



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE LICENCIATURA EM FÍSICA**

MAURO BARBOSA DE LIMA

UM ESTUDO INTRODUTÓRIO DA ENERGIA NUCLEAR

CAMPINA GRANDE – PB
2014

MAURO BARBOSA DE LIMA

UM ESTUDO INTRODUTÓRIO DA ENERGIA NUCLEAR

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Licenciatura em Física da Universidade Estadual da Paraíba, em cumprimento à exigência para obtenção do grau de Licenciado em Física.

Orientador (a): Morgana Lígia de Farias Freire

CAMPINA GRANDE – PB
2014

É expressamente proibida a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano da dissertação.

L732e Lima, Mauro Barbosa de.
Um estudo introdutório da energia nuclear [manuscrito] /
Mauro Barbosa de Lima. - 2014.
42 p. : il. color.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Física) -
Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e
Tecnologia, 2014.

"Orientação: Profa. Dra. Morgana Lígia de Farias Freire,
Departamento de Física".

1. Energia nuclear. 2. Radiação. 3. Usina nuclear. I. Título.
21. ed. CDD 333.792

MAURO BARBOSA DE LIMA

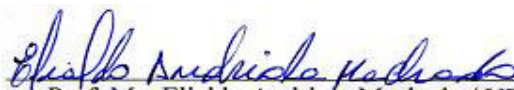
UM ESTUDO INTRODUTÓRIO DA ENERGIA NUCLEAR

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Licenciatura em Física da Universidade Estadual da Paraíba, em cumprimento à exigência para obtenção do grau de Licenciado em Física.

Aprovada em 8/11/2014.



Profª Morgana Lígia de Narias Freire / UEPB
Orientadora



Prof. Me. Elialdo Andriola Machado / UEPB
Examinador



Profª Me. Raissa Pimentel / UEPB
Examinadora

A todos que de alguma forma se tornaram parte da
minha Família, DEDICO.

AGRADECIMENTOS

À orientadora Morgana Lígia de Farias Freire, por sempre acreditar mais do que eu no meu potencial e não me permitir desistir desta caminhada.

Aos meus pais, em especial minha mãe, uma guerreira com coração de poeta, pelas batalhas vencidas apesar das dificuldades que enfrentamos na vida e de sempre me impulsionar com seus sonhos.

A minha esposa, pelo amor, companheirismo, carinho e incentivo para seguir em frente.

A minha irmã, por quem tenho imensa admiração e amor e meus sobrinhos por todos os momentos incríveis que vocês me proporcionam.

A todos os professores que contribuíram com seu conhecimento acadêmico e de vida, cada um a seu modo, ao longo de todo o curso.

A todos os colegas que pude conhecer e partilhar esses momentos de estudo e também de grandes amizades no decorrer de todos esses anos.

Finalmente agradecer por tudo ao Senhor Deus, o autor da vida, pois sem a sua permissão nada disso estaria acontecendo.

RESUMO

Em tempos de revolução técnico-científica em que os recursos tecnológicos estão cada vez mais acessíveis a uma maior parcela da população mundial, torna-se essencial investimento para suprir a demanda crescente no consumo de energia desenvolvendo alternativas para obtenção das mais variadas fontes. Nesse leque de opções para geração de energia podemos destacar a energia produzida em usinas nucleares, considerada uma das mais “limpas”, mas que sofre uma grande resistência de boa parte da opinião pública pelos vários acidentes ocorridos nas usinas ao longo dos anos. Desta forma este trabalho tem como objetivo apresentar uma discussão sobre o tema da energia nuclear levando uma introdução teórica dos elementos físicos e dos riscos de acidentes, através de uma linguagem simplificada.

PALAVRAS-CHAVE: Energia. Nuclear. Acidentes.

ABSTRACT

In technical-scientific revolution times in which technological resources are becoming more accessible to a larger portion of the world population, it is essential investment to meet the growing demand in energy consumption developing alternatives to obtain the most varied sources. In this array of options for power generation can highlight the energy produced in nuclear power plants, considered one of the "clean", but suffering great resistance of much of the public by the various accidents in plants over the years. Thus this work aims to present a discussion on the subject of nuclear energy leading a theoretical introduction of the physical elements and the risk of accidents, through a simplified language.

KEYWORDS: Energy. Nuclear. Accidents.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Modelo de átomo.....	14
Figura 2 – Núcleos com excesso de energia tendem a estabilizar-se, emitindo radiação ...	16
Figura 3 – Fóton de raios X.....	17
Figura 4 – Átomo de urânio (U) dando origem a uma partícula α e a um átomo de tório (Th).....	18
Figura 5 – Átomo de cézio dando origem a um átomo de bário e uma partícula β	18
Figura 6 – Aplicações dos radioisótopos.....	20
Figura 7 – Semelhança entre as usinas térmica e nuclear.....	21
Figura 8 – Esquema básico de funcionamento de uma usina nuclear.....	23
Figura 9 – O Sarcófago da Usina Nuclear de Chernobyl que abriga o reator 4, construído para conter a radiação liberada pelo acidente	26
Figura 10 – Casa abandonada nas proximidades da Usina de Chernobyl.....	27
Figura 11 – Menina de com hidrocefalia nascida 11 anos após o acidente	27
Figura 12 – Depósito de materiais de fissão, Mayak.....	28
Figura 13 – Presidente Carter saindo de Three Miles Island.....	29
Figura 14 – Áreas 5 e 6 e zona costeira.....	30
Figura 15 – Áreas unidades 3 e 4.....	31
Figura 16 – Edifício de armazenamento.....	31
Figura 17 – Edifício de armazenamento II.....	31
Figura 18 – Edifício de armazenamento III.....	32
Figura 19 – Edifício de armazenamento IV.....	32
Figura 20 – Contensão Reator Unidade II.....	32
Figura 21 – Área ao redor das unidades 1-4.....	33
Figura 22 – Área ao redor das unidades 1-4 II.....	33

Figura 23 – Área ao redor das unidades 1-4 III.....	32
Figura 24 – Estruturas dos reatores.....	34
Figura 25 – A usina nuclear Angra I.....	36
Figura 26 – A usina nuclear Angra II.....	36
Figura 27 – A usina nuclear Angra III.....	37

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	11
1. ENERGIA: RADIAÇÕES IONIZANTES E NÃO IONIZANTES	13
1.1 ASPECTOS GERAIS	13
1.2 RADIAÇÕES IONIZANTES	16
1.3 INTERAÇÃO DA RADIAÇÃO COM A MATÉRIA.....	19
1.4 RADIAÇÃO NÃO IONIZANTE	19
2. RADIAÇÃO IONIZANTE E A GERAÇÃO DE ENERGIA	20
2.1 ENERGIA NUCLEAR	20
2.2. FISSÃO NUCLEAR.....	21
2.3 USINAS GERADORAS DE ELETRICIDADE	21
2.4 POSSÍVEIS ACIDENTES E OS EFEITOS BIOLÓGICOS DAS RADIAÇÕES IONIZANTES NAS USINAS NUCLEARES.....	23
2.4.1 Rejeitos da operação das usinas nucleares.....	23
2.4.2 Risco de acidentes.....	24
2.4.3 Efeitos das radiações no homem	24
2.4.4 Contaminação e irradiação nuclear	25
2.5.5 Alguns acidentes ocorridos.....	25
2.5.6 Fukushima: a Mais Recente Tragédia.....	29
3. GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA E O BRASIL.....	35
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	38
REFERÊNCIAS.....	39

INTRODUÇÃO

Em um mundo cada vez mais dependente da utilização de energia elétrica, as sociedades vêm fazendo uso de diversas técnicas para obtenção desta energia a fim de suprir as necessidades de consumo e evitar o déficit energético. Sendo assim, cabe uma análise mais detalhada sobre os diversos meios de obtenção de energias empregados na atualidade. Estima-se que em 2011 no mundo foram produzidos 22000 Twh, valor que corresponde a aproximadamente 39 vezes o valor da energia gerada no Brasil. Desta fatia produzida em nosso país, aproximadamente 78% são oriundos de fontes hidrelétricas devido ao enorme potencial hídrico do país e apenas 2,3% de usinas nucleares que utilizam radiação ionizante para produção de energia elétrica (CHAVES, B. G. et al., 2012). Apesar de serem consideradas fontes de energia “limpa”, as hidrelétricas causam também grandes impactos ambientais onde são instaladas pela necessidade de desocupação e/ou desmatamento de grandes áreas para construção de represas. Deste modo torna-se conveniente considerarmos o aumento da produção através de outras fontes. Neste caso, como alternativa às usinas hidrelétricas vamos falar um pouco das usinas nucleares as quais obtêm energia através da radiação ionizante.

Em tempos de revolução técnico-científica em que os recursos tecnológicos estão cada vez mais acessíveis a uma maior parcela da população mundial, torna-se essencial investimento para suprir a demanda crescente no consumo de energia desenvolvendo alternativas para obtenção das mais variadas fontes.

Nesse leque de opções para geração de energia podemos destacar a energia produzida em usinas nucleares, considerada uma das mais “limpas”, mas que sofre uma grande resistência de boa parte da opinião pública pelos vários acidentes ocorridos nas usinas ao longo dos anos. Resistência essa que aumentou recentemente após o acidente ocorrido em 2011 na cidade de Fukushima no Japão após um terremoto e um tsunami que atingiram aquela cidade (FARIAS, 2013).

Com base nesse panorama da obtenção de energia via usinas nucleares, serão apresentados os aspectos teóricos básicos desde os conceitos de radiação, radiação não-ionizante, radiação ionizante, o processo de produção de energia no reator nuclear, os riscos e alguns dos acidentes acontecidos na história da energia nuclear.

Por conseguinte, como objetivo, este trabalho visa apresentar uma discussão sobre o tema da energia nuclear levando uma introdução teórica dos elementos físicos e dos riscos de acidentes, através de uma linguagem simplificada. Abstraindo de elementos matemáticos, a fim de que a matéria possa ser trabalhada mais facilmente em turmas do ensino médio.

Nunca se relatou tanto nas diversas mídias sobre a questão da energia nuclear. Nunca se buscou tanto conscientizar a humanidade sobre a questão da geração de energia. A questão da energia trata-se de uma questão de importância ímpar, pois com o crescente consumo de energia e previsão de esgotamento de uma das fontes de combustíveis mais utilizadas, como o petróleo, por exemplo, se faz necessário encontrarmos meios de garantir um atendimento à demanda energética mundial, de forma que possamos evitar grandes prejuízos para o meio ambiente. Mas, a energia nuclear é uma energia limpa? Quais os pontos positivos e negativos de se utilizar a energia nuclear?

O presente estudo orientou-se com a investigação junto a publicações sobre a energia nuclear e sobre leis e acordos sobre o uso dessa energia. Sabemos que se trata de uma questão bastante ampla, mas nos detemos alguns recortes que possam chamar a atenção para a problemática da energia nuclear. Nosso trabalho tem como tipo de pesquisa a qualitativa.

Segundo Godoy (1995), os estudos da pesquisa qualitativa diferem entre si quanto ao método, à forma e aos objetivos. Para o desenvolvimento de estudo de pesquisa qualitativa tem-se a cortadura do fenômeno determinado pela pesquisa no tempo e espaço.

A abordagem qualitativa oferece três diferentes possibilidades de se realizar pesquisa: a pesquisa documental, o estudo de caso e a etnografia. Dentre dessas possibilidades, o nosso trabalho caracteriza como um estudo bibliográfico (CHIZZOTTI, 2006; FIGUEIREDO, 2007; GAIO et al., 2008). Pode-se até causar uma estranheza para o leitor, dentre as três opções mencionadas, mas nossa investigação se reveste dos aspectos básicos, pois os documentos já receberam os tratamentos analíticos, estes podem ser examinados com intuito de dar um olhar mais didático. Nesta perspectiva, documentos podem ser entendidos como obras científicas, obras técnicas e relatórios. Por isso, este estudo é introdutório, pois delimitamos singelamente o objeto de estudo.

1. ENERGIA: RADIAÇÕES IONIZANTES E NÃO IONIZANTES

Foram muitos os pensadores e filósofos que começaram a desenvolver o conceito de energia, recebendo vários nomes, como vis viva, calórico, entre outros, mas todos nos levam a entender que energia é uma grandeza física que cujo conceito é a capacidade de corpos e sistemas realizar trabalho. São muitas as formas de energia entre elas (ORNELLAS, 2006):

- Energia mecânica: Quando uma força é aplicada sobre um corpo, fazendo com que ele se desloque no espaço, dizemos que essa força realizou um trabalho mecânico.
- Energia térmica: A queima ou combustão de um recurso natural – como a lenha ou o carvão – gera calor, que é também outra forma comum de manifestação da energia.
- Energia geotérmica: A energia que flui do interior da Terra na forma de calor é a energia geotérmica. Ela se concentra nas rochas quentes e secas que se encontram em profundidades que variam de três a cinco quilômetros.
- Energia radiante: Denominamos de energia radiante a energia emitida por radiações eletromagnéticas, como a luz e o calor do sol, as ondas de rádio e televisão, os raios X e as micro-ondas.
- Energia nuclear: Quando o núcleo de um átomo pesado, como o de urânio, é dividido, parte da energia que ligava seus elementos é liberada em forma de calor.
- Energia elétrica: É a melhor forma energética que pode ser transmitida de um lugar a outro e ainda ser transformada em outra forma de energia disponível na atualidade.

Os crescimentos da população mundial e da economia nos países em desenvolvimento implicam, necessariamente, no aumento do consumo de energia, porém a produção de energia deve seguir o conceito de responsabilidade ambiental.

1.1 ASPECTOS GERAIS

Aquilo que hoje podemos chamar de “energia nuclear” é um conjunto de conhecimentos científicos e técnicos os quais nos levam ao descobrimento da radioatividade passando pela pesquisa da composição da estrutura do núcleo atômico, pela descoberta de sua fissão em núcleos menores e de sua exploração tanto para fins bélicos como pacíficos (MARQUES, 2009).

Para uma melhor compreensão do assunto a ser exposto se faz necessário que alguns conceitos sejam apresentados antes da apresentação e discussão sobre a viabilidade da utilização da energia elétrica obtida a partir de usinas nucleares. E essas usinas produzem energia com a fissura dos núcleos de átomos de elementos químicos radioativos, assim sendo, inicialmente veremos em que consiste o átomo e em seguida um detalhamento sobre o que é a radiação e quais os seus tipos.

Por definição podemos dizer que átomo “é a menor quantidade de uma substância elementar que tem as propriedades químicas de um elemento. Todo átomo é constituído por um núcleo e uma coroa eletrônica” (NOUAILHETAS, 2012, p. 4). Sendo o núcleo composto por prótons que possuem carga elétrica positiva e os nêutrons que não possuem carga elétrica, e a coroa eletrônica ou eletrosfera composta pelos elétrons que são dotados de carga elétrica negativa (Figura 1).

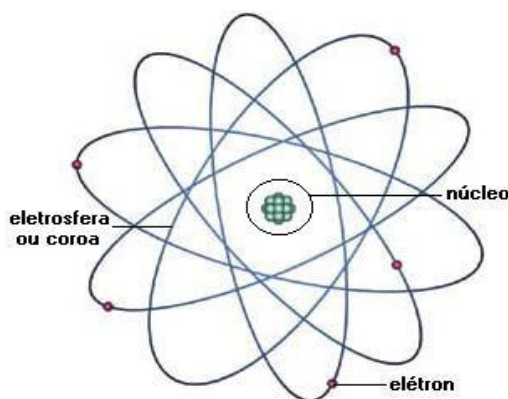


Figura 1 - Modelo de átomo.

Fonte: <http://www.brasilecola.com/fisica/do-atomo-rutherford-ao-atomo-bohr.htm>

Convém também definirmos radiação, neste caso tendo como referência o Novo Dicionário Eletrônico Aurélio versão 5.0:

- (i) Qualquer dos processos físicos de emissão e propagação de energia, seja por intermédio de fenômenos ondulatórios, seja por meio de partículas dotadas de energia cinética.
- (ii) Energia que se propaga de um ponto a outro no espaço ou num meio material.

Na natureza existem inúmeros tipos de radiações eletromagnéticas, as quais detalharemos mais adiante, e uma forma pela qual podemos classificá-los é quanto ao seu comprimento de onda (λ) ou frequência (ν). Quando utilizamos este tipo de classificação obtemos o chamado espectro eletromagnético (Tabela 1).

Tabela 1: Algumas regiões do espectro eletromagnético.

Espectro de radiação eletromagnética			
Região	λ(cm)	f (Hz)	Energia (eV)
Rádio	> 10	$< 3 \times 10^9$	$< 10^{-5}$
Micro-ondas	$10 - 0.01$	$3 \times 10^9 - 3 \times 10^{12}$	$10^{-5} - 0.01$
Infravermelho	$0.01 - 7 \times 10^{-5}$	$3 \times 10^{12} - 4.3 \times 10^{14}$	$0.01 - 2$
Luz visível	$7 \times 10^{-5} - 4 \times 10^{-5}$	$4.3 \times 10^{14} - 7.5 \times 10^{14}$	$2 - 3$
Ultravioleta	$4 \times 10^{-5} - 10^{-7}$	$7.5 \times 10^{14} - 3 \times 10^{17}$	$3 - 10^3$
Raios-X	$10^{-7} - 10^{-9}$	$3 \times 10^{17} - 3 \times 10^{19}$	$10^3 - 10^5$
Raios Gama	$< 10^{-9}$	$> 3 \times 10^{19}$	$> 10^5$

Devemos notar que todos estes tipos de radiação acima listados são manifestações de um mesmo fenômeno físico que diferem entre si apenas por apresentarem diferentes comprimentos de onda (λ).

A palavra radiação normalmente causa medo nas pessoas, mas o que a maioria delas não sabe é que somos expostos continuamente a radiação. Sejam a luz ou calor do sol que nos atinge, ondas de rádio, TV, telefones celulares, controles remotos, etc. Ou seja, as radiações são mais comuns e úteis em nossa vida do que nós comumente imaginamos. Essas radiações podem ter origem em entes macroscópicos ou em entes microscópicos. Marques (2009, p.226) destaca que as radiações térmicas e luminosas são comuns nos corpos macroscópicos enquanto nos microscópicos são típicas as radiações eletromagnéticas e corpusculares.

Radiações são emitidas por elementos químicos radioativos encontrados na natureza, como o urânio ou o tório, ou através de reações produzidas artificialmente como em reatores nucleares, aceleradores de partículas e tubos de raios-X.

A radioatividade natural está presente no universo desde o início de sua expansão, tendo também influência nos processos de surgimento e desenvolvimento da vida. Isto devido ao fato de que a Terra e todos os seres que nela habitam são de certo modo radioativos. Desta

maneira podemos dizer que a radioatividade está presente no corpo humano, visto que, o ar e os alimentos que ingerimos possuem átomos igualmente radioativos.

Temos o Sol como nossa principal fonte de radiação natural, além disso, todas as estrelas emitem radiação ionizante, que é o foco deste estudo, e outros tipos de radiação. Essas radiações recebem o nome de radiação cósmica. Somos protegidos desta radiação por meio da atmosfera terrestre que retém grande parte dessas emissões.

As fontes de radiação artificiais seguem o mesmo processo físico das radiações naturais, ou seja, os núcleos atômicos com excesso de energia tentam estabilizar-se emitindo radiação (Figura 2). O diferencial é o fato de que os núcleos emissores foram obtidos em laboratórios ou reatores nucleares. Isso ocorre através do bombardeamento de núcleos de átomos estáveis (não radioativos) que produzem isótopos radioativos não encontrados na natureza, e a radiação emitida por esses isótopos “transformam” átomos em íons, ou seja, são ionizantes. Hoje em dia os radioisótopos produzidos artificialmente são utilizados em muitas aplicações em diversas áreas do conhecimento humano como em química, biologia, medicina, arqueologia e na física.

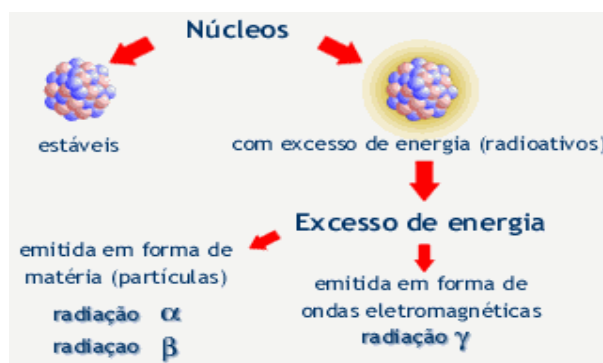


Figura 2 - Núcleos com excesso de energia tendem a estabilizar-se, emitindo radiação.

Fonte: <http://www.coladaweb.com/quimica/quimica-nuclear/a-importancia-e-os-perigos-da-radioatividade>.

1.2 RADIAÇÕES IONIZANTES

Observando as radiações ionizantes quanto aos nossos sentidos podemos afirmar que são imperceptíveis. As principais características das radiações ionizantes são a capacidade de ionização e o fato de terem um alto grau de penetração se comparados com outros tipos de radiação, com destaque para a radiação X e gama que conseguem, por exemplo, atravessar

vários centímetros de tecidos humanos e por isso são utilizadas em procedimentos de radiografia ou para penetrar blindagens de concreto. Também a radiação beta possui forte potencial de ionização, porém com um menor poder de penetração não chegando a espessura de uma folha de papel.

Raios X são definidos como a “Radiação eletromagnética emitida quando um feixe de elétrons penetra num meio de alta densidade e número atômico elevado e é freado até parar” (MARQUES, 2009, p. 227). Materiais de número atômico baixo são considerados transparentes aos raios X, já à medida que temos materiais de número atômico mais elevado estes vão sendo considerados opacos em relação aos raios X.

Os raios X que são obtidos para utilização em atividades técnicas são resultantes de dispositivos comumente chamados tubos de raios X que consistem num filamento que é aquecido para emissão de elétrons (emissão termiônica), os quais são submetidos a uma diferença de potencial para que sofram aceleração e colidam com um alvo metálico, onde os elétrons se espalham ou são absorvidos. Aproximadamente 5% desses elétrons emitem energia em forma de ondas eletromagnéticas devido à repentina variação de velocidade. E é a essa emissão de que chamamos de raios X.

São gerados raios X característicos (Figura 3) quando um elétron muda de uma camada eletrônica mais externa para uma mais interna para preencher o “buraco” deixado por um elétron que foi arrancado pela colisão com um elétron com alta energia (HALLIDAY et al., 2009).

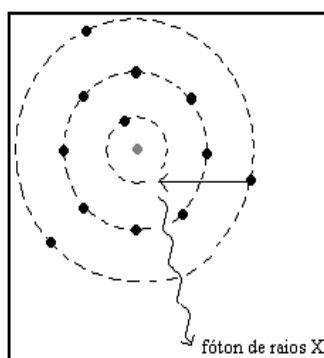


Figura 3 – Fóton de raios X.

Fonte: <http://www.fsc.ufsc.br/~canzian/intrort/interacao.html>

A radiação gama (γ) é obtida por processo semelhante ao que ocorre com os raios X, pois ela é fruto da passagem de um estado de maior para um de menor energia, sendo que esse

processo ocorre no núcleo atômico. Esse processo de liberação de energia em forma de radiação é decorrente de uma desproporção do número de nêutrons e prótons do núcleo. Porém, mesmo com a emissão da radiação gama essa proporção não é restabelecida, sendo necessário que o núcleo passe por um processo de decaimento alfa (α) ou beta (β) para alcançar o equilíbrio entre prótons e nêutrons. A radiação gama possui um grande poder de penetração e consegue atravessar grandes espessuras de acordo com sua energia.

As partículas alfa (α) são equivalentes do núcleo do átomo de Hélio (He) que possui número atômico $Z=2$ e número de massa $A=4$, sua emissão, portanto faz com que o núcleo de origem torne-se núcleo de outro elemento com um número atômico e de massa menor em 2 e 4 unidades respectivamente (Figura 4), conforme Marques (2009, p. 218). A capacidade de penetração deste tipo de radiação é bem inferior comparando com a radiação gama (γ).

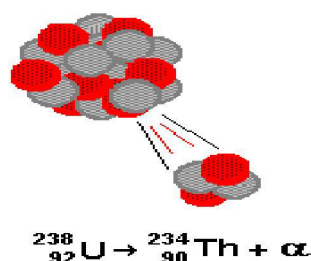


Figura 4 - Átomo de urânio (U) dando origem a uma partícula α e a um átomo de tório (Th).

Fonte: <http://www.fsc.ufsc.br/~canzian/intrort/radiacao.html#fontes>

A radiação beta é constituída pela emissão de elétrons ou pósitrons enquanto o núcleo torna-se de outro elemento mantendo o mesmo número de massa (HALLIDAY et al., 2009). Nesse processo, também ocorre à liberação de uma partícula chamada neutrino (ν) de massa desprezível e carga neutra. Vale ressaltar, que assim como no caso da radiação α também a emissão de radiação (β) ocorre espontaneamente, isto é, sem a necessidade de fontes externas de energia (Figura 5). Sua taxa de penetração também é pequena atravessando apenas alguns milímetros de tecido humano, por exemplo.

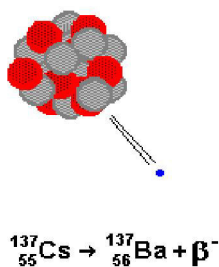


Figura 5 - Átomo de césio dando origem a um átomo de bário e uma partícula β .

Fonte: <http://www.fsc.ufsc.br/~canzian/intrort/radiacao.html#fontes>

1.3 INTERAÇÃO DA RADIAÇÃO COM A MATÉRIA

As interações radiação-matéria ocorrem sempre a nível atômico nessas condições as radiações podem apenas atravessar os corpos ou podem colidir com núcleos atômicos que compõem moléculas, com elétrons e nestas colisões ocorrem transferências de energia que ocasionalmente dão origem a íons (positivos ou negativos) que vão interagir com outros átomos a fim de obter a estabilidade. E esse novo rearranjo dos átomos pode ocasionar alterações na estrutura das moléculas e consequentes alterações nas substâncias e corpos formados por essas moléculas. Entre os fenômenos físicos oriundos da interação da radiação com a matéria podemos citar: efeito fotoelétrico, efeito Compton, produção de pares elétron-pósitron ou aniquilação de pares com liberação de fóton.

1.4 RADIAÇÃO NÃO IONIZANTE

Como o próprio nome explica as radiações não ionizantes não possuem a capacidade de produzir íons ao interagir com a matéria, pelo fato de serem radiações com baixa energia. Podemos dividir esse tipo de radiação em dois grupos: radiações sônicas compostas pelas vibrações sonoras, ultrassom e radiações eletromagnéticas compostas pelas ondas com comprimento de onda abaixo de 200 nm das quais podemos citar radiação ultravioleta, luz visível, infravermelho, micro-ondas, radiofrequências etc. E pelo fato de não poderem ser utilizadas na produção energética estas radiações não fazem parte do foco deste trabalho.

2. RADIAÇÃO IONIZANTE E A GERAÇÃO DE ENERGIA

Os radioisótopos são átomos que emitem radiação nas formas de partículas alfa, beta e radiação gama, as quais, já vimos anteriormente, pois seus núcleos possuem excesso de energia e através destas emissões os núcleos buscam tornar-se isótopos estáveis. Os radioisótopos possuem aplicações em diversas áreas como na produção de energia, na medicina, na agricultura, na indústria e até mesmo na pesquisa arqueológica (Figura 6) com a datação de fósseis por carbono 14.

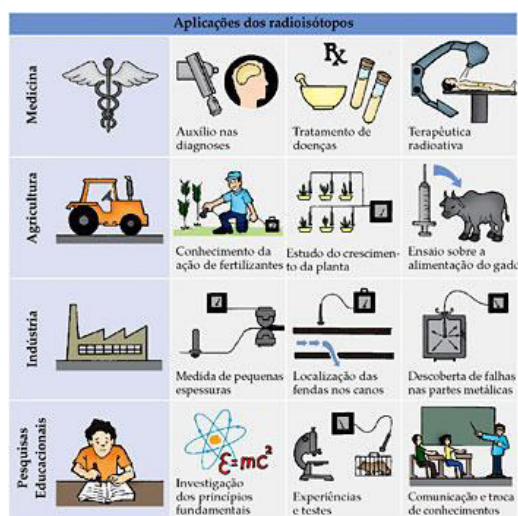


Figura 6 – Aplicações dos radioisótopos.

Fonte: www.profp.com.br

2.1 ENERGIA NUCLEAR

A energia nuclear surgiu como uma alternativa energética quando eram poucos os que propagavam o futuro esgotamento das fontes de combustíveis fósseis, já que na época não havia sinal de esgotamento dessas fontes, e a primeira vez que esse assunto veio à tona foi em 1955 na conferência “Átomos para a paz” em Genebra promovida pela ONU (MARQUES, 2009, p.113). Essa conferência anunciou o uso dos radioisótopos para obtenção de energia elétrica e todas as suas outras aplicações. Em 1954, a União Soviética já havia inaugurado sua primeira central nuclear de produção elétrica e a partir de então vários outros países começaram a operar com usinas nucleares e o setor obteve acelerada expansão até o início dos anos 70 diminuindo o ritmo por problemas econômicos e de segurança ambiental.

2.2. FISSÃO NUCLEAR

A obtenção de energia elétrica nas usinas nucleares é realizada através de reatores que trabalham com a fissão do átomo. Essa fissão ocorre ao provocarmos a colisão de um nêutron com o átomo a ser rompido, geralmente átomos de Urânio (^{235}U) que ao receber o nêutron torna-se ^{236}U o que provoca a excitação do núcleo que acaba se rompendo liberando grande quantidade de energia dando origem a dois novos núcleos geralmente ^{140}Xe e ^{94}Sr e mais dois nêutrons, que vão se chocar com mais dois núcleos de urânio e assim gerando uma reação em cadeia. Um dos problemas para este procedimento é que no minério de urânio só aproximadamente 0,711% de sua massa é composta pelo isótopo ^{235}U , o que exige a necessidade do enriquecimento artificial do elemento para que essa concentração atinja níveis que permitam a reação em cadeia (SILVA, 2011, p.30).

2.3 USINAS GERADORAS DE ELETRICIDADE

O processo de obtenção de energia elétrica por usinas nucleares é em parte análogo ao das usinas termelétricas (Figura 7), ou seja, utiliza-se um combustível para produção de vapor com temperatura e pressão suficientes para acionar um gerador e assim dando início a produção de eletricidade. O que difere nos dois casos é que nas termelétricas utilizam-se combustíveis fósseis e nas usinas nucleares são usadas como combustível varas de elementos químicos radioativos (MARQUES, 2009).

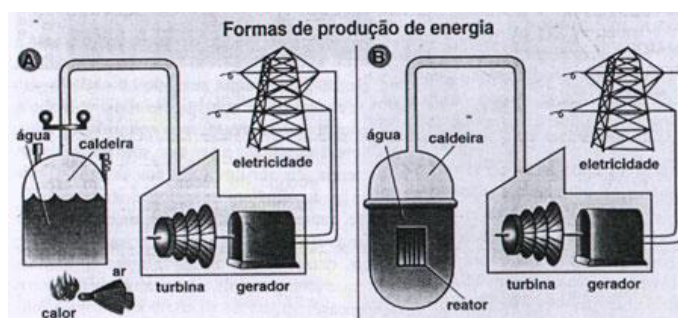


Fig. 7 – semelhança entre as usinas termelétrica e nuclear.

Fonte: http://www.pick-upau.org.br/mundo/nuclear_energia/energia_nuclear.htm#11

Reatores

No processo de desenvolvimento dos reatores nucleares surgiram diversos problemas a serem resolvidos para que a reação se mantivesse num patamar sustentável. Um dos principais é a questão da energia dos nêutrons que são emitidos a partir da fissão dos átomos, visto que

os nêutrons são emitidos com energias da ordem de 2 MeV e o ideal para que a reação em cadeia são energias de 0,04eV (HALLIDAY et al., 2009). E a forma com que esse problema é resolvido divide os reatores em duas classes: os reatores rápidos e os térmicos.

Os reatores térmicos utilizam um material chamado moderador a fim de reduzir a energia dos nêutrons emitidos e favorecer a reação em cadeia, deste modo, reduz-se a demanda de ^{235}U . A grande maioria dos reatores instalados em usinas elétricas é do tipo térmico. Por outro lado, os reatores rápidos não utilizam nenhum material moderador, eles utilizam os nêutrons liberados pelas fissões para novas colisões. Contudo, dado que os nêutrons com altas energias não são tão eficientes para produzir o efeito de fissão nas colisões é necessário que seja empregada uma maior quantidade do isótopo ^{235}U para manter a reação em cadeia, geralmente em torno de 20%. Os reatores rápidos são utilizados em menor escala pelo fato de sua segurança operacional ser mais delicada do que a dos reatores térmicos (MARQUES, 2009).

Usina Nuclear: Aspecto Geral e Funcionamento Básico

No núcleo do reator são instalados tubos metálicos com o combustível, no caso isótopos de elementos radioativos, normalmente urânio. Em volta do material combustível deve estar o moderador que deve ser um elemento com poder de absorção de nêutrons para manter a reação sob o controle. Se o combustível for urânio enriquecido, o moderador pode ser água, e se for urânio natural, água pesada ou grafite. O controle da reação em cadeia é feito através de um conjunto de hastes que podem ser introduzidas e removidas do núcleo do reator. Com o início do processo de fissões a temperatura do núcleo começa a se elevar motivada pelas liberações de energia num processo contínuo. Nos reatores onde se utiliza água em ebulição, a água percorre um ciclo fechado que inclui o núcleo do reator, as turbinas e um condensador (BERNINI, 2011).

Ao entrar em contato com o núcleo do reator, a água então em estado líquido absorve a energia térmica liberada pelas fissões nucleares e passa para o estado gasoso. O vapor produzido segue seu trajeto em alta pressão até para colocar em movimento as pás das turbinas geradoras de eletricidade (BERNINI, 2011). Das turbinas o vapor passa pelo condensador onde uma serpentina com um líquido refrigerador diminui a temperatura do vapor fazendo-o voltar ao estado líquido. A água do condensador é novamente bombeada para a região do núcleo do reator, reiniciando o processo (Figura 8).

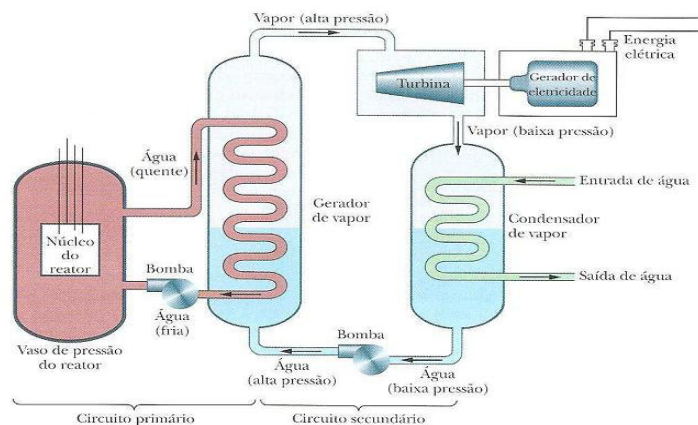


Figura 8 – Esquema básico de funcionamento de uma usina nuclear.
 Fonte: Halliday et al. (2009, p. 344)

2.4 POSSÍVEIS ACIDENTES E OS EFEITOS BIOLÓGICOS DAS RADIAÇÕES IONIZANTES NAS USINAS NUCLEARES

2.4.1 Rejeitos da operação das usinas nucleares

Um dos aspectos que contam contra a construção de novas usinas nucleares é o tratamento dos dejetos resultantes do processo de operação das usinas. Um reator operando com uma potência de mil megawatts utiliza aproximadamente duzentas barras de combustível que contém 235 varetas com vinte milhões de pastilhas de óxido de urânio. A cada ano um terço dessas barras deve ser substituída (MARQUES, 2009). Porém, essas barras são altamente radioativas pela concentração de urânio ainda existente nelas (um terço do U235 e quase todo o U238) e de outros elementos resultantes das reações ocorridas. Num primeiro momento as barras inutilizadas são mergulhadas num tanque de água onde ficam por um ano ou períodos maiores até que os níveis de radiação estejam em patamares mais seguros para que sejam tratados. Após esse primeiro momento essas barras são armazenadas em contêineres blindados e transportados até seu local onde será armazenado definitivamente isolados de contato com o ambiente, ou levado a alguma usina de reprocessamento onde são separados o urânio ainda não utilizado, o plutônio e os outros dejetos que serão definitivamente armazenados (MARQUES, 2009).

2.4.2 Risco de acidentes

O maior temor que observamos nas pessoas no tocante a energia nuclear é o receio por uma explosão nuclear. Porém a probabilidade de que isso aconteça é quase que nula pelo fato do baixo teor de enriquecimento do urânio utilizado (em torno de 3%). O maior risco que envolve o processo de produção de energia através dos reatores nucleares é o vazamento de elementos radioativos ou de radiação para o ambiente, o que pode ocorrer em acidentes (QUE ENERGIA..., 2003). Deste modo, todo processo de concepção de reatores inclui um grande e elaborado sistema de proteção e segurança para evitar que problemas ocorridos no reator possam afetar o ambiente externo. Essa preocupação passa desde a escolha do local para a construção da usina como pela escolha das matérias que serão empregadas na construção, além de outros como: a própria pastilha onde localiza-se o combustível retém parte da radiação, os tubos onde as pastilhas são colocadas também exercem essa função, a utilização do líquido moderador além das paredes do prédio onde está localizado o reator com cerca de 75 cm de concreto armado capaz de resistir ao impacto de um avião como aconteceu nas “Torres Gêmeas”. Todos esses fatores seguem normas de segurança internacionais e contribuem para que esse risco seja diminuído em grande escala (MARQUES, 2009).

2.4.3 Efeitos das radiações no homem

As moléculas com as quais os seres vivos são constituídos são formadas em sua maioria por átomos de carbono, hidrogênio, oxigênio e nitrogênio. No caso de um ser vivo que sofre ação de radiação ionizante, são elétrons desses átomos que são arrancados provocando transformações nas moléculas. Os efeitos provocados por essas transformações podem ser observadas nas células, mais precisamente nas moléculas de DNA que são as responsáveis pela transmissão dos códigos de todas as características das células (NOUAILHETAS, 2012). A molécula de DNA ao ser irradiada pode sofrer mutações gênicas que correspondem a alteração ou perda de informações codificadas nos genes (o que pode gerar o aparecimento de células cancerígenas) ou ocorrerem quebras na molécula de DNA onde a integridade do material genético da célula é quebrada.

Em um ser humano adulto a maior parte de seus tecidos constituintes é formado por células que pouco irão se dividir ou não se dividirão mais, como as células do tecido muscular, fígado, rins, coração. Essas células mesmo sofrendo mutações e quebra no DNA

não comprometem sua função fisiológica, o mesmo não ocorre com as células que irão passar por divisão ou diferenciação, pois neste caso as células têm maior dificuldade para passar adiante seu material genético e as células originadas podem vir a morrer após algumas divisões subsequentes. Podemos citar como exemplo o tecido sanguíneo e as células de recobrimento. Mas, qualquer dose de radiação, inclusive natural, pode matar células e induzir o câncer. Porém, quanto maiores as doses de radiação absorvida maiores serão as quebras, mutações e maior o número de células mortas (NOUAILHETAS, 2012).

2.4.4 Contaminação e irradiação nuclear

Quando da ocorrência de acidentes ou falhas no armazenamento dos dejetos das usinas nucleares pode ocorrer que objetos ou seres vivos sejam impregnados por este material radioativo, a isto chamamos de contaminação radioativa. Nos seres vivos a contaminação pode acontecer de forma externa quando o material radioativo entra em contato com a pele do indivíduo ou de forma interna quando o indivíduo ingere o material radioativo pela respiração, alimentos, água ou mesmo pelos poros da pele (Instituto de Radiação e Dosimetria [IRD], 2012). O sujeito contaminado passa a carregar material radioativo em sua estrutura, passando a ser uma fonte de radiação que pode vir a contaminar outros ambientes, seres e objetos, pelo menos enquanto não houver o decaimento radioativo do elemento contaminante. Ao constatar-se que determinada região encontra-se contaminada imediatamente deve-se evitar o consumo de água e alimentos oriundos daquela região.

Outra possibilidade em caso de acidentes envolvendo material nuclear é o caso onde o ambiente e os seres que o compõem sofrem apenas os efeitos da radiação do material nuclear sem que haja contato direto com a fonte de radiação. Nessa situação temos a chamada irradiação, e o objeto ou ambientes irradiados não se tornam fontes de radiação, assim sendo, ao ser afastada a fonte de radiação os objetos podem ser tocados ou manuseados normalmente sem risco (IRD, 2012).

2.5.5 Alguns acidentes ocorridos:

Os acidentes decorrentes das usinas nucleares são classificados segundo uma escala desenvolvida pela AIEA (Agência Internacional de Energia Atômica) tomando como referência acidentes ocorridos no passado entre outras variáveis (MARQUES,2009).

Um dos mais famosos acidentes, e que até pouco tempo estava sozinho no topo dos maiores acidentes nucleares, atingindo o nível 7 na escala de avaliação, foi o ocorrido em 26 de abril de 1986 em um reator da usina de Chernobyl. na Ucrânia que aquela época fazia parte da então União Soviética. As autoridades que respondiam pela operação da usina divulgaram documento atribuindo a causa do acidente a equipe de plantão que realizou sem autorização um teste mal-sucedido no sistema emergencial de arrefecimento que fizeram romper o vaso de contenção do reator e acarretou no despejo de uma espessa nuvem de produtos radioativos. Além disso, provocando um incêndio que só foi controlado após dez dias. Resultado: 30 pessoas mortas, 135 mil pessoas tiveram que abandonar suas casas nas proximidades da usina e produtos radioativos detectados a centenas de quilômetros do local do acidente levados pelos ventos (MARQUES, 2009 p.124-125). Hoje as ruínas do reator estão cobertas por concreto numa estrutura que é chamada de “sarcófago” (Figura 9). Vale ressaltar que ainda hoje milhares de pessoas sofrem as consequências desse acidente (Figuras 10 e 11) como as que desenvolveram câncer de tireóide e as crianças que nasceram com diversos tipos de anomalia.



Figura 9 - O Sarcófago da Usina Nuclear de Chernobyl que abriga o reator 4, construído para conter a radiação liberada pelo acidente.

Fonte: Wikipédia



Figura 10 - Casa abandonada nas proximidades da Usina de Chernobyl.
Fonte: Wikipédia

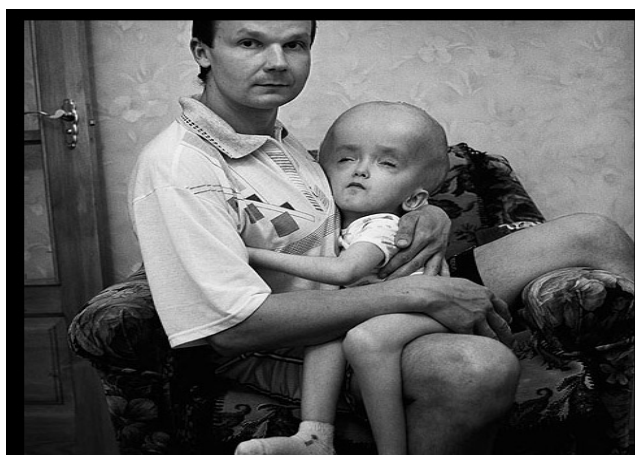


Figura 11 – Menina de com hidrocefalia nascida 11 anos após o acidente.
Fonte: www.pixelpress.org

Outro grande acidente, chegando a atingir nível 6, porém sem tanta repercussão midiática aconteceu em 1957, numa estação de reprocessamento de material nuclear, também na União Soviética na região de Mayak (Figura 12). O processo de tratamento aplicado nas barras de combustível permitiu que o material atingisse a situação crítica permitindo a escapada de grande quantidade de material radioativo pelo fato das usinas de reprocessamento não possuírem o mesmo aparato de contenção da radiação, visto que, o urânio contido nas barras de combustível normalmente não é suficiente para operação crítica (MARQUES, 2009). A equipe que trabalhava na usina e as populações que habitavam as proximidades da usina foram submetidas à alta exposição de radiação. Ainda hoje algumas regiões continuam com acesso restrito devido aos elevados níveis de radiação (GREENPEACE, 2007).



Figura 12 - Depósito de materiais de fissão, Mayak.

Fonte: Wikipédia

Como representantes do nível 5 em gravidade temos os acidentes conhecidos como Windscale (1957) e Three Miles Island (1979). Em Windscale, o acidente foi provocado pela falha em um sensor de temperatura que indicava o resfriamento do núcleo quando no momento acontecia um aumento na temperatura, o que levou a um superaquecimento e consequente fratura de algumas cápsulas que permitiu a entrada de ar no sistema. Com a presença do oxigênio, iniciou-se um incêndio o qual gerou uma nuvem de produtos radioativos. Apesar de não haver relato de vítimas fatais o fornecimento de leite foi suspenso num raio de 550 km² por alguns meses devido à contaminação das pastagens (MARQUES, 2009). No segundo acidente, uma falha de segurança no sistema de resfriamento provocou o derretimento da parte superior do núcleo do reator e parte da água de refrigeração evaporou para a atmosfera levando consigo produtos radioativos que nela estavam dissolvidos (MARQUES, 2009). Felizmente, não houve nenhuma morte e nem maiores consequências pelo fato de que o vaso de contenção do núcleo manteve-se intacto (Figura 13). A gravidade do acidente está no acontecimento de que esse é um dos poucos casos onde parte do núcleo do reator sofreu derretimento.



Figura 13 – Presidente Carter saindo de Three Miles Island.

Fonte: Wikipédia

O nível quatro de gravidade possui como referência o acidente ocorrido em Tokaimura – Japão (1999). Esse caso não aconteceu numa usina de produção de energia, mas sim numa estação de reprocessamento de material já utilizado (MARQUES, 2009). Durante o tratamento de urânio a massa crítica foi atingida dando origem a reação em cadeia que durou 20 horas. Três funcionários da estação receberam grandes doses de radiação e dois deles vieram a falecer. Além desses, mais 116 funcionários receberam radiação, porém em doses não letais.

Os acidentes com nível de gravidade inferior a quatro são inúmeros. A partir de cada um destes acidentes novos dispositivos de segurança e procedimentos são desenvolvidos a fim de aperfeiçoar os sistemas de segurança nas usinas produtoras de energia e nas estações de reprocessamento (MARQUES, 2009).

2.5.6 Fukushima: a Mais Recente Tragédia

O mais recente acidente nuclear com grande número de vítimas e repercussão em toda mídia mundial aconteceu a pouco mais de três anos, em 11 de março de 2011 no nordeste do Japão na cidade de Fukushima. O acidente foi ocasionado por dois fenômenos naturais de grandes proporções: primeiro um terremoto de 8,9 graus na escala Richter seguido de um tsunami. Mais de 20 mil pessoas morreram no dia do tsunami e estima-se que cerca de 1600 pessoas faleceram no decorrer dos dias e meses seguintes (DEARO, 2014). Mas de fato o que aconteceu na usina de Fukushima?

Quando do acontecimento do terremoto um dos sistemas de segurança da usina foi acionado automaticamente inserindo cilindros de boro no reator a fim de absorver os nêutrons reduzindo a fissão nuclear do urânio em até 90%. Mesmo assim certa quantidade de energia térmica ainda continuou sendo liberada, exigindo assim resfriamento adicional com água para evitar a fusão das barras com urânio (HOTTA, 2011). O sistema de resfriamento com água é alimentado por fontes externas de eletricidade, porém esse fornecimento de energia foi interrompido devido ao terremoto. Apesar disso, ainda havia geradores de emergência que mantiveram o sistema ativo por cerca de uma hora até o momento em que a usina foi atingida por um tsunami que ultrapassou os muros de contenção da usina atingindo os geradores de energia e interrompendo seu funcionamento. Mas, além dos geradores ainda havia baterias que mantiveram o sistema funcionando por 8 horas, tempo este que não foi suficiente para o restabelecimento do funcionamento dos geradores, conseqüentemente a temperatura nos reatores aumentou provocando a fusão das barras com urânio, aumento da pressão no reator provocando explosão e incêndio no prédio da usina (HOTTA, 2011). Um pouco do estrago pode ser visto nas Figuras 14 a 24.



Figura 14 – Áreas 5 e 6 e zona costeira.

Fonte: <http://photo.tepco.co.jp/en/date/2013/201302-e/130201-01e.html>



Figura 15 – Área unidades 3 e 4.

Fonte: <http://photo.tepco.co.jp/en/date/2013/201302-e/130201-01e.html>



Figura 16 – Edifício de Armazenamento.

Fonte: <http://photo.tepco.co.jp/en/date/2013/201302-e/130201-01e.html>

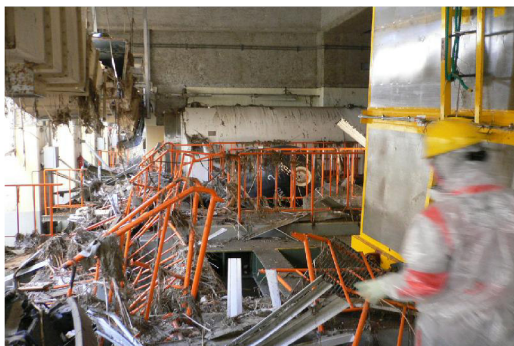


Figura 17 - Edifício de armazenamento II.

Fonte: <http://photo.tepco.co.jp/en/date/2013/201302-e/130201-01e.html>

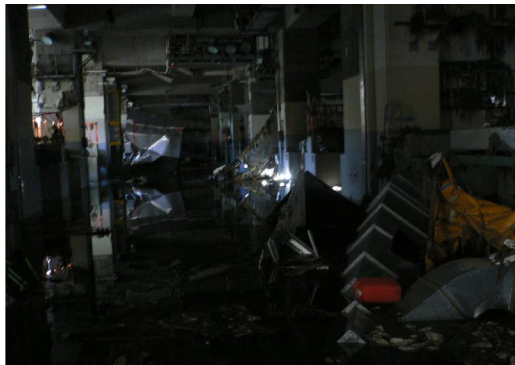


Figura 18 – Edifício de Armazenamento III.

Fonte: <http://photo.tepco.co.jp/en/date/2013/201302-e/130201-01e.html>



Figura 19 – Edifício de Armazenamento IV.

Fonte: <http://photo.tepco.co.jp/en/date/2013/201302-e/130201-01e.html>



Figura 20 – Contensão Reator Unidade II.

Fonte: <http://photo.tepco.co.jp/en/date/2013/201302-e/130201-01e.html>



Figura 21 – área ao redor das unidades 1-4.
Fonte: <http://photo.tepco.co.jp/en/date/2013/201302-e/130201-01e.html>



Fig. 22 – Área ao redor das unidades 1-4 II.
Fonte: Fonte: <http://photo.tepco.co.jp/en/date/2013/201302-e/130201-01e.html>



Fig. 23 – Área ao redor das unidades 1-4 III.
Fonte: Fonte: <http://photo.tepco.co.jp/en/date/2013/201302-e/130201-01e.html>



Figura 24 – Estruturas dos reatores.

Fonte: *Fonte: <http://photo.tepco.co.jp/en/date/2013/201302-e/130201-01e.html>*

O governo japonês decretou como inabitável uma área de 30 km em torno da região da usina, forçando cerca de 160 mil habitantes a abandonarem suas casas, o que fez Fukushima e algumas cidades vizinhas tornarem-se “cidades fantasmas” (SOARES, 2014). Em regiões menos atingidas pela radiação liberada algumas medidas preventivas foram tomadas como, por exemplo, a substituição de terra dos playgrounds e parques, bem como limitação do tempo que as crianças podem brincar ao ar livre.

Hoje, mais de três anos de ocorrido o acidente muito já foi reconstruído: pontes, estradas, mas muitos bairros e cidades ainda permanecem totalmente abandonados e em Fukushima técnicos ainda trabalham no controle da radiação com a construção de tanques para conter a água contaminada (DEARO, 2014). Mesmo assim, em 2013 a empresa que gerencia a usina confirmou que 300 toneladas de líquido radioativo vazaram em novo incidente. Segundo a agência de notícias France-Press (AFP) um estudo desenvolvido por um comitê de acompanhamento dos habitantes de Fukushima sobre o impacto das radiações liberadas revelou que 103 casos de câncer de tireóide foram detectados em crianças e adolescentes da região. Moradores da cidade de Tamura a 20 km de Fukushima foram liberados para voltar a suas casas. Apesar disso, não se sabe quantos voltarão como o Sr. Kimiko Koyama de 69 anos que declarou a Agência Reuters: “Muitos de nossos amigos e vizinhos não vão voltar. Não há empregos (BBC BRASIL, 2014). É inconveniente e muitos jovens estão com medo da radiação”.

3. GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA E O BRASIL

A ideia do programa nuclear brasileiro surge em meio a turbulência do regime militar. O governo procurava alternativas para fornecimento de energia tendo em vista o colapso energético anunciado por muitos para ocorrer antes do fim do século XX (MARQUES, 2009). Desta forma, optou-se por produção de energia por fontes nucleares, pois se estimava que as fontes hidrelétricas tornar-se-iam cada vez mais escassas principalmente no centro-sul do país. O uso de gás natural era impensável naquela época e as usinas movidas a carvão ou óleo tornariam a produção energética muito dispendiosa além de tornar o país dependente da importação desses combustíveis. Neste cenário em 1970 a empresa americana Westinghouse ganhou a licitação para a construção da usina de Angra I (Figura 25).

De acordo com dados da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE):

No final dos anos 1960, o governo brasileiro decidiu ingressar na geração termonuclear, visando conhecer melhor a tecnologia e adquirir experiências para o futuro. Na época, cogitava-se a necessidade de complementação térmica para o suprimento de eletricidade no Rio de Janeiro. Decidiu-se, então, que essa complementação ocorresse por meio da construção de uma usina nuclear (Angra I) em Angra dos Reis (RJ).

A construção de Angra I (657 MW) teve início em 1972. A primeira reação nuclear em cadeia ocorreu em março de 1982 e a usina entrou em operação comercial em janeiro de 1985. Mas, logo após, interrompeu suas atividades, voltando a funcionar somente em abril de 1987, operando, porém, de modo intermitente, até dezembro de 1990 (nesse período, operou com 600 MW médios durante apenas 14 dias).

Entre 1991 e 1994, as interrupções foram menos frequentes, mas somente a partir de 1995 a usina passou a ter operação regular.

A construção de Angra II (fig.25)(1.350 MW) teve início em 1976 e a previsão inicial para a usina entrar em operação era 1983. Em razão, porém, da falta de recursos, a construção ficou paralisada durante vários anos e a operação do reator ocorreu somente em julho de 2000, com carga de 200 MW a 300 MW. Entre 20 de agosto e 3 de setembro daquele ano, a usina funcionou regularmente, com 915 MW médios. A partir de então, operou de modo intermitente até 9 de novembro, quando passou a funcionar com potência de 1.350 MW médios (CCEE, 2012?).

Seguindo a expansão do projeto de obtenção de energia elétrica pelo processo termonuclear iniciou-se em 2010 as construções da Usina Angra III, com previsão para início das operações em julho de 2016 e segundo o projeto original com uma potência de 1405 megawatts, gerando 12 milhões de megawatts-hora anuais, o que atualmente seria suficiente para o abastecimento de Brasília e Belo Horizonte durante todo o ano (ELETROBRAS, 2012). Angra III funcionará utilizando a mesma tecnologia alemã Siemens/KWU de Angra II (Figura 26). Mas, o Plano Decenal de Expansão de Energia de setembro de 2010, feito pela

Empresa de Pesquisa de Energia (EPE,2010, p.26) previa a conclusão da usina de Angra III (Figura 27) até 2015, porém essa data foi adiada para maio de 2018 (CANALENERGIA, 2013).

Segundo Ishiguro (2002) citado por Galetti e Lima (2010) em 1985 as maiores fontes de energia disponíveis estavam nas reservas de carvão mineral e nas jazidas de urânio, porém mais de 90% da energia utilizada vem das hidrelétricas e com potencial para expansão. Enquanto isso, em 2012 as usinas nucleares contribuem com 1% da energia produzida no Brasil de acordo com declaração do presidente da EPE. Esses números mostram uma matriz energética essencialmente hidrelétrica, porém, outras alternativas, tais como, a energia nuclear, também devem ser avaliadas já que mesmo sendo uma forma de produção considerada “limpa”, as hidrelétricas também causam grandes impactos ambientais nas regiões onde são construídas.



Figura 25 – A usina nuclear Angra I.

Fonte: <http://www.eletronuclear.gov.br/aempresa/centralnuclear/angra1.aspx>

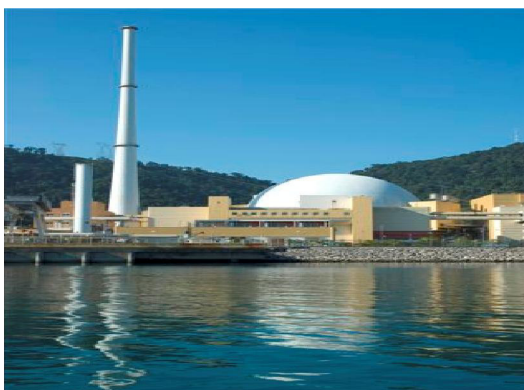


Figura 26 – A usina nuclear Angra II.

Fonte: <http://www.eletronuclear.gov.br/aempresa/centralnuclear/angra2.aspx>



Figura27 – A usina nuclear Angra III.

Fonte: <http://www.eletronuclear.gov.br/AEmpresa/CentralNuclear/Angra3.aspx>

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O processo contínuo de desenvolvimento pelo qual nosso país vem passando faz com que a demanda de energia seja cada vez mais crescente. Principalmente quando vários setores da sociedade usam mal ou mesmo desperdiçam eletricidade. Neste cenário todas as possibilidades de produção devem ser consideradas, tendo em vista que cada uma delas possui suas vantagens e desvantagens para análise e consideração de qual ou quais delas são mais viáveis.

As fontes de energia ditas primárias como madeira, hidrocarbonetos, carvão etc, são responsáveis por grandes emissões de CO₂, agravando o efeito estufa e, além disso, não são renováveis. A energia solar demanda a utilização de grandes áreas e seu armazenamento ainda não é satisfatório. Para suprir as necessidades energéticas precisaríamos cobrir aproximadamente 10% da área cultivada da terra com os painéis solares

Já as usinas hidrelétricas precisam de grandes áreas para construção de represas que provocam grandes impactos ambientais. A energia de origem eólica também se apresenta como boa alternativa por ser limpa e renovável, porém sofre restrições porque apenas 13% do território terrestre possuem ventos adequados para instalações de centrais eólicas e outras desvantagens como interferências eletromagnéticas, impacto visual, ruído, ou danos à fauna, por exemplo.

No caso da energia nuclear o Brasil apresenta todos os requisitos para termos a mesma dualidade das outras formas de produção. Apesar de ser uma fonte limpa, pois não emitem poluentes diretamente no ar, temos como desvantagens que grandes quantidades de energia são consumidas no enriquecimento do urânio, as dificuldades com o armazenamento ou reaproveitamento dos rejeitos das usinas e o risco de acidentes em diversos casos.

Finalmente, a busca por alternativas para a malha energética deve levar em consideração todos os prós e contras conjuntamente com a disponibilidade das fontes, a viabilidade financeira, ou seja, quanto se está disposto a investir no desenvolvimento da tecnologia para explorar cada uma das fontes.

REFERÊNCIAS

<http://apostilas.cena.usp.br/Elisabete/aula_gama.pdf> acesso em 1/10/2013 às 14:35.

<<http://exame.abril.com.br/mundo/noticias/brasil-recua-em-planos-de-energia-nuclear-e-favorece-eolica-2>> acesso em: 6/11/2014 às 19:41

<<http://exame.abril.com.br/mundo/noticias/fukushima-registra-mais-de-100-casos-de-cancer-de-tireoide>> acesso em: 4/11/2014 às 22:55

<<http://ie.org.br/site/ieadm/arquivos/arqnot5172.pdf>> acesso em 3/7/2014 às 17:04.

<<http://pt.slideshare.net/guest05bd0f/consumo-de-energia-nacional-e-mundial-e-os-perigos-do-dfície-de-energia>>. Acesso em 30/04/2012 às 00:46.

<<http://sites.unicentro.br/wp/petfisica/files/2011/08/Energia-Nuclear-e-Radioatividade.pdf>> acesso em 15/8/2014 às 22:56.

<<http://www.fsc.ufsc.br/~canzian/intrort/interacao.html>> acesso em 1/10/2013 às 19:44.

<<http://www.fsc.ufsc.br/~canzian/intrort/radiacao.html#fontes>> acesso em: 24/9/2013 às 01:44.

<http://www.inb.gov.br/pt-br/webforms/Interna2.aspx?secao_id=79> acesso em: 26/9/2013 às 01:21.

<<http://www.mma.gov.br/clima/energia/energias-renovaveis/energia-eolica>> acesso em: 6/11/2014 às 20:54

<www.segurancaetrabalho.com.br/download/rad-ioniz-cuidados.pdf> acesso em 27/9/2013 às 01:34.

Altino Ventura Filho, Energia Elétrica no Brasil: Contexto Atual e Perspectivas. Disponível em <<http://interessacional.uol.com.br/index.php/edicoes-revista/energia-eletrica-no-brasil-contexto-atual-e-perspectivas/>> . Acesso em 23/9/2013 às 20:49

BBC BRASIL. Três anos após desastre nuclear, moradores retornam a Fukushima. Disponível em: <http://www.bbc.co.uk/portuguese/noticias/2014/04/140401_fukushima_retorno_moradores_fn>. Acesso em 04/11/2014 às 23:52.

BERNINI, T. Funcionamento de um reator nuclear. Disponível em: <<http://regradetres.com/2011/03/12/funcionamento-de-um-reator-nuclear/>> acesso em 15/08/2014 às 22:58.

Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. Fontes. Disponível em: <http://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/onde-atuamos/fontes?_afzLoop=213144824811000#%40%3F_afzLoop%3D213144824811000%26_adf.ctrl-state%3D57dzth53_4> Acesso em: 23/9/2013 às 21:15.

- CANALENERGIA. Angra 3 deve entrar em operação em maio de 2018, diz Eletronuclear. Disponível em: <<http://www.canalenergia.com.br/zpublisher/materias/Retrospectiva.asp?id=95708&a=2013>> Acesso em 23/11/2014 às 21:54.
- CHAVES, B. et al. Consumo de energia nacional e mundial e os perigos do déficit de energia. Belo Horizonte, FUMEC/FEA, 2012.
- CHIZZOTTI, A. Pesquisa qualitativa em ciências humanas e sociais. Petrópolis, Vozes, 2006.
- DEARO, G. As cidades-fantasma, 3 anos depois do desastre de Fukushima. Exame.com. Disponível em: <<http://http://exame.abril.com.br/mundo/album-de-fotos/as-cidades-fantasma-3-anos-depois-do-desastre-de-fukushima>>. Acesso em 04/11/2014 às 23:13
- ELETROBRAS. Angra 3: energia para o crescimento do país. Disponível em: <<http://www.eletronuclear.gov.br/AEmpresa/CentralNuclear/Angra3.aspx>>. Acesso em: 01/05/2012 às 00:16.
- FARIAS, J. C. de. Energia nuclear pode assumir papel da hidrelétrica no Brasil no futuro, diz diretor da EPE. São Paulo, 02/08/2013. Entrevista a Alice Assunção. Disponível em <<http://www.fiesp.com.br/noticias/energia-nuclear-pode-assumir-papel-da-hidreletrica-no-brasil-no-futuro-diz-diretor-da-epe/>> acesso em 23/11/2013 às 16:16.
- FERREIRA, A. B. H. Novo Dicionário Eletrônico Aurélio versão 5.0, corresponde à 3ª edição, 1ª. Impressão. 2004. Ed. Positivo.
- FIGUEIREDO, N.M.A. Método e metodologia na pesquisa científica. 2ª ed. São Caetano do Sul, São Paulo, Yendis Editora, 2007.
- GAIO, R.; CARVALHO, R.B.; SIMÕES, R. Métodos e técnicas de pesquisa: a metodologia em questão. In: GAIO, R. (org.). Metodologia de pesquisa e produção de conhecimento. Petrópolis, Vozes, 2008.
- GALETTI, D.; LIMA, C. L. Energia nuclear: com fissões e com fusões – São Paulo, Editora UNESP, 2010.
- GODOY, A. S. Pesquisa qualitativa: tipos fundamentais. Revista de Administração de Empresas, v. 35, n. 3, p. 20-29, São Paulo, EAESP/FGV, 1995.
- GREENPEACE. Tragédia nuclear de Mayak completa 50 anos e continua a fazer vítimas. Disponível em: <http://www.greenpeace.org/brasil/pt/Noticias/tragedia-nuclear-de-mayak-comp/>. Acesso em 23/11/2014 às 19:23.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. Fundamentos de Física, Vol. 4: Óptica e Física Moderna. 8ª Ed, Rio de Janeiro, LTC, 2009.
- HOTTA, C. Como funciona a usina de Fukushima. Mar, 2011. Disponível em: <<http://jornalggn.com.br/blog/luisnassif/como-funciona-a-usina-de-fukushima>> acesso em: 4/11/2014 às 22:38

Instituto de Radiação e Dosimetria. Qual a diferença entre irradiação e contaminação?

Disponível em: <

http://www.ird.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=71:qual-a-diferenca-entre-irradiacao-e-contaminacao&catid=51:o-que-e-energia-nuclear&Itemid=44> acesso em:

15/8/2014 às 23:11.

MARQUES, A. Energia nuclear e adjacências. Rio de Janeiro, EdUERJ, 2009.

NOUAILHETAS, YANNICK < cnen.gov.br > Acesso em: 23/9/2013 às 23:21.

QUE ENERGIA é essa? Energia nuclear. 2003. Disponível em: <[http://www.pick-](http://www.pick-upau.org.br/mundo/nuclear_energia/energia_nuclear.htm#11)

[upau.org.br/mundo/nuclear_energia/energia_nuclear.htm#11](http://www.pick-upau.org.br/mundo/nuclear_energia/energia_nuclear.htm#11)> acesso em 21/6/2014 às 12:25.

SILVA, P. H. P. Processo de beneficiamento do urânio visando à produção de energia elétrica. UECE. Fortaleza, 2011.

SOARES, A. L. Fukushima: 3 anos depois, Japão pretende reativar reatores. Mar, 2014.

Disponível em: <<http://noticias.terra.com.br/mundo/asia/fukushima-3-anos-depois-japao-pretende-reativar-reatores,8bbb9ee53dea4410VgnVCM20000099cceb0aRCRD.html>> acesso

em: 4/11/2014 às 22:37