \rightarrow {}_Z^AX^A + {}_{-1}^0\text{e}^{-}$
Ex: ${}_{83}^{210}\text{Bi} \rightarrow {}_{84}^{210}\text{Po} + {}_{-1}^0\text{e}^{-}$*

nêutrons = prótons + elétrons + neutrinos
Os prótons permanecem no núcleo e os elétrons e neutrinos são ejetados fora dele.
Ou $n^0 \rightarrow p^+ + e^- + \bar{\nu}$ = neutrino
Velocidade média: 95% da velocidade da luz.
Poder de penetração: 50 a 100 vezes mais penetrantes que as partículas alfa. São detidas por 1 cm de alumínio (Al) ou 2 mm de chumbo (Pb).
Danos os organismos: maiores do que as emissões alfa, podem penetrar até 2 cm do corpo humano e causar danos sérios.

Slide 15

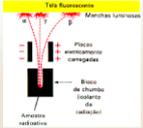
Radiação Gama (γ)

→ As partículas, possuem diferente poder de penetração. Uma partícula α pode penetrar até 0,05 cm na pele e uma β até 1,5 cm. A radiação γ , por sua vez, facilmente atravessa todo o nosso organismo.

*"Emissão gama (γ): são ondas eletromagnéticas, da mesma natureza da luz, semelhantes ao raio X. Sem carga elétrica sem massa.
Velocidade: igual à da luz: 300 000 km/s.
Poder de penetração: alto, são mais penetrantes que raios X, são detidas por 5 cm de chumbo (Pb).
Danos à saúde: máximos, pois podem atravessar o corpo humano, causando danos irreparáveis."*

Slide 16

→ A emissão de partículas alfa e beta é o modo encontrado pelo núcleo para aliviar a instabilidade.
→ As radiações alfa (α) e beta (β) são partículas que possuem massa, carga elétrica e velocidade. Os raios gama (γ) são ondas eletromagnéticas (não possuem massa), que são emitidas por núcleos instáveis logo em seguida à emissão de uma partícula alfa ou beta e se propagam com a velocidade de 300.000 km/s.



Slide 17



Slide 18

Dividindo o "indivisível": a descoberta dos prótons

Rutherford, trabalhando com partículas alfa e o dispositivo ao lado, propôs um modelo atômico que ficou conhecido com seu nome. No experimento realizado, a *maioria* das partículas alfa *atravessou* a lâmina de ouro, *algumas poucas desviaram* e outras poucas também *ricochetearam*.

Slide 19

Rutherford concluiu então:

- No átomo há grandes espaços vazios, pois a maioria das partículas atravessou a lâmina;
- No centro do átomo, existe um núcleo muito pequeno e denso (muita massa). Algumas partículas alfa foram rebatidas;
- O núcleo tem cargas elétricas positivas (Rutherford denominou-as prótons), pois as partículas alfa, quando passavam pelo núcleo, eram repelidas sofrendo desvio (cargas de mesmo sinal se repelem).

Slide 20

Modelo planetário de Rutherford

Rutherford admitiu ainda que os elétrons estariam girando ao redor do núcleo, o mais afastados possível para não serem "engolidos" (cargas de sinais contrários se atraem).

Slide 21

A contribuição de Niels Bohr

O modelo proposto por Rutherford, embora revolucionário, apresentava um problema: era contraditório a um conhecimento já existente na época. As partículas elétricas em movimento acelerado emitem energia.

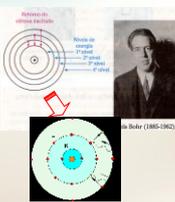
Se os elétrons estiverem girando (com aceleração centrípeta) perdem energia gradativamente. Diminuindo a velocidade e em espiral, "caem" no núcleo.

Slide 22

A contribuição de Niels Bohr

Em 1913, o dinamarquês Niels Bohr concluiu uma série de *postulados*, a esse respeito.

Obs:Esses postulados não faziam muito sentido, quando comparados aos conhecimentos de Física da época.



Slide 23

Postulados de Niels Bohr

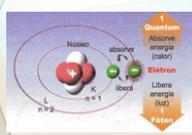
1. Os elétrons giram em orbitas circulares e somente a determinadas distâncias do núcleo (essas orbitas são chamadas camadas ou níveis de energia). Saliente-se que um elétron não pode permanecer entre dois níveis de energia;



Slide 24

Postulados de Niels Bohr

2. Um elétron pode passar de um nível para outro de maior energia, desde que absorva energia externa (energia elétrica, luz, calor, etc.);



Slide 25

Postulados de Niels Bohr

3. Quando o elétron retorna para o nível de energia menor, o átomo devolve essa energia (em geral na forma de luz).



Slide 26

Decaimento Radioativo

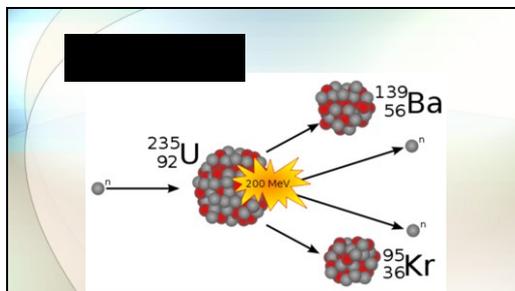
Os núcleos atômicos podem sofrer uma grande variedade de processos, os quais originam a emissão de radiação (das mais diversas formas, ionizantes ou não).

Podem-se dividir estes processos em duas categorias: **reações nucleares e decaimento radioativo**

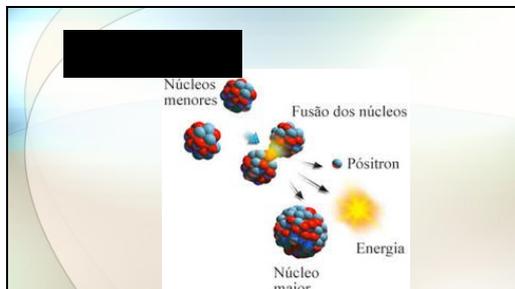
Numa reação nuclear, o núcleo interage com outra partícula ou núcleo e há emissão de radiação, como um dos produtos finais, alguns produtos são núcleos que mais tarde podem sofrer desintegração radioativa.

As reações básicas são a Fissão Nuclear e a Fusão Nuclear

Slide 27



Slide 28



Slide 29

DECAIMENTO RADIOATIVO

Num decaimento radioativo, o núcleo desintegra-se dando origem a espécies diferentes do núcleo, ou para estados de energia baixa do mesmo núcleo com a emissão de partículas (alfa e beta) ou radiação gama.

Este processo ocorre naturalmente e de forma estatística seguindo a meia vida de cada radionuclídeo.

Slide 30

Meia Vida

Suponha que você tem um certo nuclídeo e que ele é radioativo. É certo que ele irá se desintegrar. Mas quando isto ocorrerá? Não dá para dizer! Não se pode ter certeza de que vai ser já ou daqui a cinquenta anos. Analisando uma certa quantidade de um material radiativo, temos como determinar quando a quantidade radioativa será de metade do se tem agora, isto se chama **meia vida**.

Césio 137= 30 anos.

Slide 31

MEIA VIDA FÍSICA: tempo gasto por um elemento para que ele tenha sua massa radioativa naturalmente reduzida pela metade.

MEIA VIDA BIOLÓGICA: tempo necessário para que a metade do elemento ingerido pelo organismo seja eliminado pelas vias normais.

A dose de radiação recebida por um órgão quando nele existe um material radioativo agregado, depende da meia vida física, isto é, das características do decaimento radioativo do elemento, e da meia vida biológica. A combinação de ambas dá a **MEIA VIDA EFETIVA**, que é o tempo em que a dose de radiação neste órgão fica reduzida à metade.

Slide 32

Meia vida de alguns isótopos

• ¹³¹ Iodo	8 dias
• ⁶⁰ Cobalto	5,27 anos
• ³ H (Trítio)	12,5 anos
• ⁹⁰ Estrôncio	28 anos
• ²³⁵ Urânio	710 milhões de anos
• ²³⁸ Urânio	4,5 bilhões de anos

Slide 33

SERIES RADIOATIVAS NATURAIS

As transformações sofridas pelos elementos radioativos, existentes na natureza num total de aproximadamente quarenta, permitem agrupá-los em três séries, chamadas séries de desintegração radioativa, nas quais os elementos se convertem uns nos outros por sucessivas emissões alfa e beta

Slide 34

Os elementos, XXXXXXXXXX encabeçam uma série ou família radioativa natural. Cada um deles se desintegra por emissão de partículas, dando origem a um segundo elemento que também irá se desintegrar, produzindo um terceiro elemento, e assim sucessivamente até o último elemento produzido em cada série seja um isótopo estável do chumbo (Z=82).

Slide 35

FAMILIAS RADIOATIVAS NATURAIS			
SÉRIE DO URÂNIO	SÉRIE DO ACTÍNIO	SÉRIE DO TÓRIO	
Urânio-238	Actínio-227	Actínio-227	Tório-232
Tório-230	Tório-231	Rádium-228	Rádium-228
Protactínio-231 3,82 anos	Protactínio-231	Actínio-228	Actínio-228
Urânio-234 2,710	Actínio-227	Tório-230	Tório-230 1,9 anos
Protactínio-230 13,8 dias	Protactínio-230 21 meses	Tório-231	Rádium-224
Rádium-226	Rádium-223	Rádium-223	Rádium-226
Rádium-222	Polônio-214 3,8 segundos
...	...	Polônio-214	...
Polônio-210	Polônio-211
Chumbo-206	Chumbo-207	Chumbo-206 estável	Chumbo-206 estável

Slide 36

INTERAÇÃO RADIOATIVA

Após produzidas, as radiações atingem uma substância, interagindo com as mesmas de diferentes maneiras e produzindo diversos efeitos, sejam estes controláveis ou não.

Slide 37

EFEITOS DA RADIAÇÃO

Efeitos elétricos: o ar atmosférico e gases são ionizados pelas radiações, tornando-se condutores de eletricidade. O aparelho usado para detectar a presença de radiação e medir sua intensidade, chamado *contador Geiger*, utiliza esta propriedade.

Efeitos luminosos: as radiações provocam fluorescência em certas substâncias, como o sulfeto de zinco - esta propriedade é utilizada na fabricação de ponteiros luminosos de relógios e objetos de decoração.

Slide 38

EFEITOS DA RADIAÇÃO

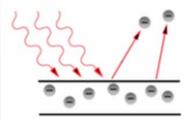
Efeitos biológicos: as radiações podem ser utilizadas com fins benéficos, no tratamento de algumas espécies de câncer, em dosagens apropriadas. Mas em quantidades elevadas, são nocivas aos tecidos vivos, causam grande perda das defesas naturais, queimaduras e hemorragias. Também afetam o DNA, provocando mutações genéticas.

Efeitos químicos: radioisótopos têm sido usados para estabelecer mecanismos de reações nos organismos vivos, como o C^{14} . Radioisótopos sensibilizam filmes fotográficos.

Slide 39

Efeito Fotoelétrico

É a emissão de elétrons por um material (geralmente metálico), que quando exposto a uma radiação (normalmente a luz ou algo de frequência maior). Os fótons da radiação irão fazer com que elétrons sejam expulsos do material.

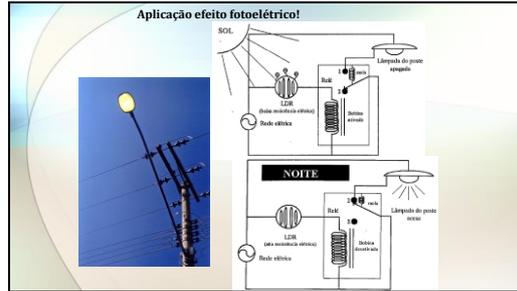


Slide 40

Efeito Fotoelétrico

- ❖ O efeito Fotoelétrico só ocorre a partir de uma determinada frequência. Depende da frequência da "luz" incidente e do material (receptor).
- ❖ A partir do momento que o fenômeno tem início, a quantidade de cargas emitidas (fotoelétrons) da placa é diretamente proporcional à intensidade da luz. $E=h \cdot f$

Slide 41

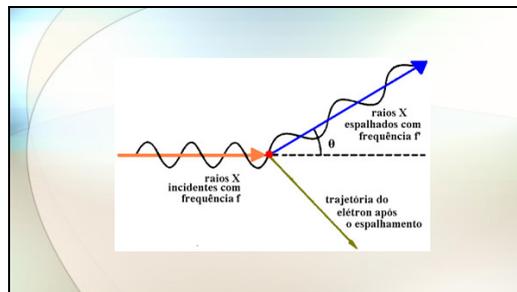


Slide 42

Efeito Compton

- ❖ O espalhamento Compton, também conhecido como espalhamento incoerente, é uma das formas de interação da radiação com a matéria.
- ❖ O espalhamento Compton acontece quando um fóton incidente choca-se inelasticamente com um elétron do átomo sendo espalhado possuindo energia menor que a original. A energia perdida é transferida para o elétron que é ejetado com ganho de energia cinética.

Slide 43



Slide 44

Produção de Pares

- ❖ Ocorre quando a radiação (normalmente gama) interage com o núcleo da matéria. Neste caso ocorre um aniquilamento desta radiação e se origina uma par elétron – pósitron (que é um elétron com carga positiva)

Slide 45

Como o Raio X é possível?

As radiações são produzidas por **processos de ajuste** que ocorrem no núcleo ou nas camadas eletrônicas, ou pela interação de outras radiações ou partículas com o núcleo ou com o átomo.

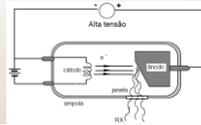
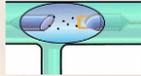
Raios X é a denominação dada à radiação **eletromagnética** de alta energia que tem origem na eletrosfera ou na frenagem de partículas carregadas no campo eletromagnético do núcleo atômico ou dos elétrons.

Slide 46

Produção do raio X

O Raio X é uma radiação produzida artificialmente através da aceleração de cargas elétricas (elétrons) contra um material metálico de alto número atômico, resultando desse choque a emissão de radiação eletromagnética, caracterizada por uma frequência muito alta, pequeno comprimento de onda e alto poder de penetração. $E=h \cdot f$

Ao contrário que a maioria das pessoas pensa, não há material radioativo em um equipamento emissor de raios X.



Slide 47

Produção do raio X

O equipamento responsável pela produção do Raio X, possui dois elementos principais; o cátodo e o ânodo.

- O cátodo é o eletrodo negativo do tubo. Sua função é emitir elétrons a altas velocidades (grande energia cinética) e apontá-lo para o ânodo.
- O ânodo é o eletrodo positivo do tubo, serve de suporte para o alvo e atua principalmente como elemento condutor de calor. O filamento do ânodo deve ser de um material de boa condutividade térmica, alto ponto de fusão e alto número atômico, de forma a otimizar a relação de perda de energia dos elétrons por radiação (raios X) e a perda de energia por aquecimento.

Slide 48

Produção do raio X

- O filamento utilizado é de Tungstênio (com um pequeno acréscimo de Tório), que suporta temperaturas que vão até 3340°C. Além disso, possui um razoável valor de número atômico (74) o que é útil para o fornecimento de átomos para colisão com os elétrons vindos do cátodo.
- O processo de produção pode ocorrer de duas formas:
 - A frenagem (Bremsstrahlung)
 - E os Raios X característicos

Slide 49

Frenagem (Bremsstrahlung)

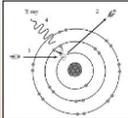
- O Elétron com alta energia (cinética) penetra no átomo;
- Em virtude do núcleo ser positivo, faz com que o mesmo ser freado e desviado;
- Parte desta energia (cinética) "vira" raio X



Slide 50

O Raio X característico

- O Elétron com alta energia (cinética) penetra no átomo;
- Acaba retirando elétrons (ionizando, eletrizando os átomos) das camadas mais internas (K, L);
- Cria uma lacuna nesta camada;
- Outro elétron do átomo vem ocupar este espaço, emitindo energia (em forma de raio X) característica de cada material.



Slide 51

Propriedades dos raios X

- Não são detectados por nenhum dos nossos 5 sentidos.
- Não sofrem desvios em sua trajetória por ação de campos elétricos nem magnéticos (pois não são partículas carregadas);
- Atravessam corpos opacos;
- Perdem energia na proporção direta ao n° atômico (Z) do elemento com o qual interagem;

Slide 52

Propriedades dos raios X

- Causam fluorescência em certas substâncias químicas;
- Diminuem de intensidade na razão inversa do quadrado da distância por eles percorrida ($1/r^2$);
- Produzem ionização.
- Por ser uma onda podem sofrer refração, reflexão e difração.

Slide 53

APLICAÇÃO DAS RADIAÇÕES

-Produção de energia elétrica: os reatores termo nucleares são utilizados para produzir energia elétrica. Baterias nucleares são também utilizadas para propulsão de navios e submarinos.

-Aplicações na indústria: em radiografias de tubos, lajes, etc - para detectar trincas, falhas ou corrosões. No controle de produção; no controle do desgaste de materiais; na determinação de vazamentos em canalizações, oleodutos,...; na conservação de alimentos; na esterilização de seringas descartáveis; etc.

Slide 54

-Aplicações na Química: em traçadores para análise de reações químicas e bioquímicas- em eletrônica, ciência espacial, geologia, medicina, etc.

-Aplicações na Medicina: no diagnóstico das doenças, com traçadores -tireóide(I^{131}), tumores cerebrais(Hg^{197}), câncer (Co^{60} e Cs^{137}), etc.

-Aplicações na Agricultura: uso de C^{14} para análise de absorção de CO_2 durante a fotossíntese; uso de radioatividade para obtenção de cereais mais resistentes; etc.

-Aplicações em Geologia e Arqueologia: datação de rochas, fósseis, principalmente pelo C^{14} .

Slide 55

BIOEFEITOS DA RADIAÇÃO

- A interação das radiações principalmente as ionizantes, nos seres vivos, podem produzir as mais diversas consequências, sejam elas benéficas (cura de doenças) ou sejam elas maléficas (ameaças a vida)
- As consequências dependem de vários fatores como o tempo de incidência, a intensidade da dose radioativa, etc

Slide 56

BIOEFEITOS DA RADIAÇÃO

- **Interação Direta da radiação** – agindo nas células (DNA da mesma) produzindo mutação ou até a morte
- **Interação Indireta da radiação** – quebra das moléculas de água, criando radicais livres que irão agir sobre outras moléculas.

Slide 57

BIOEFEITOS DA RADIAÇÃO

- Modificações de bases: adenina, citosina, guanina e, sobretudo timina. Um par de bases pode então encontrar-se ausentes ou ser substituído por outro. A modificação da ordem ou da natureza das bases acarreta uma alteração da informação transportada pelo gene.
- Mudanças de formação do DNA: ruptura de uma das duas fibras (fácil de reparar pela endocuclease), ou ruptura das duas fibras, esta de difícil reparo.

Slide 58

BIOEFEITOS DA RADIAÇÃO

- Lesão por entrecruzamento (cross link): formam-se ligações entre duas cadeias de DNA, ou entre uma cadeia e uma proteína, etc.
- Remodelação na estrutura dos cromossomos: conhecida como mutação genética.
- Uma ruptura única ou múltipla pode acarretar a perda de um fragmento (deleção), ou mesmo a fixação desse fragmento em um outro cromossomo (translação).

Slide 59

SUGESTÃO DE CONSULTA

- [Site do INCA – Instituto Nacional do Câncer](#)
- [Material produzido pela USP para alunos do EM](#)
- [Biblioteca do Comitê Nacional de Energia Nuclear](#)
- [Efeito das Radiações Ionizantes – Prof Omiko Okuno](#)

Anexo 02 – FÍSICA DAS RADIAÇÕES

Física das Radiações.

O texto a seguir é um recorte do trabalho de conclusão do Curso de Especialização em Ensino de Física (2003) de Sandro Rogério Bagnara junto a Facepal – Palmas – Paraná.

1. Introdução

Existem certos assuntos controversos, que periodicamente vem à tona, exigindo da comunidade uma postura crítica para a avaliação de suas finalidades e de suas consequências. A Radioatividade com certeza é um destes assuntos.

Geralmente, as opiniões a respeito são apresentadas sem o devido embasamento técnico-científico, o que facilmente pode levar a erros na sua avaliação. Por outro lado, quando são expostos argumentos fundamentados há uma certa resistência na sua compreensão, devido principalmente aos conceitos científicos envolvidos, considerados complicados e/ou pouco conhecidos pelos alunos.

Esta desinformação tem raízes na nossa formação escolar. Na verdade, como regra geral, conceitos como radioatividade não são apresentados nos ensinamentos fundamental e médio e aparecem, às vezes, na disciplina de química do ensino médio. No ensino superior elas só são discutidas em cursos da área de ciências exatas sob seus aspectos físicos/químicos/energéticos, ficando sua interação com seres vivos para a área das ciências biomédicas (biologia, medicina, etc).

Isto significa que um cidadão com o ensino superior completo, que não tenha optado por uma das áreas exatas acima mencionadas, terá, na melhor das hipóteses, visto o assunto radioatividade sob seu aspecto químico em algumas aulas no ensino médio! Assim sendo o cidadão que tem somente o ensino fundamental, nunca ouviu falar do assunto na escola, pensando ser a escola o local mais apropriado para discussão de um tema tão importante como este. E a radioterapia, lixo radioativo, danos de radiação, proteção radiológica e tantos outros temas que dizem respeito ao dia-a-dia do indivíduo? Nem sabe o que é.

Desta forma o texto que segue tenta construir uma abordagem do tema que seja ao mesmo tempo fruto de uma pesquisa técnica-bibliográfica, mas que seja também uma forma de esclarecimento sobre este tema tão pouco conhecido da grande maioria da população, mas que possui grande aplicabilidade e influência no dia-a-dia.

2. Um pouco de História

O estudo da radioatividade parte dos trabalhos originais que resultaram na descoberta do elétron. Na tentativa de entender a condução da eletricidade através dos gases, foram feitas diversas experiências usando diferentes gases a diferentes pressões.

Quando um tubo estava cheio de gás a pressão atmosférica a eletricidade não fluía entre os eletrodos mesmo com a aplicação de altas voltagens mas, reduzindo a pressão, ocorria, então, a passagem da corrente elétrica através do ar rarefeito.

Este gás brilhava como uma luz azulada, que desaparecia com o abaixamento da pressão, sendo substituída por uma fluorescência esverdeada nas paredes do tubo que continha o gás.

Pesquisas posteriores mostraram que o brilho esverdeado era produzido por partículas emitidas pelo eletrodo negativo (cátodo). Estas emissões, que nada mais eram que um feixe de elétrons invisível a olho nu, foram denominados de raios catódicos.

A descoberta dos raios catódicos e os trabalhos posteriores de Crookes despertaram o interesse de um grande número de físicos do final do século XIX; entre eles o alemão Wilhelm Konrad Röntgen (1845-1923).

Em um dos seus experimentos com raios catódicos Röntgen percebeu que um negativo de filme fotográfico virgem tinha sido sensibilizado, mostrando o fecho metálico de uma bolsa que estava colocada sobre o filme. Baseado nisso, Röntgen propôs que quando os raios catódicos se chocavam com o vidro ou com metais, novos raios eram emitidos. Estes raios além de serem altamente energéticos possuíam também a propriedade de sensibilizar até mesmo um negativo fotográfico que estivesse envolto por papel preto.

Em 8 de Novembro de 1895 Röntgen concluiu que esses raios provocavam a fluorescência em certos materiais como o platinocianeto de bário. Como esses raios não eram desviados por um campo magnético, ele concluiu que tais raios não eram catódicos e não possuíam carga elétrica. Denominou-os, então, de raios-X.

Na década de 1890 o físico francês Antoine-Henri Becquerel (1852 – 1908) se dedicava a verificar a fluorescência de certos minerais ao serem expostos a luz forte (Sol). Um dos minerais que trabalhava era o Urânio (U), e em um dia nublado, impróprio para realização de suas experiências, Becquerel guardou em uma gaveta

filmes fotográficos armazenados em embalagens escuras. Surpresa grande teve Becquerel quando ao revelar os filmes notou que os mesmos estavam “impressionados” (revelados); concluiu que alguns minerais produziam raios que penetravam em substâncias consideradas protegidas, mesmo sem os mesmos serem excitados pela luz, propriedade semelhante ao do raio-X de Röntgen e a esta propriedade denominou de radioatividade.

Seis dias depois de sua descoberta Röntgen apresentou seu achado aos colegas da Universidade de Würzburg. A imprensa noticiou o fato com destaque em 5 de janeiro de 1896. No mesmo ano os médicos adotaram a novidade. Imagine: com ela dava para ver ossos quebrados e órgãos doentes dentro do corpo humano. Logo começou a ser usada no tratamento do câncer. Pesquisadores também radiografavam animais para estudos anatômicos. Na sociedade a reação era de deslumbramento e todos queriam ver seu próprio esqueleto. Rápido, o americano Thomas Alva Edison (1847-1931) inventou um instrumento com tela fluorescente que deixava ver a radiografia ao vivo, sem necessidade de revelar filmes. Em 1902 um inglês fabricou uma máquina de raios X controlada por moeda, como essas de refrigerante que temos hoje em dia.

Por sugestão de Becquerel, Pierre Curie (1859-1906) e sua esposa, a física polonesa Marie Curie (1867-1934), examinaram cuidadosamente o Urânio e concluíram que a emissão é proporcional à quantidade de Urânio presente na amostra. Deve-se notar que Marie Curie foi a primeira mulher a receber um prêmio Nobel (de Física em 1903) e também o primeiro cientista a recebê-lo duas vezes (de Química em 1911).

3. Radioatividade

De que são feitas as coisas, a terra, as plantas, a gente? A pergunta é a mesma desde há muito tempo! A resposta é que vem mudando à medida que mais conhecimentos se acumulam sobre o assunto, permitindo novas interpretações de fenômenos que eram supostamente conhecidos.

No tempo de Aristóteles dizia-se que eram quatro os elementos que compunham todo o tipo de matéria: terra, ar, fogo e água. Mas mesmo neste tempo já se sabia da existência de outras substâncias como cobre, prata, ouro e enxofre, que não podiam ser decompostas em nenhum dos quatro elementos propostos como

fundamentais. Estas substâncias: cobre, ouro, prata, ferro, chumbo e mercúrio e etc, conhecidas desde há muitos milhares de anos, são hoje reconhecidas como sendo elementos químicos. Embora o número de elementos seja relativamente pequeno, o número de combinações que se pode realizar com eles é muito grande, e é isto que origina um número grande de substâncias diferentes.

Mas se um elemento não pode ser separado em constituintes mais simples, o que ocorre se dividirmos um pedaço de um dado elemento, ouro, por exemplo, em pedaços cada vez menores? O último pedacinho que ainda é ouro é chamado de um átomo de ouro e, portanto, átomo é o menor pedaço de um elemento e que ainda armazena as propriedades do elemento.

Por volta de 1900, as pessoas pensavam nos átomos como bolas permeáveis com pequenas quantidades de carga elétrica vibrando internamente.

Mas de que são constituídos os átomos? A resposta mais atual e aceitável diz que o átomo é constituído por um núcleo cercado por um envoltório de elétrons. E este núcleo é composto por prótons e nêutrons. Estes constituintes dos átomos são chamados por nomes diferentes porque possuem propriedades diferentes (carga elétrica, massa, spin, etc).

Além disso, experimentos que "olharam" o interior de um átomo usando sondas de partículas indicaram que os átomos tinham estrutura e que não eram somente bolas permeáveis. Esses experimentos ajudaram na determinação de que os átomos têm um minúsculo núcleo denso, positivo, e uma nuvem de elétrons negativos (e^-) representado na figura 1.

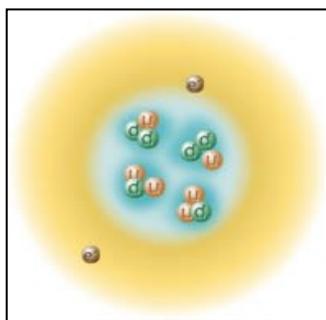


Figura 1 : Modelo Atômico Moderno

Os físicos descobriram que os prótons e os nêutrons são compostos de partículas ainda menores chamadas **quarks**.

De acordo com as teorias modernas dizemos que a matéria é formada por elétrons, prótons e nêutrons. A diferença entre um elemento químico e outro é

determinada pelo número de prótons que seu núcleo possui. Se dois átomos tiverem mesmo número de prótons, mas diferente número de nêutrons, eles são do mesmo elemento, mas não são a mesma coisa. Quando isto ocorre, dizemos que são *isótopos*. Às vezes é interessante se referir aos diferentes tipos de núcleos chamando-os de *nuclídeos*.

A Radioatividade é um processo no qual um núcleo com **Z** prótons e **N** nêutrons, pode se transformar em outro núcleo com **Z** e **N** diferentes. Esta transformação é chamada desintegração nuclear, sendo acompanhada por emissão de radiação. Por este motivo, os núcleos instáveis são chamados de radioativos. A liberação de energia se deve a um grau de instabilidade interna do átomo que, ao se converter em outro átomo, alcança um grau maior de instabilidade.

4. A descoberta da Radiação

Becquerel verificou que qualquer composto de urânio, incluindo aqueles que não eram fluorescentes, sensibilizavam as chapas fotográficas do mesmo modo que as substâncias fluorescentes. Veja o que Becquerel disse:

Todos os sais de urânio que estudei(...), quer em forma de cristal ou em solução, deram-me resultados correspondentes. Eu chequei à conclusão de que o efeito é devido à presença do elemento urânio nestes compostos, e que o metal dava efeitos mais evidentes que seu composto. Um experimento realizado algumas semanas atrás confirmou esta conclusão; o efeito sobre chapas fotográficas, produzido pelo elemento, é muito maior do que o produzido por um de seus sais, particularmente pelo sulfato duplo de uranila e potássio.

Desta forma estava, quase acidentalmente, descoberta a radioatividade (atividade de emitir raios), a qual não tem nenhuma relação com a fluorescência.

Os cientistas da época ficaram bastante excitados com a nova descoberta. O fato de o urânio emitir continuamente radiação penetrante, semelhante aos raios-X, sem auxílio de luz, de calor, ou de qualquer outra coisa, foi um mistério fascinante no fim do século XIX. Vários cientistas continuaram a pesquisar intensamente tudo que estivesse relacionado com a radioatividade. Dentre estes cientistas dois se destacaram: Marie Sklodowska Curie, e Pierre Curie. Estes cientistas descobriram dois novos elementos radioativos. Um deles recebeu o nome de polônio (originário de minérios de urânio, chamados de pechblendas) em homenagem à Polônia, pátria de Marie Curie. O outro recebeu o nome de rádio, devido à intensa radiação que emitia.

Num sentido amplo radiação é aquilo que irradia (emite raios) de algum lugar. Em física o termo se refere usualmente a partículas e campos que se propagam (transferindo energia) no espaço (preenchido ou não de matéria).

A radiação pode ser de natureza particulada ou ondulatória (ou eletromagnética). A radiação de natureza particulada é caracterizada por sua carga (carregada ou neutra), sua massa (leve ou pesada) e sua velocidade (rápida ou lenta). Prótons, nêutrons e elétrons ejetados de átomos ou núcleos atômicos são exemplos de radiação particulada.

A radiação de natureza ondulatória ou eletromagnética é constituída de campos elétricos e magnéticos oscilantes, e se propagam com velocidade constante num determinado meio, chegando ao valor máximo no vácuo (300.000 Km/s). Ondas de rádio, ondas luminosas (luz), raios infravermelhos, raios ultravioletas, raios-X e raios gama são exemplos de radiação eletromagnética. Suas características são as características ondulatórias: a amplitude, o comprimento e a frequência.

Max Planck (1858-1947) em 1901, e Albert Einstein (1879-1955) em 1905, iniciaram a formulação da teoria dos quanta, na qual diziam que a radiação eletromagnética é emitida e se propaga descontinuamente em pequenos pulsos de energia, chamados de pacotes de energia, fótons ou quanta. Mesmo sem possuir carga ou massa, carregam energia e momento.

As radiações (particuladas ou ondulatórias) podem ser ionizantes ou não ionizantes. A ionização acontece quando a energia da radiação incidente sobre um material é suficiente para arrancar elétrons dos seus átomos. A radiação é dita não ionizante quando sua energia não é suficiente para arrancar elétrons dos átomos. Neste caso pode ocorrer a excitação do átomo, onde elétrons são levados a níveis orbitais mais externos do átomo, sem serem ejetados.

A unidade padrão do Sistema Internacional (SI) para energia é o Joule mas, por ser uma unidade macroscópica na escala humana, não é conveniente seu uso em fenômenos atômicos. No domínio atômico usamos o elétron-volt (eV), definido como a energia que um elétron adquire ao atravessar uma diferença de potencial de 1 volt:

$$1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

A incidência da radiação sobre uma determinada matéria pode provocar alterações na estrutura atômica desta matéria.

5. Decaimento Radioativo

Os estudos realizados sobre o fenômeno da radioatividade, a partir do final do século XIX, comprovaram a existência de três tipos de radiações emergentes do interior dos átomos (núcleo): os raios alfa, beta e gama.

Raios Alfa (α). De natureza eletropositiva e identificados como feixes de núcleos de hélio⁶, os raios alfa são altamente energéticos e emitidos pelos elementos radioativos a milhares de quilômetros por segundo. São também chamadas partículas alfas. Apesar de seu elevado conteúdo energético possuem baixa penetrabilidade e são facilmente detidos por folhas de papel, de alumínio e de outros metais, conforme apresentado na tabela 1.

Tabela 7: Alcance das partículas alfas

Energia (MeV)	Alcance (cm)		
	Ar	Tecido Humano	Alumínio
1,0	0,55	$0,33 \cdot 10^{-2}$	$0,32 \cdot 10^{-3}$
2,0	1,04	$0,63 \cdot 10^{-2}$	$0,61 \cdot 10^{-3}$
3,0	1,67	$1,00 \cdot 10^{-2}$	$0,98 \cdot 10^{-3}$
4,0	2,58	$1,55 \cdot 10^{-2}$	$1,50 \cdot 10^{-3}$
5,0	3,50	$2,10 \cdot 10^{-2}$	$2,06 \cdot 10^{-3}$

Fonte: OKUNO; CALDAS; CHOW. Física para Ciências Biológicas 1986

Raios Beta (β). Também chamados de partículas beta, de carga negativa (β^-) ou positiva (β^+). A emissão de radiação beta é um processo mais comum entre os núcleos leves ou de massa intermediária que possuem um excesso de nêutrons (emite β^- , transformando os nêutrons em prótons) ou um excesso de prótons (emite β^+ , transformando os prótons em nêutrons).

Os raios betas são identificados como partículas de alta energia expelidas pelos núcleos de átomos radioativos. As partículas betas possuem menor energia que as alfa, mas apresentam maior poder de penetração, razão pela qual ultrapassam a barreira das lâminas metálicas finas usadas para deter as partículas alfa. Para isolar a radiação beta, é necessário usar lâminas muito mais espessas.

Na tabela 2 apresentamos o poder de alcance das partículas Beta.

Tabela 8 : Alcance das partículas Betas.

Energia (MeV)	Alcance (cm)
---------------	--------------

⁶ Hélio – 2 Prótons e 2 neutrons.

Partícula Beta	Ar	Tecido Humano	Alumínio
0,01	0,23	$0,27 \cdot 10^{-3}$	-
0,1	12	$1,51 \cdot 10^{-2}$	$4,3 \cdot 10^{-3}$
0,5	150	0,18	$5,90 \cdot 10^{-2}$
1,0	420	0,50	0,15
2,0	840	1,00	0,34
3,0	1260	1,50	0,56

Fonte: OKUNO; CALDAS; CHOW. Física para Ciências Biológicas 1986

Raios Gama (γ). Eletricamente neutros e constituídos de radiação eletromagnética (fótons) de frequência superior ao do espectro da luz visível e a dos raios X, os raios gama são emitidos quando os núcleos efetuam transições, por decaimento alfa, de estados excitados para os de energia mais baixa. Sua energia e capacidade de penetração dificultam sua manipulação. A excessiva exposição dos tecidos vivos a esses raios ocasiona malformações nas células, que podem provocar efeitos irreversíveis. Na tabela 3 apresentamos os níveis de penetração ou camada semi-redutora dos raios gama.

Tabela 9: Camada semi-conduta para os raios-X ou gama

Energia (MeV)	Camada Semi-redutora (cm)	
	Tecido Humano	Chumbo
Raios X ou Gama		
0,01	0,13	$4,5 \cdot 10^{-4}$
0,05	3,24	$0,8 \cdot 10^{-2}$
0,1	4,15	$1,1 \cdot 10^{-2}$
0,5	7,23	0,38
1,0	9,91	0,86
5,0	23,10	1,44

Fonte: OKUNO; CALDAS; CHOW. Física para Ciências Biológicas 1986

Atualmente, sabe-se que existem também radiações devidas à fissão espontânea do núcleo, que são observadas em núcleos pesados como os de urânio, plutônio e netúnio. Essa radiação ocorre devido à quebra espontânea do núcleo em dois núcleos mais leves, com liberação de nêutrons.

A experiência provando as características das radiações foi realizada por Marie Curie. Uma amostra radioativa (radio) foi colocada em uma cavidade de um bloco de chumbo e os raios que emergiam foram direcionados para passar entre os polos de um ímã. As trajetórias das radiações eram desviadas quando passavam através do

campo eletromagnético e eram por fim detectadas ao se chocarem com uma chapa fotográfica (filme), conforme demonstra a figura 2:

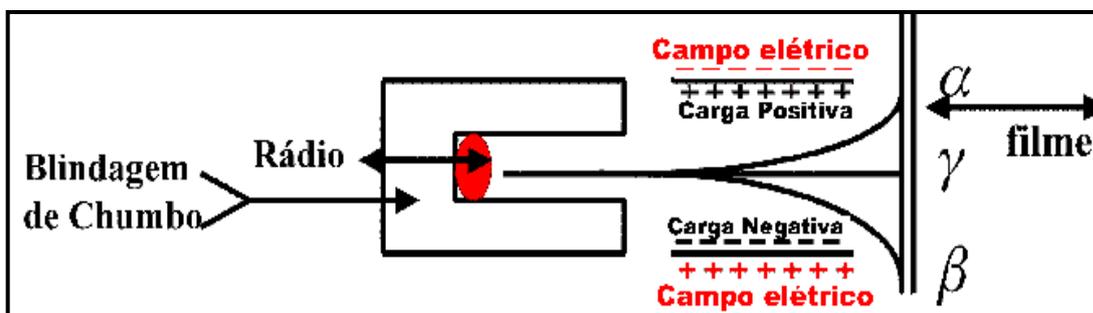
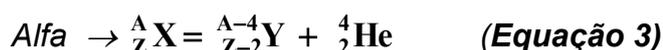


Figura 2: Experiência que demonstra a existência das radiações naturais.

(Adaptado de Willians, et alli, 1971)

Após a confirmação das hipóteses enunciadas por Ernest Rutherford (1871-1937) e Frederick Soddy (1877-1956), segundo as quais a radioatividade resulta da transmutação de elementos químicos em outros, o próprio Soddy e Kasimir Fajans enunciaram as leis que levam seus nomes e que determinam os produtos finais de uma decomposição radioativa, resumidas na chamada lei do decaimento radioativo: O átomo radioativo que decai pela emissão de uma partícula alfa se transforma num elemento químico diferente, com dois prótons a menos em seu núcleo e com quatro unidades de massa atômica a menos; se o decaimento resulta da emissão de uma partícula beta, seu número atômico se eleva uma unidade, observadas nas equações 01 e 02.



Quando um elemento emite uma partícula alfa (libera 2 prótons e 2 nêutrons), tanto o número de massa quanto o número atômico diminuirão (o primeiro de 4 unidades e o segundo de 2 unidades).

Vejamos agora a partícula beta: ela não altera o número de massa do nuclídeo que desintegrou, no entanto, o número de prótons do núcleo (número atômico **Z**) aumenta, e como é o número de prótons que caracteriza um dado elemento, quando um nuclídeo emite um beta ele se transforma em um nuclídeo de outro elemento (a este processo chamamos de decaimento radioativo).

Em muitos núcleos o decaimento através de partículas alfa e beta é seguido da emissão de energia em forma de uma onda eletromagnética. Esta onda é chamada radiação gama (γ).

Quanto à sua natureza, esta radiação é do mesmo tipo da radiação X (raios-X) ou da radiação luminosa, por exemplo. Comparando sua energia, no entanto, verifica-se que ela é muito maior do que a da luz visível e em muitos casos maior do que a dos raios-X. Não é, no entanto, sua energia que a caracteriza e sim sua origem. Isto significa que se observarmos uma radiação X e uma radiação gama de mesma energia não a diferenciaremos fisicamente; sua caracterização é feita somente se soubermos se ela se originou no núcleo ou no envoltório eletrônico.

No interior do núcleo os prótons e os nêutrons interagem muito intensamente devido a força nuclear. Para esta interação não existe diferença entre prótons e nêutrons de forma que estas partículas interagem de maneira indistinta e às vezes as chamamos simplesmente de núcleons. Devido ao curto alcance destas forças⁷ somente núcleons muito próximos interagem entre si.

Existe, também no núcleo, uma interação entre partículas com carga dando origem às forças elétricas que são muito fracas se comparadas às forças nucleares; no entanto, sua atuação é de um alcance muito maior. Quando prótons e nêutrons estão no núcleo existe uma competição entre estas forças: as forças nucleares de curto alcance querem manter os núcleons juntos e a força elétrica quer separar os prótons (partículas com carga) e, portanto, tenta desmanchar o núcleo.

Para muitos núcleos a força nuclear sai vencedora, mas para núcleos pesados há um delicado balanço entre as duas forças opostas. Para núcleos com muitos prótons e muitos nêutrons, a força elétrica continua atuando sobre os prótons, mas a força nuclear, por ser de curto alcance, não atinge todos os núcleons atuando apenas sobre alguns núcleons muito próximos. Estes núcleons com número de massa grande e instáveis podem se transformar em núcleos com núcleons mais fortemente ligados através de um decaimento alfa ou beta.

6. Radiatividade Natural

As transformações sofridas pelos elementos radioativos, existentes na natureza num total de aproximadamente quarenta permitem agrupá-los em três séries, chamadas séries de desintegração radioativa, nas quais os elementos se convertem uns nos outros por sucessivas emissões alfa e beta (a emissão gama não produz intrinsecamente alterações nucleares).

⁷ As forças nucleares e fraca só atuam em distâncias da ordem de 10^{-13} cm ou menos

Os elementos ${}_{90}^{232}\text{Th}$, ${}_{92}^{238}\text{U}$ e o ${}_{95}^{235}\text{U}$, encabeçam as séries ou famílias radioativas naturais. Cada um deles se desintegra inicialmente por emissão de partículas ${}^4_2\alpha$, dando origem a um segundo elemento que também irá se desintegrar (por alfa ou beta), gerando um terceiro elemento, e assim sucessivamente até o último elemento gerado em cada série, seja um isótopo estável do chumbo ($Z=82$).

(1) Série do urânio, a partir do isótopo 238 do urânio chega-se ao chumbo estável (206). Ao dividirmos o número de massa (A) de qualquer elemento da série por 4 teremos um resto de 2 ($A=4n+2$);

(2) Série do tório, inicia com o isótopo 232 do tório termina com o chumbo estável (208). Ao dividirmos o número de massa A de qualquer elemento da série por 4 teremos um valor exato ($A=4n$);

(3) Série do actínio, partindo do isótopo 235 do urânio (o Actínio) finaliza com o chumbo estável (207). Se dividirmos o número de massa A de qualquer elemento da série por 4, a divisão dará sempre resto 3 ($A=4n+3$). Esta sequência é empregada nos processos de fusão ou ruptura nuclear.

Há ainda uma quarta série, a série do netúnio, que começa com o isótopo 237 do netúnio, que tem meia-vida de dois milhões de anos. Os elementos que integram essa série não ocorrem naturalmente; são produzidos artificialmente por reações nucleares.

Alguns radionuclídeos não estão inclusos em nenhuma das séries acima citadas, pois eles têm origem cósmica (chamados elementos de medida espectral de radiação de fundo) e estaremos descrevendo-os mais especificamente no próximo item. Como exemplo podemos citar o potássio natural K^{39} , encontrado no material que constitui as paredes de construção ou mesmo no solo abaixo dela. Este elemento apresenta 0.012 % do radioisótopo K^{40} , o qual decai com uma meia-vida de $1,3 \cdot 10^9$ anos.

7. Radioatividade Artificial

Reação de transmutação artificial é toda reação nuclear provocada pelo homem. A transformação artificial de um átomo de determinado elemento químico em outro átomo de elemento químico diferente pode ser conseguida bombardeando-se os átomos (denominados alvos) com partículas aceleradas (denominadas projéteis). O produto desse bombardeamento tanto pode ser um isótopo natural do elemento

químico como pode ser um isótopo artificial. A radioatividade artificial foi descoberta pelo casal Curie num estudo dos efeitos do bombardeio de partícula α sobre os núcleos de elementos leves. Depois da descoberta de que esta reação conduzia a produtos radioativos foi encontrado que reações nucleares induzidas por prótons, deuteron, nêutrons e fótons também resultavam em produtos radioativos.

7.1 Fissão Nuclear

Alguns anos antes da segunda guerra mundial vários grupos de pesquisadores tentavam obter novos elementos químicos com $Z > 92$, bombardeando o urânio com nêutrons. Em janeiro de 1939 os alemães Otto Hahn (1879-1968) e Fritz Strassman (1902-1986) anunciaram a presença de bário, lantânio e criptônio numa amostra de urânio bombardeada com nêutrons. Nos meses que se seguiram, esse processo passou a ser mais bem compreendido e chamado de fissão nuclear. *Fissão Nuclear é o processo de quebra de núcleos grandes em núcleos menores, liberando uma grande quantidade de energia.*

A palavra fissão significa partição, quebra, divisão. Desta forma, fissão nuclear é a quebra de um núcleo atômico pesado e instável através de bombardeamento desse núcleo com nêutrons moderados, originando dois núcleos atômicos médios, mais 2 ou 3 nêutrons e uma quantidade de energia.

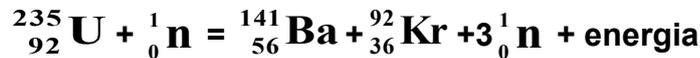
O nêutron, ao atingir um núcleo de urânio, provoca sua quebra em dois núcleos menores e a liberação de mais nêutrons que, por sua vez, irão atingir outros núcleos e provocar novas quebras. É uma reação em cadeia, análoga ao início de uma epidemia de gripe: uma pessoa transmite o vírus para duas, que o transmite para quatro, daí para oito, e assim por diante.

Como os nêutrons não possuem carga elétrica não sofrem desvio de sua trajetória devido ao campo eletromagnético do átomo. Estando muito acelerado (energia na ordem de 1 MeV) atravessariam completamente o átomo; estando a uma velocidade muito lenta, seriam rebatidos; mas com velocidade moderada (energia da ordem de 10 eV) ficam retidos, e um novo núcleo é formado. Ele é instável e sofre desintegração posterior com emissão de partículas beta. Somente alguns átomos são capazes de sofrer fissão, entre eles o Urânio-235 e o Plutônio-239.

A enorme quantidade de energia produzida numa fissão nuclear provém da transformação da matéria em energia. Na fissão nuclear há uma significativa perda de massa, isto é, a massa dos produtos é menor que a massa dos reagentes. Tal

possibilidade está expressa na famosa equação de Einstein: $E=mc^2$. No processo de fissão, cerca de 87,5% da energia liberada aparece na forma de energia cinética dos produtos da fissão e cerca de 12,5% como energia eletromagnética.

Vejamos um exemplo: a fissão do $^{238}_{92}\text{U}$:



Para calcularmos a quantidade de energia liberada realizaremos o cálculo da diferença de massa antes e depois da emissão dos 3 neutrons:

Para o $^{238}_{92}\text{U}$ temos massa igual a: 235,04390 u.m.a.

Para o ${}^1_0\text{n}$ temos massa igual a: 1,008665 u.m.a.

Temos, então: → 236,052565 u.m.a.

Após a emissão temos:

Para o $^{141}_{56}\text{Ba}$ temos massa igual a: 140,9139 u.m.a.

Para o $^{92}_{36}\text{Kr}$ temos massa igual a: 91,9 u.m.a.

Para os $3{}^1_0\text{n}$ temos massa igual a : 3,025995 u.m.a.

Temos, então: → 235,839895

A perda de massa atômica foi de 0,21267 u.m.a., e sabendo que 1 u.m.a. é igual a $1,66 \cdot 10^{-27}$ kg, usando a equação $E=m \cdot c^2$ teremos que:

$$E = (0,21267 \times 1,66 \cdot 10^{-27}) \cdot (3 \cdot 10^8)^2 = 3,1810^{-11} \text{J}$$

Temos que 1 J equivale a $6,25 \cdot 10^{12}$ MeV e transformando J em MeV teremos = $3,18 \cdot 10^{-11} \text{J} \times 6,25 \cdot 10^{12} = 198,75 \text{ MeV}$.

Reação em cadeia é um conjunto de reações de fissão nuclear que se inicia, geralmente, pelo bombardeamento com nêutrons e que continua espontaneamente pela captação de nêutrons originados de fissões anteriores.

Se a massa físsil de urânio (massa de urânio que sofre fissão) for muito pequena, os nêutrons não serão captados por outros núcleos de urânio e a reação não terá continuidade. Portanto: *Massa crítica é a massa mínima da substância físsil que ainda possibilita a ocorrência de uma reação em cadeia.* Para o urânio²³⁵ a massa crítica é de aproximadamente 3,25 Kg.

Então para que a reação em cadeia se sustente devem ser observados os seguintes itens:

1º) A concentração de Urânio²³⁵ na massa a ser bombardeada dever ser da ordem de 98%, pois o urânio²³⁸ absorve os nêutrons diminuindo a probabilidade e a extensão da reação em cadeia.

2º) A massa de Urânio deve ser tal que o número de nêutrons gerados na fissão dos núcleos desses átomos que venham a causar a fissão do núcleo dos átomos vizinhos seja maior que o número de nêutrons que escapam da massa físsil para o meio ambiente.

Alguns elementos químicos, como o boro, na forma de ácido bórico ou de metal, e o cádmio, em barras metálicas, têm a propriedade de absorver nêutrons, porque seus núcleos podem conter ainda um número de nêutrons superior ao existente em seu estado natural, resultando na formação de isótopos de boro e de cádmio. A grande aplicação do controle da reação de fissão nuclear em cadeia é nos Reatores Nucleares para geração de energia elétrica.

A velocidade de uma reação em cadeia pode ser de dois tipos: não-controlada e controlada. No primeiro caso, a reação ocorre muito rapidamente (em menos de 1 segundo), liberando enorme quantidade de energia. É o que acontece, por exemplo, na explosão da bomba atômica. No segundo caso, a reação é controlada pelos chamados reatores de fissão nuclear, o que permite aproveitar a energia liberada e evitar explosões.

7.2 Fusão Nuclear

Muitas pessoas dizem que o sol é uma bola de fogo. O que estará em queima lá, então? Na verdade, nada está queimando. No sol, bem como em outras estrelas, está ocorrendo um processo denominado "fusão nuclear".

Na figura 3, apresenta-se as explosões do sol.

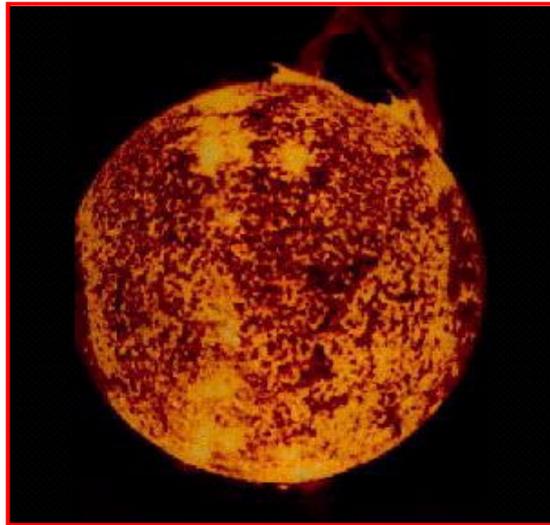


Figura 3: Foto do Sol e de suas explosões

Fusão Nuclear é a junção, união de núcleos pequenos, formando núcleos maiores e liberando uma quantidade muito grande de energia.

Para ocorrer fusão nuclear é necessário que os núcleos estejam muito próximos para que a força de atração nuclear supere a força de repulsão coulombiana (elétrica). Isso porque, sendo os núcleos positivamente carregados, aparece uma força de repulsão elétrica que tende a separá-los. Para os núcleos se aproximarem ao ponto em que a atração nuclear seja suficiente para fundi-los é necessário que a energia cinética associada a cada um seja grande. Sabemos que energia cinética grande significa alta velocidade ou altas temperaturas (pelo menos da ordem de 10 milhões de graus Celsius). O Sol é uma imensa bola de hidrogênio onde a temperatura é suficiente para que ocorra a fusão de átomos de hidrogênio, formando átomos mais pesados e liberando a energia que chega até nós na forma de luz e calor. Uma das reações que acontecem no sol é quando um átomo de deutério se funde com um átomo de trítio, formando um átomo de hélio e liberando grande quantidade de energia.

A energia liberada na reação de fusão não chega a ser maior que na fissão nuclear, porém é preciso menos material para produzir a mesma energia. Aproveitar a energia da fusão nuclear em usinas seria extremamente vantajoso, pois o hidrogênio (seu isótopo, o deutério) pode ser obtido a partir da água do mar a baixo custo, o

rendimento energético da fusão é alto e o lixo resultante é bem menos perigoso que o lixo da fissão, contendo apenas um nuclídeo radioativo, o trítio.

A quantidade de Deutério existente na água do mar está na razão de 1:6.500, ou seja, um átomo de deutério em cada 6.500 átomos de hidrogênio. Pelo seu alto rendimento energético teremos que em um metro cúbico de água do mar tem, aproximadamente, $12 \cdot 10^{12}$ J o que corresponde aproximadamente a $2 \cdot 10^3$ barris de petróleo.

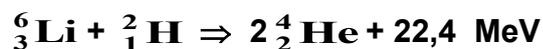
Como relatamos anteriormente, uma das primeiras reações de fusão obtida foi a de dois dêuterons (núcleos do isótopo do hidrogênio, deutério), como segue esquema abaixo:



Em 1939 o astrofísico Hans Bethe sugeriu que a grande quantidade de energia do Sol e outras estrelas é devida à fusão nuclear. As grandes temperaturas existentes em uma estrela são suficientes para produzir a fusão dos núcleos de hélio, com a correspondente liberação de energia. O resultado de tal reação é a seguinte:



A bomba de hidrogênio funciona à base de fusão nuclear. Uma das reações possíveis em uma bomba H é a formação de partículas alfa e uma grande quantidade de energia a partir de um composto de lítio e hidrogênio, ${}^6_3\text{Li}$, ${}^2_1\text{H}$. Esta reação é iniciada submetendo-se o composto a temperaturas e pressões extremamente elevadas usando uma reação fissão como detonador:



Estes 22,4 MeV distribuídos por 8 núcleons, significando 2,8 MeV por núcleon, supera em muito a fissão do Urânio, por exemplo, que é de 0,790 MeV por núcleon. Infelizmente, o problema da liberação da energia de fusão em quantidades controladas não foi ainda resolvido. Todavia, estão sendo realizadas pesquisas para controlar esta promissora fonte de energia. O grande empecilho está na temperatura necessária. Uma reação do tipo: 4 prótons se unirem para formar o núcleo de um átomo de hélio com liberação de pósitrons exige, para ser iniciada, uma temperatura da ordem de cem milhões de graus Celsius (10^8 °C).

8. Interação da Radiação com a Matéria

8.1 O Raio- X

Uma das primeiras descobertas após a identificação dos elétrons foi a dos Raios-X pelo físico Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923) em 1895. Essa tem sido considerada a pedra fundamental na estrada que leva a física de nossos dias.

Na tarde de 8 de novembro de 1895, após o trabalho, Röntgen, reitor da Universidade Wurzburg na Alemanha, resolveu continuar alguns experimentos que fazia no laboratório de sua casa. Antes de cair a noite um acaso o ajudaria a descobrir os raios-X. Foi naquela tarde que o homem ganhou a incrível capacidade de ver o invisível.

Como muitos físicos da época, Röntgen pesquisava o tubo de raios catódicos, inventado alguns anos antes pelo inglês William Crookes (1832-1919). Era um tubo de vidro dentro do qual um condutor metálico aquecido emitia elétrons, então chamados raios catódicos, em direção a outro condutor. Quando Röntgen ligou o tubo naquele dia algo muito estranho aconteceu: perto do tubo uma placa de um material fluorescente chamado platino cianeto de bário brilhou. Ele desligou o tubo e o brilho sumiu. Ligou de novo e lá estava ele. O brilho persistiu mesmo quando Röntgen colocou um livro e uma folha de alumínio entre o tubo e a placa. Algo de estranho era emitido de dentro do tubo, que atravessava barreiras e atingia o platino cianeto de bário.

No dia 22 de dezembro ele fez a radiação atravessar por 15 minutos a mão da mulher, Bertha, atingindo, do outro lado, uma chapa fotográfica. Revelada a chapa, viam-se nela as sombras dos ossos de Bertha, na primeira radiografia da história. Fascinado, mas ainda confuso, Röntgen decidiu chamar os raios de "X" - símbolo usado em ciência para designar o desconhecido.

A radiação X é uma radiação eletromagnética e, como tal, é constituída de pacotes de energia (fótons) transmitido em forma de um movimento ondulatório, representado pela oscilação de campos elétricos e magnéticos perpendiculares entre si, não necessitando de meio material para sua propagação. Os raios-X são emitidos quando elétrons atômicos sofrem mudança de órbita (nível atômico).

A quantidade de energia de cada fóton está relacionada ao comprimento de onda da radiação. Observa-se que a energia do fóton (E) é diretamente proporcional

ao inverso do comprimento de onda da radiação ($1/\lambda$), de forma que podemos escrever $E=h\nu$, onde h é a constante de Planck⁸ e ν é frequência da radiação ($\nu=1/\lambda$).

A interação da radiação gama ou X com a matéria é marcadamente diferente da que ocorre com partículas carregadas. A penetrabilidade dos raios gama ou X é muito maior devido ao seu caráter ondulatório, e sua absorção depende do tipo de interação que provoca. Há vários processos que caracterizam a interação (absorção ou espalhamento) da radiação gama ou X com a matéria. Esses processos dependem essencialmente da energia da radiação e do meio material que ela atravessa. Os fótons não têm massa propriamente dita (massa de repouso nula) e não transportam carga elétrica, portanto produzem ionização somente indiretamente quando incidem sobre os átomos. Quando o fóton (gama ou X) interage com a matéria sua energia é transferida para esta por uma variedade de mecanismos alternativos, sendo que os 3 efeitos secundários mais importantes são: efeito fotoelétrico, Efeito Compton e Formação de Pares.

8.2 Efeito Fotoelétrico

Efeito fotoelétrico é ocorre quando os elétrons podem ser extraídos de uma superfície metálica quando a luz ultravioleta incide sobre a superfície metálica, conforme descoberto por Heinrich Hertz (1857-1897) em 1887. A energia cinética do fóton ejetado (T) é dada pela diferença entre as energias do fóton incidente ($h\nu$) e a energia de ligação do elétron ao orbital ($E_{\text{ligação}}$), descrita na equação abaixo:

$$T = h\nu - E_{\text{ligação}}$$

onde h é a constante de Planck e ν é a frequência do fóton incidente. Esta equação foi proposta por Einstein e explica o fenômeno fotoelétrico. Por causa dela ele foi agraciado com o prêmio Nobel em 1916.

A direção de saída do fotoelétron com relação a incidência do fóton varia com a energia do fóton. Assim, para energia acima de 3MeV, a probabilidade de o fotoelétron ser ejetado para frente é bastante grande; para energias abaixo de 20keV a probabilidade de sair para o lado é máxima para um ângulo de aproximadamente 70°. Na figura 5 há a representação gráfica do efeito fotoelétrico:

⁸ Constante de Planck = $6,63.10^{-34}$ J.s

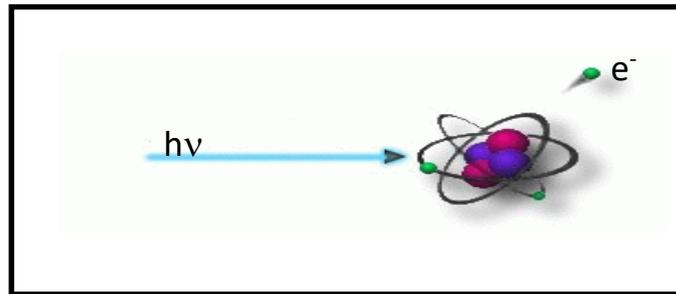


Figura 4: Efeito Fotoelétrico

Hertz também descobriu que uma descarga elétrica entre dois eletrodos ocorre mais facilmente quando se faz incidir sobre um deles luz ultravioleta. Lenard em 1900, medindo a razão e/m para fotoelétrons, mostrou que esta é mesma que para elétrons. Mostrou que a energia cinética dos fotoelétrons é diretamente proporcional à intensidade da luz ultravioleta, mas há uma energia máxima independente da intensidade da luz incidente.

O efeito fotoelétrico é predominante para radiações eletromagnéticas de baixas energias e para elementos de elevado número atômico (Z). O efeito fotoelétrico decresce rapidamente quando a energia aumenta e é proporcional a Z^5 . Por este motivo, é adequado usar blindagem de chumbo para a absorção da radiação γ e da radiação X de baixas energias.

8.3 Espalhamento Compton

Efeito este descoberto por Arthur Holly Compton (1892-1962) em 1923 durante seus estudos sobre espalhamento de raios X pela matéria. A partir daí a natureza corpuscular da luz foi comprovada.

Compton foi capaz de mostrar que, quando um feixe de raios-X monocromático era espalhado por um elemento leve como o carbono, a radiação espalhada consistia em duas componentes: uma do mesmo comprimento de onda que o do feixe incidente, e outra de um componente de onda levemente maior. Compton fez com que um feixe de raios-X de comprimento de onda λ incidisse sobre um alvo de grafite. Mediu, então, a intensidade dos raios-X espalhados como função de seu comprimento de onda, para vários ângulos de espalhamento.

O efeito Compton é o espalhamento no qual o fóton incidente é espalhado por um elétron periférico e pouco ligado ao núcleo, que absorve parcialmente a energia

do fóton incidente, conseqüentemente o fóton terá uma energia menor e uma direção diferente daquela incidente.

A figura 6 representa o efeito Compton:

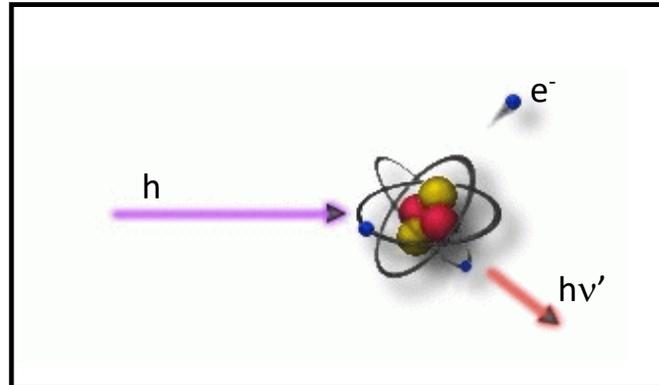


Figura 5: Efeito Compton

O efeito Compton ocorre predominante em energias intermediárias, por exemplo, de 50 keV a 15 MeV para o alumínio Al^{13} , e de 500 keV a 4MeV para o chumbo Pb^{82} , faixa em que a energia de ligação ($E_{\text{ligação}}$) do elétron é desprezível. Dessa forma, a interação do fóton é descrita como um espalhamento por um elétron livre inicialmente em repouso. O efeito Compton depende ainda da densidade do elemento (número de elétrons/cm³) e decresce em função da energia dos fótons, porém não tão rapidamente como o efeito fotoelétrico. O efeito Compton é inversamente proporcional à energia do fóton e, como cada elétron se espalha independentemente, o coeficiente de absorção Compton por átomo é proporcional ao número atômico Z do material absorvedor.

8.4 Formação de Pares

Um outro processo significativo de interação de raios gama é a produção de pares. Este processo ocorre majoritariamente no campo do núcleo do material absorvedor e corresponde à criação do par elétron-positron no ponto do desaparecimento completo do raio gama incidente, ou seja, trata-se de uma transformação de energia em matéria, de acordo com a fórmula de equivalência de Einstein ($E = mc^2$).

A energia $2m_0c^2 = 1,02 \text{ MeV}$ é limiar para o processo, sendo este valor a energia de massa de repouso necessária para criar o par elétron-positron. Este processo de interação, apesar de importante, só ocorre quando se usa feixes de radiação com fótons de energia maior que 1,02 Mev (que equivale a um comprimento

de onda de 0,012 Å). Se o comprimento de onda for menor que isto, correspondendo a uma energia maior que o valor limite, o fóton produz o par com uma certa energia cinética, além da energia de repouso.

A equação a seguir mostra a reação de formação do par elétron-pósitron:



O pósitron, após transmitir, por colisões, sua energia cinética ao meio, volta a se combinar com um elétron e dá origem a 2 fótons, cada um deles com uma energia de 0,511 MeV (energia equivalente à massa de repouso do elétron): $E = mc^2 = 0,511 \text{ MeV}$.

A produção de pares é predominante para elementos de grande número atômico, pois cresce com Z^2 . A produção de pares reforça a teoria quântica, não tendo ela qualquer explicação satisfatória dentro da física clássica, pois é necessário supor que o elétron pode existir em dois conjuntos de estados quânticos, um de energia positiva (incluindo a energia de repouso) e o outro de energia negativa. Pares elétron-pósitron são produzidos na natureza por fótons de raios cósmicos e em laboratório por fótons de “bremsstrahlung” obtidos em aceleradores de partículas. Outros pares de partículas tais como próton e antipróton podem ser produzidos se o fóton tiver energia suficiente.

Intimamente relacionados com a produção de pares está o processo inverso, chamado de aniquilação de pares. Um elétron e um pósitron, estando essencialmente em repouso próximos um do outro, se unem e são aniquilados. A matéria desaparece e em seu lugar obtemos energia radiante. Já que o momento inicial do sistema é zero, e como o momento deve se conservar no processo não podemos ter apenas um fóton criado, pois um único fóton não pode ter momento zero. O processo que tem maior probabilidade de ocorrer é a criação de dois fótons que se movem com o mesmo momento em sentidos opostos.

9. Aplicação das Radiações

Logo após a descoberta dos raios X por Wilhelm Conrad Roentgen, em 1895, os cientistas perceberam que esses raios poderiam ter grandes aplicações práticas. Nos 15 anos que se seguiram os médicos trabalharam ativamente com os físicos no exame de corpos humanos. As primeiras aplicações estão relacionadas às fraturas

ósseas. Com o uso da radiografia se tornou mais fácil diagnosticar vários tipos de enfermidades.

Somente por volta de 1920 é que se iniciaram os estudos relativos à aplicação de raios-X na inspeção de materiais. Hoje em dia, os raios-X são usados na indústria em ensaios não destrutivos, na medicina em radiologia diagnóstica e em terapia, e em pesquisas científicas.

A descoberta da radioatividade artificial e o desenvolvimento dos métodos de produção de radioisótopos em grande escala estimularam muitos pesquisadores ao estudo de suas aplicações em diferentes ramos das ciências. Essas pesquisas trouxeram grandes progressos, principalmente na medicina, na agricultura e na indústria. De fato, os radioisótopos foram muito úteis como traçadores de diagnose ou como fontes de energia na terapia. Sua importância como traçadores se justifica pelo fato que possuem comportamento químico idêntico ao de isótopos estáveis do mesmo elemento e, também, por apresentarem emissão espontânea de radiação que pode ser detectada, indicando assim sua posição e a quantidade.

Como fonte de energia sua utilidade se justifica pelo fato de serem detectáveis após a absorção ou espalhamento pela matéria, ou mesmo por quebrarem moléculas e ionizarem átomos formando íons, iniciando reações químicas ou biológicas. São usados para destruir tecidos, especialmente os cancerosos, ou para suprir alguma função orgânica. As radiações podem também ser produzidas por aceleradores de partículas, que são utilizados em pesquisas na área da Física Nuclear. Sua principal vantagem é a produção de radiação com energia muito maior que as fornecidas por radioisótopos.

9.1. Aplicação das Radiações na Indústria Radiografias e Gamagrafias

Uma das aplicações mais importantes na indústria refere-se ao ensaio não-destrutivo, que usa a propriedade de penetração da radiação na matéria para examinar o interior de materiais e conjuntos lacrados. A radiografia é, portanto, um método não-destrutivo para detectar descontinuidades e heterogeneidades na matéria, e é obtida utilizando-se raios-X. Quando se utiliza a radiação gama obtém-se a gamagrafia. Esses métodos são utilizados para inspecionar a qualidade das soldas, estruturas de navios, componentes de aviões, como motores, asas, etc.

Num processo de inspeção radiográfica, a radiação penetrante, raios-X ou gama, atravessa o espécime em ensaio. Uma parte da radiação é absorvida pelo espécime, e a restante vai impressionar um filme fotográfico, onde se pode visualizar toda a estrutura do corpo de prova ou parte dela. Tanto com a radiografia como com a gamagrafia pode-se analisar desde folhas finas de vegetais até aços com espessuras de cerca de 25 cm.

A escolha da radiação a ser utilizada depende de uma série de fatores como: densidade, espessura do material, forma geométrica do objeto e acesso ao espécime. Atualmente existem cerca de 60 isótopos radioativos que foram e são utilizados com relativo sucesso em gamagrafias industriais. No entanto, cerca de 90% das gamagrafias industriais são feitas utilizando-se apenas 4 radioisótopos: cobalto-60, irídio-192, cézio-137 e túlio-170.

Medida de Espessura ou de Níveis de Materiais.

Baseia-se no fato de que o material, colocado entre a fonte de radiação e o detector, absorve ou espalha parte da radiação. A radiação que atravessa o material e atinge o detector pode dar informação sobre a espessura e a densidade do material. Algumas das vantagens no uso dessa técnica são:

- a) Não ser necessário o contato mecânico com o material a ser medido. Isso é importante quando se trata de materiais corrosivos, tóxicos ou perigosos de manusear;
- b) A medida pode ser feita continuamente e à longa distância.

Essa técnica é frequentemente utilizada para medir níveis de líquidos dentro de recipientes fechados. Uma fonte radioativa flutua sobre o líquido, e o detector é colocado na base inferior. O aumento da intensidade da radiação que atinge o detector indica uma diminuição no nível do líquido.

Medida de Vazamentos

Radioisótopos empregados como traçadores oferecem um método simples, seguro e razoavelmente barato para detectar vazamento de líquidos ou gases, como de petróleo, por exemplo.

Pesquisas sobre desgaste de motores

Materiais radioativos são usados como traçadores na fabricação de motores. A análise do óleo lubrificante poderá fornecer informação sobre o grau de desgaste do

motor; verificando a análise dos resíduos existentes no óleo, nota-se o grau de materiais retirados das paredes do motor.

Conservação de alimentos

Na indústria alimentícia, a radiação pode ser usada com três objetivos:

- a) Evitar que certas raízes ou tubérculos germinem durante o armazenamento, como é o caso de cebolas e batatas;
- b) Eliminar insetos dos grãos, antes do armazenamento;
- c) Preservar alimentos, inibindo ou destruindo as bactérias e outros microrganismos.

A radiação, atuando sobre as substâncias alimentícias ioniza alguns átomos e altera a estrutura de moléculas vitais de bactérias e microrganismos, provocando sua morte. Os alimentos, contudo, não sofrem efeitos nocivos nem se tornam radioativos. Existem, entretanto, certos problemas associados com a esterilização de alimentos como mudança no sabor, na cor e na textura, dependendo do alimento. Em outros casos há diminuição do teor de vitamina.

Esterilização de materiais cirúrgicos

A esterilização pode ser feita de várias maneiras. O método tradicional é por aquecimento do material entre 150°C e 170°C. Por outro lado, radiações suficientemente energéticas podem destruir as bactérias e, portanto, são consideradas agentes esterilizantes.

Um dos problemas introduzidos com a esterilização por radiação é a mudança na estrutura de alguns plásticos, tornando-os quebradiços, o que diminui as chances de reciclagem desses produtos.

Dentre as vantagens dessa técnica, está a possibilidade de esterilizar materiais:

- a) Sem a aplicação de calor, que pode deteriorar o produto, dependendo do caso;
- b) Ainda embalados, por causa do grande poder de penetração da radiação empregada.

9.2 Aplicações na Agricultura

Uma das aplicações mais importantes dos radioisótopos diz respeito à resolução de problemas básicos da produção de alimentos. Alguns dos benefícios trazidos com o uso dos radioisótopos são:

- a) Criação de novas variedades de plantas com características melhoradas;

- b) Capacidade de aumentar e de melhorar a produção de alimentos através do conhecimento do metabolismo vegetal e animal;
- c) Controle ou eliminação dos insetos;
- d) A obtenção de variedades melhoradas de plantas, quando feita naturalmente, requer anos de produção e seleção. Irradiando-se sementes ou plantas é possível aumentar cerca de 1.000 vezes ou mais a taxa de um largo espectro de mutações genéticas.

Dessa forma, pode-se obter plantas que produzam mais, amadureçam num período menor e sejam resistentes a doenças. O estudo do crescimento e do metabolismo das plantas é feito com radioisótopos, utilizando-os como traçadores. Os isótopos mais comumente empregados são: carbono-14, fósforo-32, enxofre-35, cálcio-45, hidrogênio-3, potássio-42.

O processo de absorção dos nutrientes, da água e dos fertilizantes é também pesquisado, podendo-se distinguir entre a absorção pela raiz e pela folhagem. Com isso, obtém-se também informação sobre o local mais adequado para a colocação de fertilizante. A erradicação ou controle de insetos é muito importante na agricultura devido a infestação, depredação e destruição das colheitas alimentares.

9.3. Outras Aplicações Científicas

Análise por ativação com Nêutrons

É uma técnica na qual a amostra é irradiada com nêutrons, a fim de tornar radioativos seus elementos constituintes. Como cada radioisótopo emite um espectro de radiação característico, é possível, por meio deste meio, identificar e medir os elementos presentes na amostra.

Há duas vantagens importantes desse método sobre os outros:

- a) A análise por ativação é não-destrutiva;
- b) Para alguns elementos consegue-se uma sensibilidade muito maior que a obtida pela análise química.

A elevada sensibilidade da análise por ativação, na determinação da presença de certos elementos em quantidade diminuta, tem sido de grande utilidade para as autoridades policiais. O cabelo humano, por exemplo, possui pequeníssimos traços de elementos metálicos, como o sódio, o ouro e o cobre. A análise por ativação do cabelo humano demonstrou que a quantidade desses elementos presentes em cada

fio de cabelo de um indivíduo é relativamente uniforme, mas varia de indivíduo para indivíduo, fato este que pode ajudar na elucidação de um crime.

A morte de um indivíduo por envenenamento pode ser determinada efetuando-se uma análise por ativação do cabelo, descobrindo doses de arsênico, por exemplo, preso ao cabelo. Este processo foi utilizado para demonstrar o gradativo envenenamento de Napoleão Bonaparte.

Também pode ser utilizada para demonstrar a composição de minerais (técnica utilizado com resíduos lunares), determinar a alteração no metabolismo de proteína, a quantidade de sais, etc, em paciente que foram submetidos a neutronterapia.

Estudo da Poluição do ar

A análise da quantidade de poluentes na atmosfera vem sendo feita através do método PIXE (Particle Induced X-ray Emission), em que a amostra de ar coletada é irradiada com prótons ou partículas alfa.

Os prótons ou partículas alfa altamente energéticos ejetam os elétrons dos orbitais mais internos dos elementos constituintes da amostra. Quando os elétrons dos orbitais mais externos passam a ocupar as vacâncias deixadas pelos elétrons ejetados, raios-X característicos são emitidos com energia específica de cada elemento. A detecção e a análise desses raios-X, fornecerão as informações sobre a qualidade do ar da amostra coletada.

Datação por meio da radiação

A datação de peças arqueológicas, de fósseis e de rochas pode ser feita quantitativamente através de dois métodos:

1. Datação por Carbono-14. Por esse método pode-se medir a idade de materiais orgânicos de centenas e até dezenas de milhares de anos. Por outro lado, para determinar a idade das rochas que tem milhões ou bilhões de anos emprega-se um método similar, o do urânio-238.

No ar existe uma pequeníssima fração de carbono-14, em forma de gás carbônico. Para cada 10^{12} átomos de carbono-12 há um de carbono-14. Esses átomos de carbono-14 são gerados por colisões de raios cósmicos, incidentes nas camadas mais externas da atmosfera, com o nitrogênio do ar.

O carbono-14, radioativo, assim gerado se desintegra, e desapareceria por completo se sua geração não fosse contínua na atmosfera.

Os organismos vivos – plantas e animais – absorvem o carbono do ar diretamente, pela fotossíntese, ou indiretamente, pela ingestão de plantas ou animais. O carbono existente nos seres vivos como caules, folhas, tecidos humanos, ossos, etc. contém, portanto, a mesma fração de carbono-14 para o carbono-12 existente no ar.

Quando morre, o organismo cessa de absorver o carbono do ar. A quantidade de carbono-12 se mantém constante. O carbono-14 por sua vez vai se desintegrando sem ser substituído. Portanto, a fração de carbono-14 vai diminuindo. Dessa forma, medindo-se a radioatividade existente no material, pode-se determinar a fração de carbono-12 para carbono-14. A comparação dessa fração com a que havia antes da morte do organismo fornecerá informações para se deduzir a idade.

2. Datação por Termoluminescência – Esse método baseia-se no fato de que muitos cristais podem armazenar energia proveniente da radiação. Quando o cristal é aquecido, essa energia é liberada em forma de luz. Medindo-se a intensidade da luz, a quantidade de energia acumulada pode ser determinada.

No caso de rochas ou de cerâmicas localizadas no subsolo que contenham quartzo, o qual é termoluminescente, a radiação natural é acumulada desde a idade zero. No caso das rochas, essa idade é a época de sua formação e, no caso das cerâmicas, o momento de sua fabricação, em que elas são queimadas a temperaturas superiores a 700°C (eliminando, assim, qualquer radiação acumulada no quartzo antes da fabricação da cerâmica).

A datação da peça é realizada, portanto, determinando-se a quantidade total de radiação acumulada nos cristais e conhecendo-se a radiação de fundo ou natural através da relação:

$$\text{idade} = \frac{\text{radiação natural acumulada}}{\text{radiação natural anual}}$$

10. Bioefeitos da Radiação

10.1 Introdução

Em 1896, quatro meses após a descoberta dos raios-X por Röntgen, o médico J. Daniels notificou à comunidade científica o primeiro efeito biológico da radiação: a queda de cabelo de um de seus colegas, cuja radiografia de crânio havia sido tirada. Em 1899, dois médicos suecos conseguiram curar o tumor de pele na ponta do nariz de um paciente.

Os cientistas aprenderam que a radiação não é apenas fonte de energia e cura, mas também pode ser uma ameaça aos seres vivos, se não for tratada adequadamente. Muitos morreram de doenças induzidas pela radiação a que foram expostos em suas pesquisas. Um ajudante de Thomas Edison, por exemplo, morreu de um tumor como resultado de exposição excessiva aos raios-X.

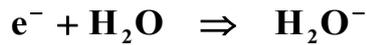
Durante a Primeira Guerra Mundial, uma tinta à base de rádio e fósforo era usada em instrumentos de navegação aérea em aviões de guerra, para permitir que fossem vistos em vôos noturnos. Quando a guerra acabou esta tecnologia foi usada em mostradores e ponteiros de relógios. As mulheres empregadas nesta tarefa costumavam passar as pontas dos pincéis na boca para afinar o traço, e sem saber acabam engolindo pequenas parcelas de rádio e comprometendo sua saúde. Depois de dois anos nove mulheres que eram pintoras de mostrador morreram com uma grave e inexplicável anemia, acompanhada por lesões na boca e na mandíbula. Um dentista que tinha tratado uma destas mulheres, finalmente fez a conexão entre a inflamação do osso da mandíbula com a tinta dos relógios.

Por volta de 1915, a Sociedade Britânica Röntgen adotou uma resolução para proteger as pessoas de superexposição aos raios-X. Por volta de 1922, organizações norte-americanas adotaram as normas inglesas. A conscientização e educação aumentaram e nos anos 1920 e 1930 mais normas foram desenvolvidas e além dos EUA outros países passaram a adotar medidas de prevenção. Nos EUA até 1940 a prevenção e proteção radiológicas não eram assunto de governo. Somente após a Segunda Guerra, e com a explosão de armas atômicas, é que o governo tomou este processo em suas mãos.

10.2 O Núcleo da Célula e a Incidência de Radiação

Dois são os principais tipos de mecanismos pelos quais a radiação pode lesar uma molécula: direta ou indiretamente. Diretamente é quando a radiação age sobre uma molécula importante como a de DNA (Acido Desoxirribonucléico), danificando seu material genético. Indiretamente, através da radiólise, que é quando a radiação age sobre as moléculas de água (H₂O). Na quebra o radical livre Hidroxila (OH) e o produto oxidante peróxido de hidrogênio (H₂O₂ _{aq}) atacam moléculas importante das células. Vejamos então o esquema da radiólise segundo Thomaz Bitelli (1982):





Sendo que os íons H^{+} e OH^{-} não possuem excesso de energia e se recombina para formar água. Os radicais livres H° e OH° são altamente reativos:



Os íons H_2O^{-} e H^{+} se recombina e produzem água oxigenada:



Nosso corpo contém cerca de 75 trilhões de células, que constituem a unidade básica da vida. O componente mais importante da célula e seu centro de controle é o núcleo. Ali se encontram os cromossomos que são formados basicamente pela molécula de DNA.

Uma molécula de DNA, compõe-se basicamente de duas longas cadeias ou fibras de milhões de nucleotídeos, que formam como que uma escada cujas barras seriam a sucessão dos açúcares e dos fosfatos alternados, e as travessas, duas bases unidas entre si e fixadas na outra extremidade aos açúcares alternadamente. No DNA estão os genes que são os responsáveis pelas informações genéticas, é eles que transportam o material genético de uma célula à outra e de uma geração a outra, controlam o bom funcionamento da célula. As células humanas possuem 46 cromossomos agrupados em 23 pares de dois cromossomos, aparentemente idênticos (tamanho, forma, etc), um proveniente do pai, o outro da mãe. Um destes 23 pares é particular, o dos cromossomos sexuais.

Qualquer alteração no número, características ou ordem dos genes ou dos cromossomos que venha a ocorrer no núcleo da célula é chamada de mutação celular. A mutação pode ser espontânea no caso da divisão celular (somática e não transmissível à geração seguinte) ou induzida, no caso da incidência de radiação, provocando ionização da célula e por consequência uma série de reações, desencadeando em últimos casos até na morte do organismo, ou mesmo na indução de mutações no material genético, que produzirá descendências anômalas.

Alguns dos efeitos das radiações no DNA e nos cromossomos podem ser assim resumidos:

- Modificações de bases: adenina, citosina, guanina e, sobretudo timina. Um par de bases pode então encontrar-se ausentes ou ser substituído por outro. A modificação da ordem ou da natureza das bases acarreta uma alteração da informação transportada pelo gene.
- Mudanças de formação do DNA: ruptura de uma das duas fibras (fácil de reparar pela endocuclease), ou ruptura das duas fibras, esta de difícil reparo.
- Lesão por entrecruzamento (cross link): formam-se ligações entre duas cadeias de DNA, ou entre uma cadeia e uma proteína, etc.
- Remodelação na estrutura dos cromossomos: conhecida como mutação genética. Uma ruptura única ou múltipla pode acarretar a perda de um fragmento (deleção), ou mesmo a fixação desse fragmento noutro cromossomo (translação)

Quando dois cromossomos trocam fragmentos deste modo, fala-se de translocação recíproca. O fragmento pode então voltar a soldar-se de maneira anormal no mesmo cromossomo (inversão). As duas extremidades de um cromossomo podem soldar-se e forma um anel; os cromossomos podem soldar-se de novo de maneira mais complexa e forma cromossomos dicêntricos (com dois pontos de junção).

Nem todas as células vivas têm a mesma sensibilidade à radiação. As células que tem mais atividade são mais sensíveis do que aquelas que não são, pois a divisão celular requer que o DNA seja corretamente reproduzido para que a nova célula possa sobreviver. Assim são, por exemplo, as da pele, do revestimento intestinal ou dos órgãos hematopoiéticos. Uma interação direta da radiação pode resultar na morte ou mutação de tal célula, enquanto que em outra célula o efeito pode ter menor consequência.

Assim, as células vivas podem ser classificadas segundo suas taxas de reprodução, que também indicam sua relativa sensibilidade à radiação. Isto significa que diferentes sistemas celulares têm sensibilidades diferentes:

- Linfócitos (glóbulos brancos) e células que produzem sangue estão em constante reprodução e são as mais sensíveis.
- Células reprodutivas e gastrointestinais não se reproduzem tão rápido, portanto, são menos sensíveis.

- Células nervosas e musculares são as mais lentas e, portanto, as menos sensíveis.

10.3 Estágios dos efeitos Biológicos das Radiações

Simplificadamente podemos dizer que as etapas pelo qual as radiações ionizantes desencadeiam reações nos organismos, podem ser descritas em quatro estágios:

- e)** O primeiro estágio tem uma duração muito pequena, da ordem de um quadrilionésimo de segundo, após a incidência da radiação. Neste estágio ocorre o *fenômeno físico da Ionização* e da *excitação de átomos* do corpo humano com a absorção de energia da radiação. Em virtude da transferência da energia cinética para o átomo no processo da ionização, o elétron é ejetado do átomo, e na excitação o elétron ganha energia passando a uma órbita mais energética.
- f)** No segundo estágio, chamado *físico-químico*, as ligações químicas das moléculas são rompidas com a formação de radicais livres que interagem com outras moléculas, gerando diversas reações químicas. Esse estágio tem uma duração também curta de, aproximadamente, um milionésimo de segundo.
- g)** O terceiro estágio tem uma duração de poucos segundos e é um *estágio químico*. Os radicais livres formados anteriormente, que são altamente reativos, ligam-se a moléculas importantes da célula, tais como as proteínas, as enzimas, ou, no pior dos casos, as moléculas de DNA, danificando-as. As células possuem mecanismos que corrigem alguns danos causados pelos radicais livres, ajudados principalmente por vitaminas (C e E) que liberam elétrons que inativam os radicais livres. No entanto é impossível impedir que todos os radicais livres produzam algum dano, e da mesma forma que todos os danos sejam reparados.
- h)** No quarto estágio ocorrem *efeitos bioquímicos e fisiológicos*, produzindo alterações morfológicas e/ou funcionais. Sua duração é variável, desde horas até anos. E seus efeitos também são variáveis dependendo de vários fatores (dose recebida, quantidade de energia, tipo de radiação, tipo de tecido, órgãos atingidos, etc).

10.4 Efeitos Biológicos das Radiações

A sensibilidade à radiação do corpo inteiro depende dos órgãos mais sensíveis, que por sua vez, depende das células mais sensíveis. Sendo que os órgãos mais

sensíveis são aqueles envolvidos com a formação do sangue e o sistema gastrointestinal.

Os efeitos biológicos no corpo inteiro dependerão de vários fatores: dose total, tipo de célula, tipo de radiação, idade do indivíduo, estágio da divisão celular, parte do corpo exposto, estado geral da saúde, volume de tecido exposto e intervalo de tempo em que a dose é recebida. Se uma pessoa já é suscetível a uma infecção e receber uma alta dose de radiação, pode ser mais afetado por ela do que uma pessoa saudável.

Os efeitos biológicos da radiação são comumente classificados em hereditários e somáticos, dependendo da forma pelo qual são afetados.

Efeitos Hereditários

Eles constituem a mutação de células reprodutoras que afetam gerações futuras. Esses efeitos podem surgir quando os órgãos reprodutores são expostos à radiação, e aparentemente não afetam o indivíduo que sofre a exposição, mas apenas seus descendentes.

Quando a radiação atinge as células reprodutoras ou seus precursores, pode ocorrer uma alteração na informação genética codificada, provocando uma mutação genética. Se o espermatozoide ou óvulo que sofreu a mutação for, posteriormente, utilizado na concepção, a alteração será incorporada ao óvulo fertilizado, e durante a gravidez, quando o zigoto se reproduzir milhares de vezes, essa alteração será fatalmente reproduzida. Todas as células do recém-nascido conterão informações genéticas modificadas, incluindo aquelas que anos mais tarde irão se transformar em espermatozoides ou óvulos. Ou seja, quando este indivíduo chegar a fase fértil estará transmitindo adiante as mesmas informações genéticas adquiridas, até mesmo aquelas alteradas. Algumas destas alterações se tornam letais, antes do nascimento do feto, outras produzirão defeitos físicos ou mentais, ou mesmo aumento da suscetibilidade a determinadas doenças crônicas.

Em relação aos efeitos genéticos é interessante levar em consideração que:

- e)** Qualquer dose de radiação, por menor que seja, deve ser considerada nociva, do ponto de vista genético.
- f)** Pequenas doses recebidas durante cada dia, somam-se em seus efeitos no decorrer dos anos, mesmo que ocorram intermitências de longa duração.

g) O efeito populacional das radiações recebidas por uma parte da população (pacientes e profissionais), é idêntico ao que ocorreria se o total recebido por essa parte fosse distribuído por toda a população.

h) A irradiação de uma parcela da população, cuja média de idade é elevada, resultará em efeito diminuto, sobre a composição genética das gerações seguintes, enquanto que a irradiação de crianças e jovens poderá representar ponderável impacto sobre as gerações posteriores.

Efeitos Somáticos

São aquelas que afetam diretamente o indivíduo exposto às radiações. Os efeitos somáticos são, de uma perspectiva ocupacional de risco, os mais significativos, principalmente para os trabalhadores da área que podem ter consequências na sua saúde, a saber, o câncer.

Como já foi relatado a ação das radiações no organismo humano produzem uma série de efeitos, que dependem da região irradiada, bem como a dose e o tempo de exposição. A seguir, segue um resumo dos sintomas clínicos, relativos aos efeitos biológicos imediatos mais prováveis na irradiação do corpo inteiro, com doses agudas:

i) Sangue: Os glóbulos brancos do sangue são as primeiras células a serem destruídas pela exposição, provocando leucopenia e reduzindo a imunidade do organismo. Uma semana após uma irradiação severa as plaquetas começam a desaparecer, e o sangue não coagula. Sete semanas após começam a perda de células vermelhas, acarretando anemia e enfraquecimento do organismo.

j) Sistema linfático: O baço constitui a maior massa de tecido linfático, e sua principal função é a de estocar as células vermelhas mortas do sangue. As células linfáticas são extremamente sensíveis à radiação e podem ser danificadas ou mortas quando expostas.

k) Canal alimentar: Os primeiros efeitos da radiação são a produção de secreções e descontinuidade na confecção de células. Os sintomas são náuseas, vômitos e úlceras no caso de exposição muito intensa.

l) Glândula tireóide: Essa glândula não é considerada sensível à radiação externa, mas concentra internamente iodo-131 (radioativo) quando ingerido, o que causa o decréscimo da produção de tiroxina. Como consequência, o metabolismo basal é diminuído e os tecidos musculares deixam de absorver o oxigênio necessário.

m) Sistema urinário: A existência de sangue na urina, após uma exposição, é uma indicação de que os rins foram atingidos severamente. Danos menores nos rins são indicados pelo aumento de aminoácidos na urina.

n) Ossos: A radiação externa tem pequena influência sobre as células dos ossos, fibras e sais de cálcio, mas afeta fortemente a medula.

o) Olhos: Ao contrário das outras células, as das lentes dos olhos não são auto recuperáveis. Quando estas células são danificadas ou morrem, há formação de catarata ocorrendo perda da transparência dessas células.

p) Os órgãos reprodutores: Doses grandes de radiação podem produzir esterilidade, tanto temporariamente como permanente. Nas mulheres grávidas que foram expostas às radiações no Japão durante a segunda guerra mundial, houve um aumento significativo de partos retardados e mortes prematuras.

Alguns erradamente consideram os **efeitos In-Utero** como uma consequência genética da exposição à radiação, porque o efeito é observado após o nascimento, embora tenha ocorrido na fase embrionária/fetal. No entanto, trata-se de um caso especial de efeito somático, porque é o feto que é exposto à radiação.

Os efeitos podem ser:

- Morte intrauterina.
- Retardamento no crescimento.
- Desenvolvimento de anormalidades.
- Cânceres na infância.

Os efeitos intrauterinos envolvem a produção de mal formações em embriões em desenvolvimento. A radiação é um agente físico teratogênico. Há muitos agentes químicos (como a talidomida) e muitos agentes biológicos (como os vírus que causam sarampo) que também podem produzir malformações enquanto o bebê ainda está no estágio de desenvolvimento embriônico ou fetal.

Os efeitos da exposição in-útero podem ser considerados como subconjunto de uma categoria geral de efeitos somáticos. As más formações produzidas não indicam um efeito genético, pois quem está sendo exposto é o embrião e não as células reprodutivas dos pais.

Antes da fixação do óvulo no útero, isto é, até o décimo dia, os efeitos são relativos. Podem dar origem à morte do óvulo, que passa frequentemente despercebida (não existe ainda atraso nas regras), ou permitir um desenvolvimento

normal, pois as células não possuem qualquer especificidade e as que são destruídas são substituídas por outras com as mesmas potencialidades.

Já durante a embriogênese, isto é, do décimo dia da concepção até ao fim do segundo mês, os tecidos diferenciam-se e a morte de uma ou de várias células, num momento em que o número desta num tecido é ainda muito pequeno, pode alterar o desenvolvimento de um órgão, dando, portanto, origem a uma anomalia grave. Com efeito, neste estágio as células sobreviventes já não podem mudar de orientação e o número de células destinadas a formar cada um dos órgãos encontra-se limitado.

O período em que o risco de radiação provoca mal formação, é máximo da terceira à décima semana da gravidez, para as malformações dos olhos e do esqueleto. Quanto ao cérebro, uma irradiação efetuada entre a oitava e a décima sexta semana pode dar origem ao mal desenvolvimento do sistema nervoso central, em razão da morte ou da falta de migração dos neurônios, o que pode ocasionar um atraso mental. O risco persiste atenuado, até a vigésima quinta semana.

No decorrer do período posterior, os riscos diminuem. Certos dados sugerem a existência de um risco de cancerigêneses no final da gravidez em caso de irradiação, ainda que modesta (alguns cGy), isto traduzir-se-ia por um ligeiro aumento dos cancros da criança e do adulto jovem.

Não se recomenda radiografias que irradiam na bacia das mulheres grávidas entre a terceira e a décima semana, principalmente.

Relação Dose-Efeito

Muito daquilo que se sabe hoje provém de experiências feitas com animais, cuja sensibilidade à radiação pode ser diferente da do ser humano. Entre as espécies isto já é notável, tendo os mamíferos maior susceptibilidade à radiação que as aves ou os peixes. Os vertebrados igualmente são mais sensíveis que os invertebrados. O homem não suporta mais de 10 Gy (1000 rad) enquanto a mosca da fruta suporta doses superiores a 600 Gy e a ameba valores próximos de 1000 Gy.

O próprio homem é mais sensível quando na vida embrionária do que na vida adulta. Na fase embrionária a incidência de doses radioativas superiores a 0,1 Gy pode causar malformações físicas ou mentais congênitas ou ainda propiciar a crianças doenças como asma, bronquite ou mesmo leucemia. Países como a Dinamarca recomendam que para doses como a acima citada sejam recomendado o aborto terapêutico.

Embora muito do que sabemos sobre os efeitos de radiação nos corpos, estão baseadas em experiências sobre animais, foram irradiados números suficientes de seres humanos tal que também são documentados estes efeitos agudos em humanos. Algumas informações são buscadas junto aos sobreviventes de bombardeios atômicos (Hiroxima e Nagasaqui), acidentes nucleares (Chernobyl, Goiânia, Fukushima, etc), pacientes com câncer irradiados terapeuticamente, pessoas expostas à radiação acidental ou ocupacionalmente como médicos radiologistas, cientistas, as mulheres que pintavam os mostradores dos relógios, trabalhadores de minas de urânio e tório, etc.

O efeito primário de uma exposição aguda alta sobre um determinado corpo é a morte, “lethality”, que acontece dentro de dias a semanas depois de exposição. O tempo de morte é dependente na dose dada, e é precedido por um número específico de sinais e sintomas que são relacionados ao dano direto, e morte das células de um sistema de órgãos em particular.

Toda exposição aguda não resulta em morte. Às vezes é difícil entender por que algumas pessoas morrem, enquanto outras sobrevivem depois de serem expostas à mesma dose de radiação.

A principal razão para isto é a saúde dos indivíduos quando expostos e quais são suas capacidades individuais em combater os efeitos incidentais da exposição à radiação, bem como suas sensibilidades a infecções. Na tabela a seguir os valores de dose são o limiar para início do efeito observado em pessoas mais sensíveis à exposição.

Efeitos de Altas Doses	
Dose (Rad)	Efeitos Observados
15—25	Mudança na contagem sanguínea do grupo
50	Mudança na contagem sanguínea de um indivíduo
100	Vômito (limiar)
150	Morte (limiar)
320—360	DL 50/30* com cuidado mínimo
480—540	DL 50/30* com cuidados médicos
1.100	DL 50/30* com cuidados médicos intensivos (transplante de medula)
*DL 50/30 é a dose letal em que 50% dos expostos àquela dose morrerão dentro de 30 dias.	

Além da morte, há outros efeitos de dose de alta radiação.

- **Perda de Cabelo** (*epilação*) é similar aos efeitos na pele e ocorre depois de doses agudas de cerca de 500 Rad.
- **Esterilidade** pode ser temporária ou permanente em homens, dependendo da dose. Em mulheres, é geralmente permanente, mas para isto requer-se doses altíssimas, da ordem de 400 Rad nas células reprodutivas.
- **Cataratas** (turbamento da lente do olho) surgem para um limiar de dose de 200 Rad. Os nêutrons são especialmente relacionados com as cataratas, devido ao fato do olho conter água e esta ser absorvedora de nêutrons.
- **Síndrome Aguda de Radiação (SAR)**: Se vários tecidos importantes e órgãos são danificados, pode-se produzir uma reação aguda. Os sinais iniciais e sintomas de SAR são náusea, vômito, fadiga e perda de apetite. Abaixo de 150 Rad, estes sintomas que são diferentes daqueles produzidos por uma infecção viral podem ser a única indicação externa de exposição à radiação. Acima de 150 Rad, uma das três síndromes de radiação descritas na tabela 8 se manifestam dependendo do nível da dose.

Como observado, nada pode ser executado se a dose for muito alta e destruir o sistema gastrointestinal e o sistema nervoso central. Por isto, nem sempre um transplante de medula é bem-sucedido.

Referências Bibliográficas

RADIAÇÕES NUCLEARES – CNEN – 1984

ASIMOV, Isaac. **O colapso do Universo**. Círculo do livro. São Paulo. 1987

TAUHATA, Luiz; SILVA, Elizaveth. **Radiações Nucleares: Usos e Cuidados**. Publicado pela Comissão Nacional de Energia Nuclear, vol 1, 2^o ed., Rio de Janeiro R. J., 1984.

KAPLAN, Irving. **Física Nuclear**. Editora Guanabara Dois S.A., Rio de Janeiro R.J., 1978.

EISBERG, Robert; RESNICK, Robert. **Física Quântica**. 2 ed. Rio de Janeiro, Campus, 1983.

TUBIANA, Maurice; BERTIN, Michel. **Radiobiologia e Radioproteção**. Lisboa, Edições 70, 1989

OKUNO, Emico; CALDAS Iberê; CHOW, Cecil. **Física para Ciências Biológicas e Biomédicas**. São Paulo, Editora Harbra, 1986.

BITELLI, Thomas. **Dosimetria e Higiene das radiações**. São Paulo, Grêmio Politécnico, 1982.

TURNER, James E. **Atoms, Radiation, and Radiation Protection**. New York, Pergamon Press Inc., 1986

SEERAM, Euclid. **Radiation Protection**. New York, Lippincott, 1997.

KAPLAN, Irving. **Física Nuclear**. Rio de Janeiro, Editora Guanabara, 1978.

CHUNG, K.C. **Introdução à Física Nuclear**. Rio de Janeiro, EdUERJ, 2001.