

CENTRO UNIVERSITÁRIO BRASILEIRO - UNIBRA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

**ALEX BATISTA DOS PASSOS DE OLIVEIRA
JEFFERSON SEVERINO BARBOSA
LUCAS RAPHAEL DA SILVA LIRA**

**UM OLHAR SOBRE A ENERGIA NUCLEAR:
DISCUSSÃO SOBRE SUA VIABILIDADE NOS DIAS ATUAIS NO ÂMBITO DA
SUSTENTABILIDADE**

RECIFE
2021

**ALEX BATISTA DOS PASSOS DE OLIVEIRA
JEFFERSON SEVERINO BARBOSA
LUCAS RAPHAEL DA SILVA LIRA**

**UM OLHAR SOBRE A ENERGIA NUCLEAR:
DISCUSSÃO SOBRE SUA VIABILIDADE NOS DIAS ATUAIS NO ÂMBITO DA
SUSTENTABILIDADE**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Disciplina TCC II do Curso de Graduação em
Ciências Biológicas do Centro Universitário Brasileiro
- UNIBRA, como parte dos requisitos para conclusão
do curso.

Orientador(a): Prof.^a Dr.^a Lilian Maria Araujo de Flores

RECIFE
2021

B238o Barbosa,Jefferson Severino
Um olhar sobre a energia nuclear: discussão sobre sua viabilidade nos dias atuais no âmbito da sustentabilidade./ Jefferson Severino Barbosa; Alex Batista dos Passos de Oliveira; Lucas Raphael da Silva Lira. - Recife: O Autor, 2021.
34 p.

Orientador: Dra.^a Lilian Maria Araujo de Flores.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Centro Universitário Brasileiro – UNIBRA. Bacharelado em Ciências Biológicas, 2021

1. Energia; 2. Núcleo; 3. Radioatividade; 4. Sustentabilidade; 5. Reatores. I. Centro Universitário Brasileiro. - UNIBRA. II. Título.

CDU: 573

Dedicamos esse trabalho aos
nossos pais, família, professores e amigos.

AGRADECIMENTOS

Aos nossos pais e familiares, que acreditaram e não deixaram de nos apoiar durante toda caminhada, e foram um porto seguro nos momentos mais complicados.

À nossa orientadora, Prof.^a Dr.^a Lilian Maria Araujo de Flores, pelo conhecimento e saciamento de nossas dúvidas, e por nos apoiar e nunca deixar de acreditar no nosso potencial.

À nossa banca, composta pela Prof.^a Dr.^a Elyda Gonçalves de Lima e Prof.^a MSc. Cybelle Emanuele da Silva, pela avaliação honesta, críticas e sugestões que enriqueceram muito nosso trabalho.

Aos nossos amigos e colegas de turma, pelas conversas, estudos e risadas ao longo dessa jornada.

Por fim, à todos os professores que passaram em nossas vidas, afinal de contas, cada um deles foi fundamental para nossa construção intelectual e desenvolvimento de uma mentalidade científica.

“A melhor forma de prever o futuro é
criá-lo.”

(Alan Kay)

RESUMO

Os debates sobre o uso da energia nuclear são atuais na nossa sociedade. A proposta de uma fonte de energia abundante, potencialmente limpa e segura, instiga diversos países a olharem para a energia nuclear como uma alternativa viável para suprir suas necessidades energéticas. Porém, o fato da mesma ter sido utilizada na produção de materiais bélicos, acarretou em uma enorme desaprovação e receio da população fazendo com que muitas pessoas desenvolvessem um certo medo em relação à energia nuclear e tudo o que pudesse estar ligado a ela, se intensificando ainda mais depois de alguns acidentes ocorridos em usinas nucleares, como em Chernobyl e Fukushima. Essas problemáticas muitas vezes podem inibir que também existem diversos benefícios no uso desta fonte energética. A energia atômica possui uma grande importância e a radiação está sempre presente nas nossas vidas, sendo emitidas de locais que nem percebemos, como aparelhos que estão dentro de nossas casas e até mesmo do próprio sol. Neste trabalho, tentaremos desmistificar a energia nuclear a fim de se obter um debate honesto, mostrando que ela possui diversas vantagens, sendo bastante utilizada em várias áreas principalmente quando é convertida em energia elétrica. Será explorado também os efeitos da radiação no organismo e ambiente, e o panorama da energia nuclear no mundo, visando esclarecer se o uso da energia nuclear é sustentável a ponto de se tornar factível em grande escala na nossa sociedade, e sua perspectiva para o futuro.

Palavras-chave: Energia; Núcleo; Radioatividade; Sustentabilidade; Reatores.

ABSTRACT

Debates about the use of nuclear energy are current in our society. The proposal of an abundant, potentially clean and safe energy source instigates several countries to look at nuclear energy as a viable alternative to supply their energy needs. However, the fact that it has been used in the production of war materials has led to enormous disapproval and fear among the population, causing many people to develop a certain fear of nuclear energy and everything that could be connected to it, intensifying even more after some accidents at nuclear power plants, such as Chernobyl and Fukushima. These problems can often inhibit the fact that there are also many benefits to using this energy source. Atomic energy has a great importance and radiation is always present in our lives, being emitted from places that we do not even notice, such as devices that are inside our homes and even the sun itself. In this paper, we will try to demystify nuclear energy in order to have an honest debate, showing that it has several advantages, being widely used in various areas, especially when it is converted into electricity. The effects of radiation on the body and the environment will also be explored, as well as the panorama of nuclear energy in the world, aiming to clarify whether the use of nuclear energy is sustainable enough to become feasible on a large scale in our society, and its perspective for the future.

Keywords: Energy; Nucleus; Radioactivity; Sustainability; Reactors

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVOS	11
2.1 Objetivo Geral	11
2.2 Objetivos Específicos	11
3 REFERENCIAL TEÓRICO	12
3.1 O que é energia nuclear	12
3.1.1 <i>Radioatividade</i>	12
3.2 Obtenção da energia nuclear	14
3.2.1 <i>Usina nuclear</i>	14
3.2.2 <i>Fissão nuclear</i>	15
3.2.3 <i>Fusão nuclear</i>	17
3.3 Problemáticas da energia nuclear	18
3.3.1 <i>A possibilidade de acidentes nas usinas</i>	18
3.3.2 <i>Rejeitos radioativos</i>	19
3.3.3 <i>Os efeitos da radiação ionizante no organismo</i>	21
4 DELINEAMENTO METODOLÓGICO	22
5 RESULTADOS	23
6 DISCUSSÃO	31
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	32
REFERÊNCIAS	33

1 INTRODUÇÃO

A energia é um fator indispensável para o desenvolvimento da vida. No início de seu desenvolvimento evolutivo, o ser humano utilizou a energia disponível no ambiente, obtida através dos processos ecológicos, a fim de atender suas necessidades primárias. A medida que o homem passa a dominar o fogo e desenvolver técnicas de agricultura e domesticação de animais, começa a armazenar energia extra para sua sobrevivência, abrindo margem para o foco em outras atividades, intensificando assim o seu desenvolvimento como espécie e sociedade (BURATTINI, 2008).

Com isso, acontece o aumento de sua necessidade energética, fazendo com que ocorra o aprimoramento e busca por novas fontes de energia ao longo de sua história. Dentre tais fontes, a energia elétrica é uma das mais importantes, e que propiciou um grandioso progresso tecnológico (FARIAS; SELLITTO, 2011).

A eletricidade causou uma grande revolução nos sistemas energéticos devido a sua versatilidade e utilidade, fazendo com que seja necessário novas maneiras de gerar essa energia elétrica em grande escala, dada a demanda da mesma que não parava de aumentar. Atualmente pode-se obter energia elétrica de diversas formas, tais como: através do vapor, combustíveis fósseis, do vento, da água, dos raios solares, entre outras (BURATTINI, 2008). Entre todas elas, iremos destacar a energia nuclear, a qual é possível extrair grandes quantidades de energia de maneira relativamente limpa, porém sendo uma das formas de obtenção de energia mais perigosas se não manuseada adequadamente, podendo acarretar sérios acidentes causando prejuízos econômicos, ambientais, sociais e na saúde das pessoas nas áreas afetadas. Por conta de alguns desses riscos, e alguns fatos marcantes ocorridos ao longo da história, a energia nuclear acabou ficando mal vista pela sociedade, gerando certo medo e desconfiança quanto ao seu uso em diversos países (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA, 2016).

No Brasil, hoje em dia, há duas usinas nucleares em operação, a angra 1 e a angra 2 (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2008). Porém a sua produção é bem menor que a gerada pelas hidrelétricas, principal fonte de energia elétrica do país. O grande potencial hídrico, a riqueza de recursos naturais, e a

disponibilidade de excelentes condições geográficas e climáticas fazem com que o desenvolvimento de uma matriz energética utilizando fontes de energias renováveis

seja posta em debate no país (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA, 2016).

Segundo Hewitt (2015) a energia nuclear é gerada a partir dos processos de fissão e fusão nuclear, no qual ocorrem transformações de núcleos atômicos onde alguns isótopos de certo elemento possuem a capacidade de se transformar em outro isótopo, ou elemento através de reações nucleares.

Neste trabalho, analisaremos a relação da sociedade e a energia nuclear, explorando seus benefícios e malefícios visando uma discussão acerca do seu uso como matriz energética potencialmente limpa e que venha a suprir as demandas de energia. Também demonstraremos o que é, e como obter tal recurso, a fim de elucidar e desmistificar o uso do mesmo.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Discutir acerca do uso da energia nuclear nos dias atuais, apresentando seus pontos negativos e positivos, na tentativa de encontrar formas cada vez mais seguras e sustentáveis de tê-la como possível opção para suprir a demanda de energia da atualidade e em um futuro próspero.

2.2 Objetivos Específicos

- Esclarecer o que é a energia nuclear e como ela é obtida;
- Analisar o uso da mesma no mundo e no Brasil;
- Expor seus benefícios e também os riscos;
- Discutir sobre o seu uso na atualidade e perspectivas para o futuro.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 O que é energia nuclear

Energia nuclear é a energia liberada em reações nucleares, reações essas que podem fragmentar um núcleo atômico ou unir dois núcleos formando um só, ambos processos liberam grandes quantidades de energia (HEWITT, 2015). Elementos químicos podem possuir átomos com quantidades diferentes de nêutrons em seu núcleo. Aqueles que possuem quantidades iguais de prótons e diferem na quantidade de nêutrons recebem a denominação de isótopos do elemento (KNIGHT, 2009). Com isso, núcleos atômicos podem ser classificados como estáveis ou instáveis. Estáveis são núcleos que possuem combinação de nêutrons e prótons desejável para que os prótons fiquem tão próximos que a força nuclear forte seja maior que a repulsão elétrica. Já os instáveis possuem combinações que fazem com que a repulsão elétrica se sobressaia à força nuclear forte, esses núcleos são chamados de isótopos radioativos e emitem energia na forma de ondas eletromagnéticas ou de partículas, até alcançar sua estabilidade (GONÇALVES; ALMEIDA, 2005).

Segundo Hewitt (2015) a grande maioria dos átomos que convivemos diariamente são estáveis. Isso significa que não passarão por transformações em seu núcleo atômico, e continuará sempre com o mesmo número de prótons e nêutrons acarretando na não emissão de radiações. Aqueles elementos que possuem número atômico maior que 82 são elementos radioativos assim como seus demais isótopos.

3.1.1 Radioatividade

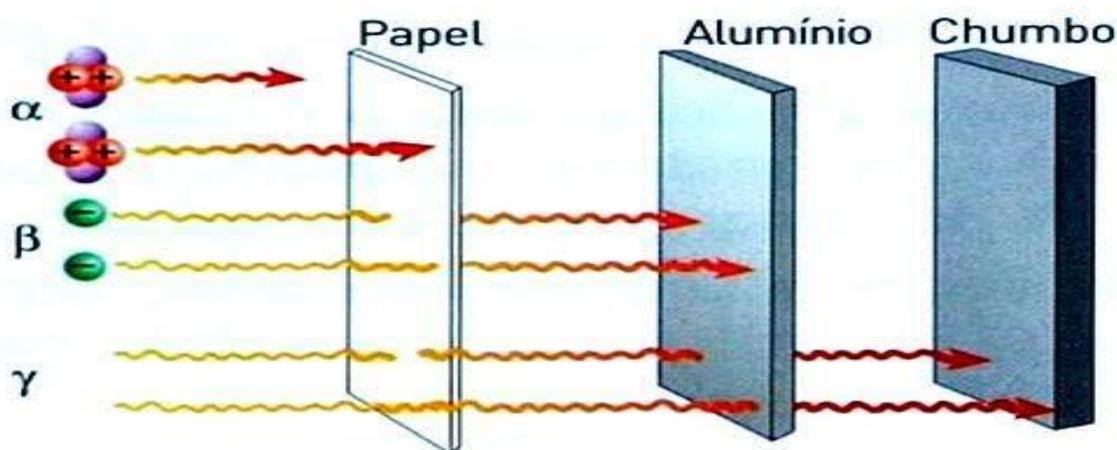
A radiação nuclear é uma forma de transferência de energia que ocorre quando há alguma alteração no núcleo atômico, tal radiação pode ser emitida na forma de ondas eletromagnéticas, como os raios gama, como também na forma de partículas, como a alfa e beta (DAFRE; MARIS, 2013). Radiações podem ser

classificadas como ionizantes ou não ionizantes, sendo as ionizantes radiações capazes de arrancar um elétron de um átomo ou molécula, ao qual ele esteja ligado

por forças elétricas. Radiações que não possuem essa capacidade são aquelas classificadas como não ionizantes (OKUNO; YOSHIMURA, 2010).

As radiações alfa, beta e gama são consideradas as principais emissões radioativas emitidas pelo núcleo de elementos radioativos naturais (KNIGHT, 2009). Seguindo a linha de raciocínio exposta por Dafre e Maris (2013), as partículas alfa são fragmentos do núcleo emitidos, estas são constituídas por dois prótons e dois nêutrons, assim como o núcleo de um átomo de hélio (He), porém sem possuir os dois elétrons que o mesmo possui em sua eletrosfera. A partícula alfa possui um poder de penetração bem reduzido, devido ao seu grande tamanho e principalmente devido a sua atração por elétrons que faz com que uma partícula alfa ao interagir com a matéria arranque dois elétrons e se estabilize transformada em um átomo de hélio. Já as partículas beta são constituídas por elétron ou pósitron emitido pelo núcleo de átomos instáveis, essa possui baixo poder de penetração, devido a sua repulsão a elétrons. Por fim, a radiação gama é formada por ondas eletromagnéticas emitidas por núcleos instáveis, ela acontece logo após à emissão de uma partícula alfa ou beta. A radiação gama não tem massa e possui alto poder de penetração.

Figura 1: Demonstração esquemática da capacidade penetrativa das radiações alfa, beta e gama. Alfa, menos penetrativa, não consegue transpor o papel. Beta, um pouco mais penetrante, porém não consegue transpor o alumínio. Já a gama, mais penetrante, só é bloqueada por materiais como chumbo.



Fonte: (Radiação o blog, 2016)

3.2 Obtenção da energia nuclear

3.2.1 Usina nuclear

Usinas nucleares são usinas termelétricas que funcionam aquecendo a água que vira um vapor pressurizado que faz com que o gerador rode para assim produzir energia elétrica. O vapor passa pela turbina, chega em um condensador que o transforma em estado líquido novamente, podendo ainda ser reaquecido. Então, obtém-se a energia elétrica (GONÇALVES; ALMEIDA, 2005).

Em um reator a água pressurizada (que são os reatores utilizados no Brasil), tem como combustível o urânio processado, isso significa que o urânio é extraído da natureza passa por um (enriquecimento) para que de 0,7% do isótopo ^{235}U chegue a cerca de 3,5%.(GONÇALVES; ALMEIDA, 2005)

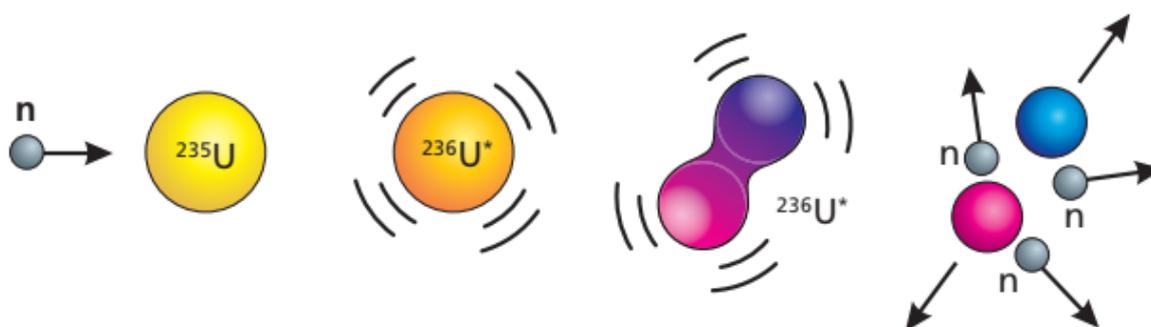
Segundo a FGV Energia (2016), ciclo do combustível nuclear é o nome que se dá ao conjunto de processos de obtenção de combustível que gera energia nos reatores nucleares e passa por diversas etapas que formam o ciclo do combustível. Essas etapas são divididas em:

- Mineração: retirada do capeamento de solo, a rocha contendo urânio é triturada;
- Beneficiamento: em seguida, ela é submetida a um processo químico que separa o urânio de outros materiais a ele associados na natureza. O resultado dessas etapas é o *Yellow cake*;
- Enriquecimento: é o aumento na concentração de urânio;
- Reconversão : o gás enriquecido é reconvertido para o estado de pó;
- Fabricação de pastilhas: a partir da compactação do pó que são fabricadas pastilhas com cerca de um centímetro de diâmetro;
- Fabricação do combustível nuclear: as pequenas pastilhas são colocadas em cilindros metálicos que irão formar os elementos combustíveis do núcleo do reator.

3.2.2 Fissão nuclear

O processo de fissão nuclear consiste, basicamente, no alongamento do núcleo até um ponto de deformação crítica, onde a força elétrica se torna maior que a força atômica levando à sua divisão, podendo dar origem a várias combinações distintas de núcleos menores. Este processo envolve um equilíbrio delicado entre atração nuclear e repulsão elétrica entre os prótons presentes no interior do núcleo (TIPLER; LLEWELLYN, 2014). A fissão nuclear pode ocorrer com o bombardeio de nêutrons em núcleos pesados como urânio 235 ou de maneira espontânea, ambos liberando enormes quantidades de energia (TAVARES, 2019). Um nêutron com elevada quantidade de energia cinética ao colidir com um núcleo de maior massa, como o urânio-235, torna-o ainda mais pesado, o que o faz fissionar-se em dois núcleos mais leves de massa, quando somados, menor que o anterior, pois foi convertida em energia. Essa reação também libera, além de energia, de 2-3 nêutrons (FIGURA 1) (RIBEIRO, 2015).

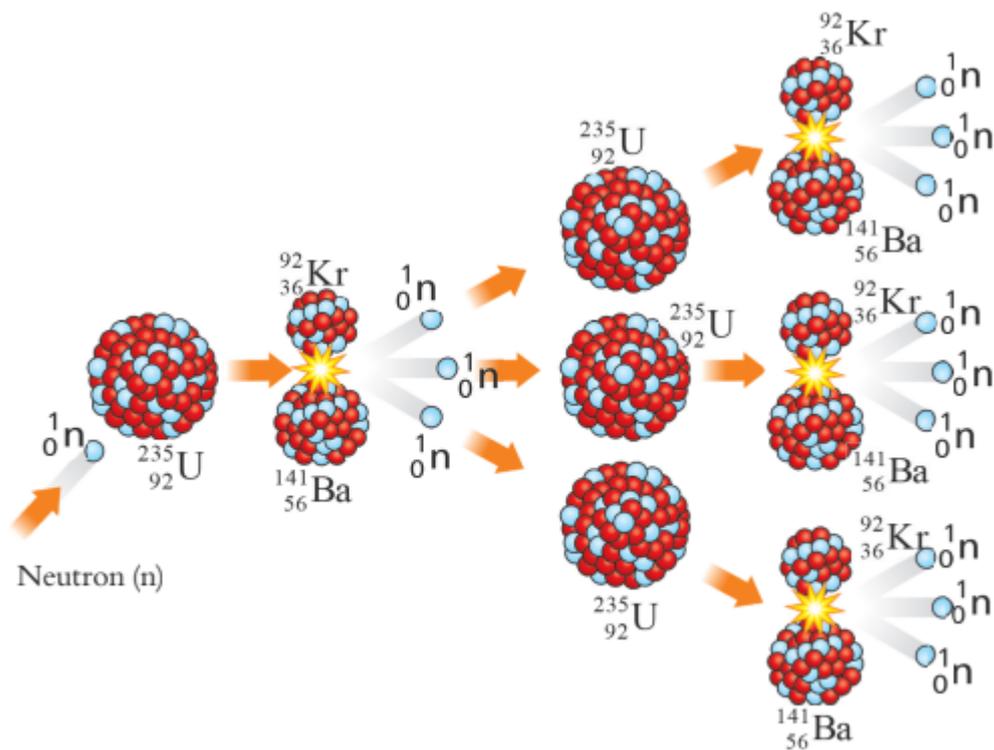
Figura 2: Descrição esquemática da fissão nuclear.



Fonte: (CARVALHO; OLIVEIRA, 2017)

Esses nêutrons liberados na primeira fissão podem se chocar com outros núcleos de urânio-235 próximos realizando mais fissões emitindo, cada, dois ou três nêutrons que podem ser chocar com novos núcleos desencadeando assim uma cascata de fissões nucleares, esse fenômeno recebe o nome de fissão nuclear em cadeia ou reação em cadeia (FIGURA 2) (RIBEIRO, 2015).

Figura 3: Fissão nuclear em cadeia

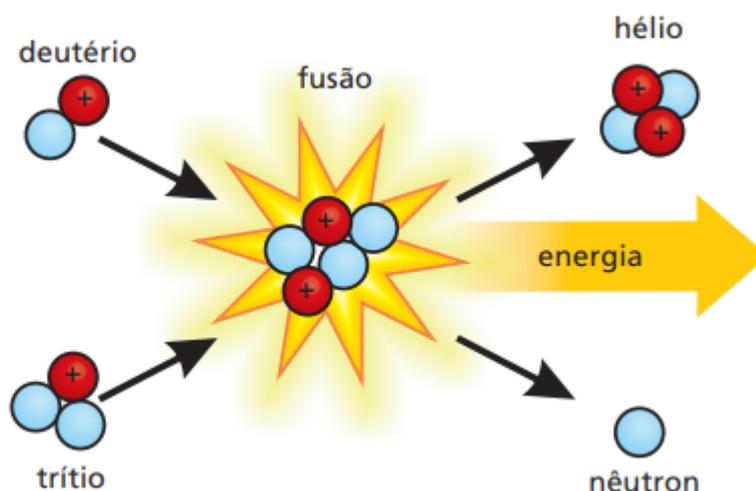


Fonte: (CARVALHO; OLIVEIRA, 2017)

3.2.3 Fusão nuclear

De maneira oposta à fissão nuclear, temos a fusão nuclear, que é determinada quando dois núcleos leves que se combinam, se fundem, gerando energia. Em um reator, para que haja a fusão dos núcleos, eles precisam se colidir a velocidades exorbitantes com o objetivo de se aproximarem tanto a ponto de superar a força de repulsão elétrica e a força nuclear forte começar a atuar. Esses números de velocidade são equivalentes à temperatura atingida no centro do Sol e de outras estrelas. Este tipo de fusão é chamado de fusão termonuclear (HEWITT, 2015).

Figura 4: Descrição esquemática da fusão. Onde o deutério e trítio, ambos isótopos de hidrogênio, são aproximados a distância tão curta, a ponto de se fundirem liberando um nêutron e virando um núcleo de hélio, nesse processo é liberada uma quantidade gigante de energia.



Fonte: (CARVALHO; OLIVEIRA, 2017)

3.3 Problemáticas da energia nuclear

3.3.1 A possibilidade de acidentes nas usinas

As usinas nucleares trabalham com materiais extremamente energizados e radioativos, e é inevitável pensar na possibilidade de algum acidente nuclear ocorrer, por mais raro que seja. Por mais que as usinas possuam uma tecnologia robusta voltada a prevenção de acidentes, fenômenos ambientais raros e inesperados, ou até mesmo negligência humana, podem desencadear um possível acidente (GOLDEMBERG, 2008). Abaixo, alguns acidentes marcantes em usinas nucleares.

- *Three Mile Island*

No dia 28 de março de 1979 ocorreu o acidente nuclear na usina de Three Mile Island, localizada na Pensilvânia. Provocado por uma falha no equipamento de refrigeração e decisões erradas tomadas pelos funcionários, causando um grande aumento na temperatura e na pressão e levando à fusão parcial do núcleo da usina. A fim de cortar os custos, utilizaram materiais mais baratos e de menor qualidade, o que acabou prejudicando a manutenção preventiva que havia sido feita. Uma válvula de redução de pressão teria sido aberta e não foi fechada, fazendo vazar uma grande quantidade de água radioativa no Rio Susquehanna e gases radioativos na atmosfera. O Governador da Pensilvânia, onde fica localizada a usina, demorou 2 dias para iniciar a evacuação num raio de 8 km de suas instalações (MONTALVÃO, 2012).

- *Fukushima*

Em 11 de março de 2011, a usina nuclear de Fukushima, no Japão, foi comprometida devido a um terremoto com intensidade de 9,2 na escala Richter, o maior da história do país, que provocou um maremoto de 14 metros de altura. Fukushima teria sido dimensionada para suportar terremotos de até 8,1 na escala Richter, e maremotos de até 5,7 metros de altura. O maremoto inundou as instalações da usina e provocou o desligamento dos sistemas de resfriamento do

núcleo, levando à fusão parcial dos reatores 1, 2 e 3 e a liberação de gás hidrogênio, logo após houve a implosão dos prédios onde estavam os reatores devido à queima

do hidrogênio. Tudo isso acarretou no vazamento de água radioativa no mar e gases radioativos na atmosfera (MONTALVÃO, 2012).

- *Chernobyl*

O maior, e talvez mais conhecido acidente nuclear da história. Ocorrido em 26 de abril de 1986, o incidente na usina de Chernobyl, localizada na Ucrânia, aconteceu durante a realização de alguns testes para observar o funcionamento do reator a baixas energias. Os técnicos que estavam fazendo os testes não seguiram as normas de segurança, e pelo moderador de nêutrons ser a base de grafite, acabou ocorrendo rapidamente uma instabilidade no reator. O acidente foi mantido em segredo até 30 horas após o ocorrido (MONTALVÃO, 2012).

O acidente de Chernobyl alcançou o grau máximo de gravidade de acidente nuclear. Ele foi causado por conta da junção de três eventos: falha humana, irresponsabilidade do governo, por não ter evacuado a área em tempo hábil; e a tecnologia ultrapassada da usina (MONTALVÃO, 2012).

3.3.2 *Rejeitos radioativos*

A energia nuclear é a forma de geração de energia que menos produz rejeitos, porém, os poucos produzidos precisam ser muito bem cuidados e guardados, já que podem durar por milhares de anos. Existem três tipos de rejeitos nucleares: rejeitos de baixa, média e alta atividade, sendo mais abundante os de média e baixa atividade, que são resultantes de processos médicos e industriais. Os rejeitos de alta atividade são produzidos pelos combustíveis usados nas usinas nucleares e guardados nelas mesmas, em áreas apropriadas para este armazenamento, e ficam lá até que haja uma solução definitiva para eles. Esses depósitos de rejeitos são gerenciados e administrados pelo país, que vem constantemente buscando melhores soluções para estes (GONÇALVES; ALMEIDA, 2005).

3.3.3 Os efeitos da radiação ionizante no organismo

Quando exposto à radiação, o organismo começa a sofrer alterações moleculares. Se esta exposição se prolongar por longos períodos, podem ocorrer até mesmo mudanças morfológicas e funcionais dos órgãos através de efeitos bioquímicos e fisiológicos. Ocorre a quebra de moléculas a partir de uma desestabilização causada pela remoção de um elétron por uma partícula ionizante (OKUNO, 2013).

Formas de ação

- Direta: Causado por radiações mais energéticas, acarretando danos ao DNA. Essas lesões são denominadas como uma alteração na estrutura do DNA, onde pode haver uma quebra simples de uma fita do DNA, ocorrendo o rompimento de uma das fitas, ou uma quebra dupla, onde o DNA cromossômico é dividido em dois. Caso haja um *crosslink*, que é a ligação de duas fitas de DNA devido a um agente intercalante, ou sensibilizador, essa lesão pode levar à morte da célula. As bases nitrogenadas podem ser separadas da fita de DNA ou quimicamente modificadas para outros derivados. As quebras duplas podem levar à perda de partes dos cromossomos ou à geração de cromossomos anormais (DAFRE; MARIS, 2013).
- Indireta: Se dá quando há a geração de substâncias lesivas, a radiação quebra a molécula de DNA, gerando radicais livres que afetam moléculas importantes para o funcionamento celular (DAFRE; MARIS, 2013).

Estágios de efeito

Os efeitos da radiação são separados em quatro estágios citados por Okuno (2013). São eles:

- Estágio físico, onde acontece a ionização do átomo
- Estágio físico-químico, onde ocorre a quebra das ligações químicas das moléculas ionizadas

- Estágio químico, quando os fragmentos da molécula ligam-se a outras moléculas
- Estágio biológico, que é quando começam a surgir as alterações fisiológicas e morfológica dos órgãos

A natureza dos efeitos biológicos possui duas classificações: reações teciduais e efeitos estocásticos.

As reações teciduais surgem após exposição a altas doses de radiação, que ultrapassam a chamada “dose miliar”, cujo valor varia a depender do tipo de radiação e do tecido exposto. A morte celular é uma das principais consequências desse tipo de reação, podendo comprometer o funcionamento do determinado órgão. Pensava-se até pouco tempo que esses efeitos apareciam rapidamente após a irradiação, mas estudos epidemiológicos realizados com os sobreviventes das bombas atômicas lançadas no Japão, mostraram que existem efeitos tardios como doenças vasculares cardíacas e cerebrais, e “catarata”, resultantes de danos teciduais (OKUNO, 2013).

Os efeitos estocásticos são alterações que aparecem em células comuns, causando câncer e efeitos hereditários, onde as células sexuais são afetadas e essas alterações podem ser repassadas para os descendentes. Esse tipo de efeito e a sua gravidade independem da dose de radiação recebida, porém, a probabilidade de ocorrerem esses efeitos aumenta dependendo da dose (OKUNO, 2013).

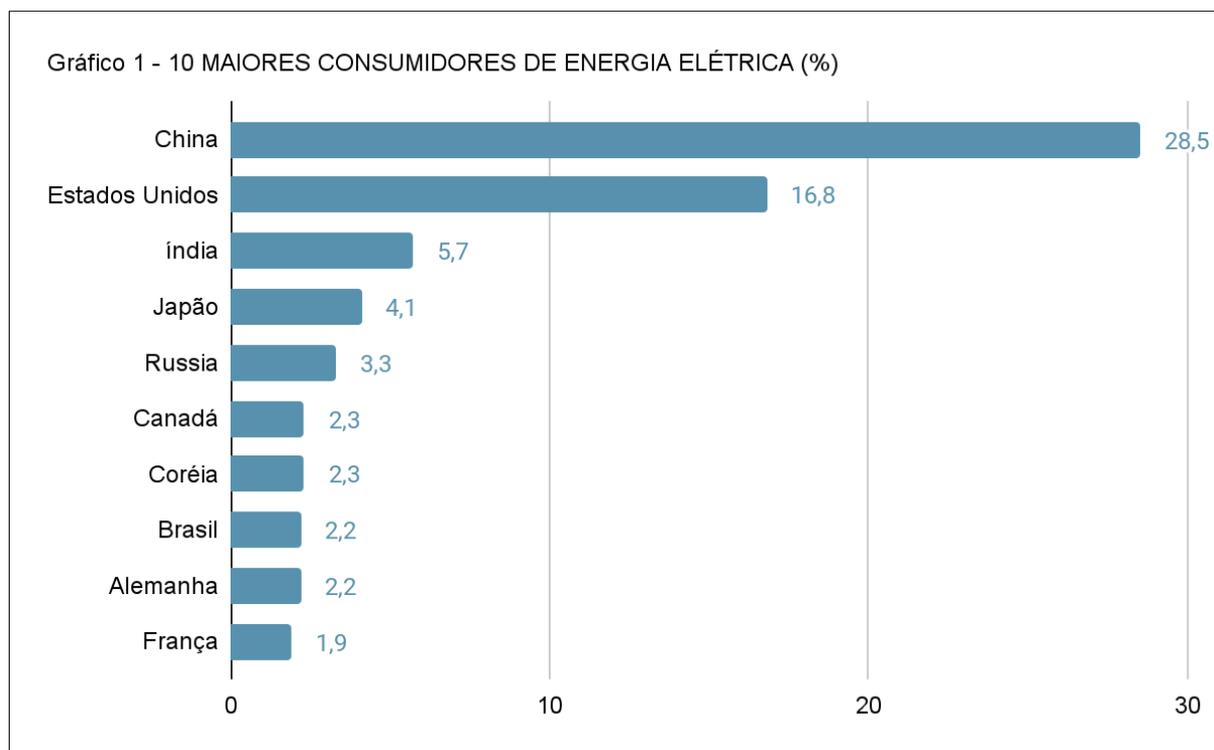
Existe também a chamada “síndrome aguda da radiação”, que são os sintomas que uma pessoa apresenta após exposição por um determinado período de tempo, que pode ir de alguns minutos a até dias. Os sintomas variam de acordo com a dose. Se for entre 0,25 a 1 Gy (abreviação de gray, que é a unidade de dose absorvida de radiação), algumas pessoas podem apresentar náusea, diarreia e depressão no sistema sanguíneo; entre 1 e 3 Gy, pode apresentar fortes infecções causadas por agentes oportunistas, além dos sintomas citados anteriormente; entre 3 e 5 Gy, o indivíduo pode ter hemorragias, esterilidade, temporária ou permanente, e perda de pelos; por volta de 10 Gy, a pessoa terá inflamação dos pulmões; e em doses que ultrapassam 10 Gy, o indivíduo apresentará danos ao sistema nervoso e cardiovascular, o levando à morte em poucos dias (OKUNO, 2013).

4 DELINEAMENTO METODOLÓGICO

Este trabalho foi realizado através de revisão bibliográfica, utilizando como plataformas de pesquisa: Livros, Revistas, Google, Google Acadêmico, SciELO, Agência Internacional de Energia (IEA), Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) e da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). A pesquisa foi realizada a partir das palavras-chave: energia nuclear, radioatividade, fissão nuclear, fusão nuclear, fontes energéticas, fontes sustentáveis, panorama energético, urânio, emissões de carbono por fontes de energia, rejeitos nucleares, energia elétrica e riscos nucleares, entre fevereiro e novembro do ano de 2021. Foram incluídos artigos, revistas, trabalhos acadêmicos, dados estatísticos e livros nos idiomas português, inglês e francês, que possuíssem informações sobre a energia nuclear e a cerca dela.

5 RESULTADOS

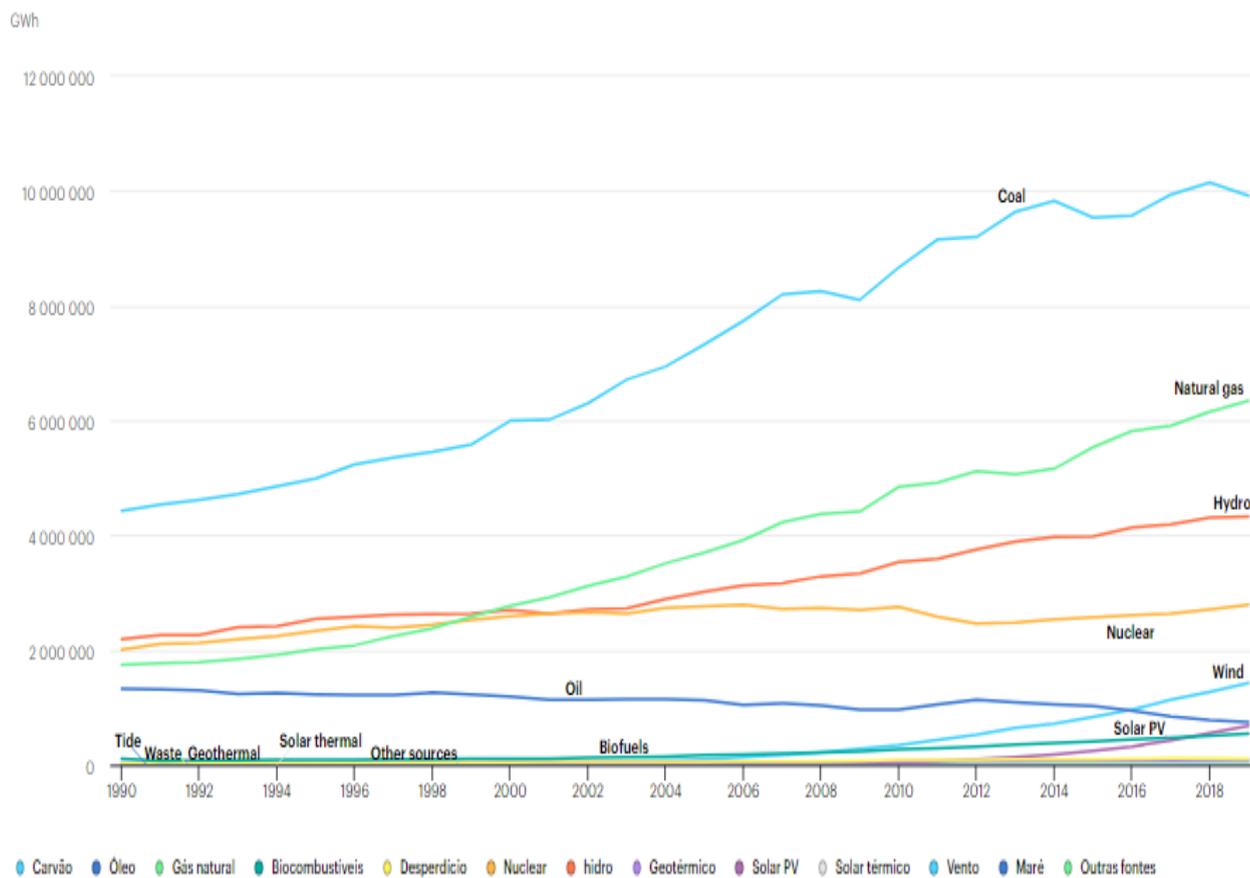
A energia elétrica é de suma importância para a vida humana, sendo necessária uma produção cada vez maior para lidar com as demandas do dia a dia que aumentam cada vez mais. O Gráfico 1 mostra os dez países que mais consomem energia elétrica no mundo.



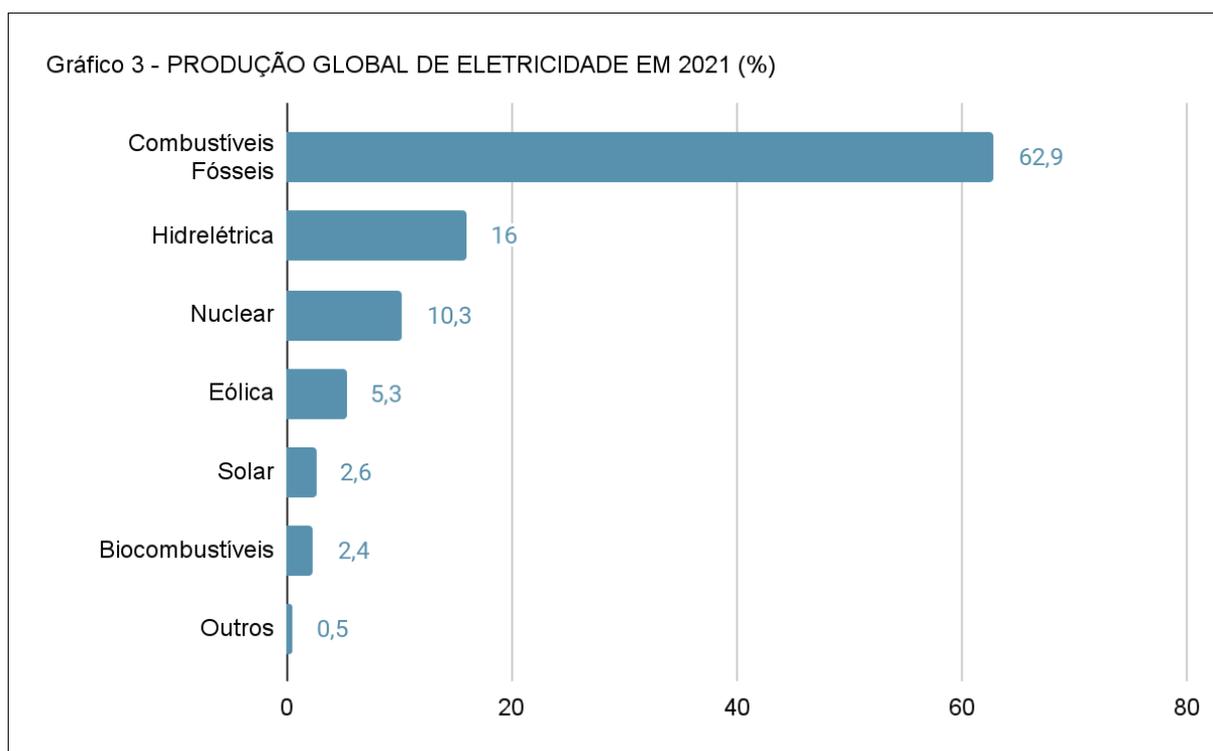
Fonte: International Energy Agency (IEA) (2021)

Diversas fontes para obtenção de eletricidade são usadas hoje em dia, mas mesmo com a cativante exigência de energia mais limpa e que não agrida o meio ambiente, os combustíveis fósseis ainda lideram a produção global. A energia nuclear, em particular, vem oscilando sua desenvoltura no cenário mundial durante os anos (Gráfico 2), em 2021, por exemplo, houve um aumento de 1,3% chegando a totalizar 10,3% da produção global de energia elétrica. No Gráfico 3 é comparado a quantidade de eletricidade produzida mundialmente a partir de cada uma das principais fontes energéticas existentes (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2021).

Gráfico 2 - Geração de eletricidade por fonte, 1999 - 2019

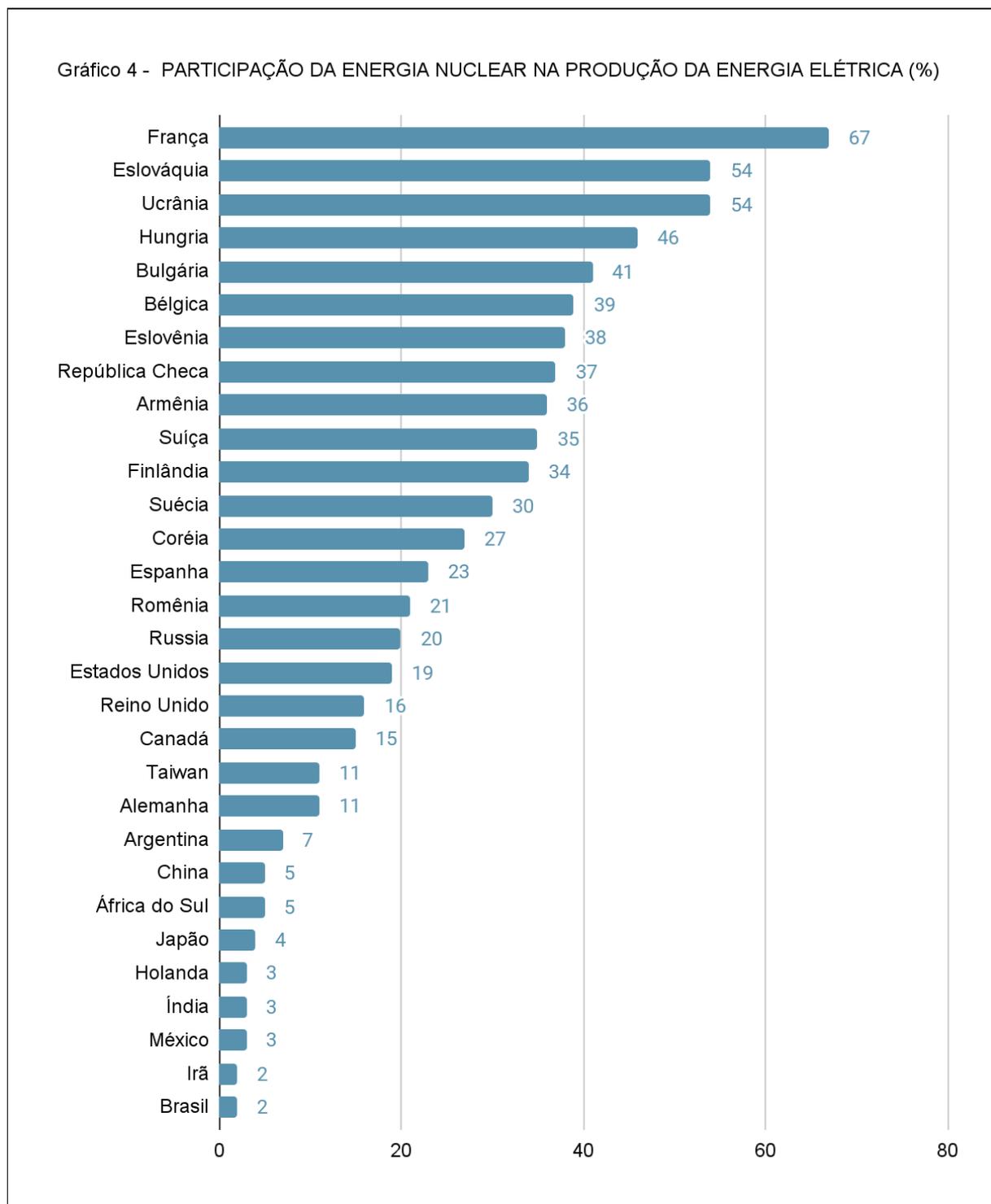


Fonte: International Energy Agency (IEA) (2019)



Fonte: International Energy Agency (IEA) (2021)

Existem países que já possuem a maior parte de sua energia elétrica produzida por usinas nucleares, enquanto alguns estão iniciando a introdução das mesmas na sua matriz energética ou, até mesmo, países que possuem condições favoráveis para a implementação de fontes renováveis. O fato é que a energia nuclear tem grande importância no panorama energético mundial, e seu uso vem crescendo a cada ano (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2021). No Gráfico 3 é mostrada a contribuição de cada país na produção de energia por fontes nucleares. Já na tabela 1 é mostrado todo panorama das estruturas nucleares apresentando respectivamente por colunas, os países, reatores em operação e sua produção, reatores em construção e sua estimada produção, e eletricidade fornecida através da opção nuclear em 2018.



Fonte: International Energy Agency (IEA) (2021)

Tabela 1 - Reatores nucleares em operação e em construção no mundo (em 31 de dezembro de 2018)

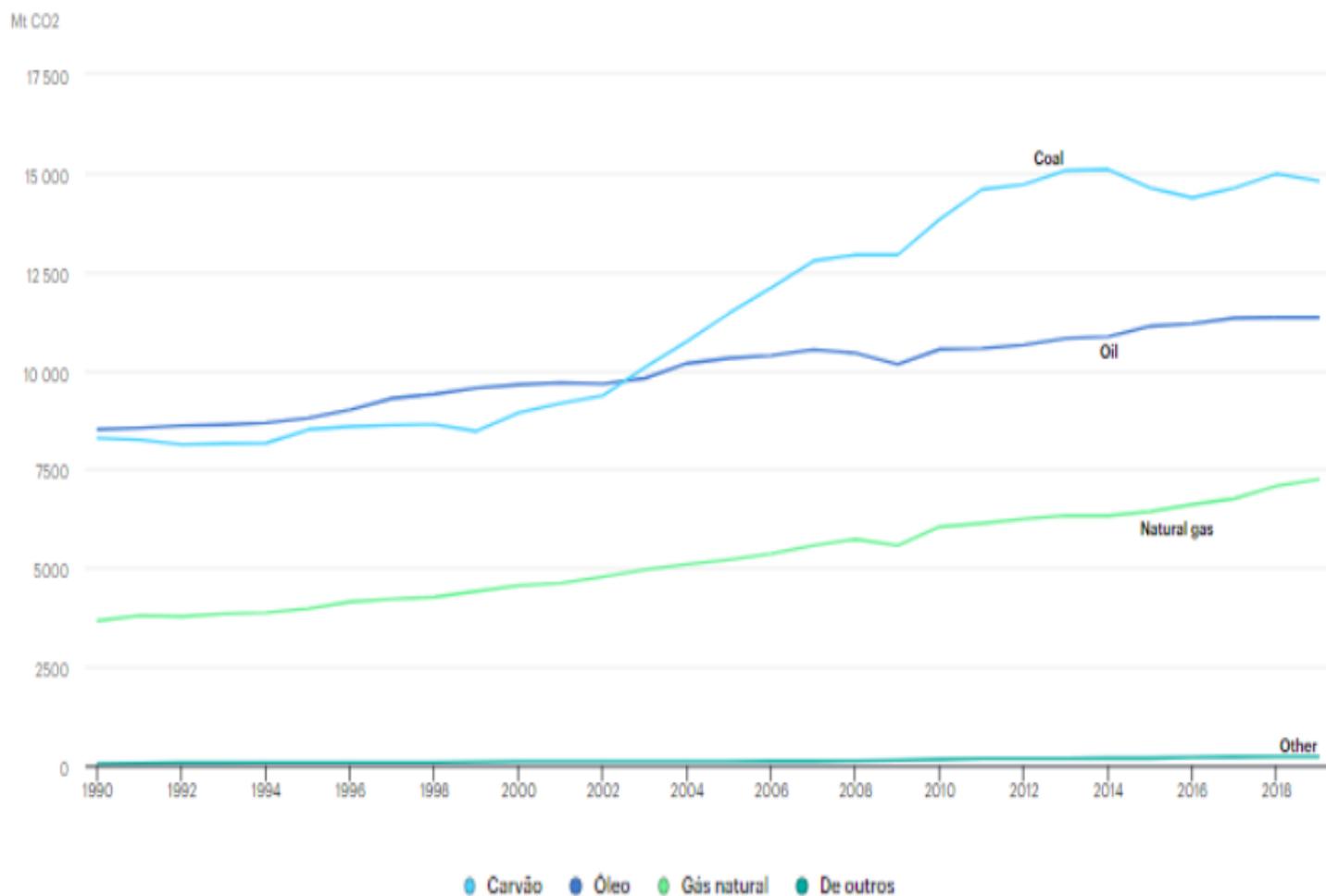
Country	Reactors in operation		Reactors under construction		Nuclear electricity supplied in 2018		Total operating experience through 2018	
	No. of units	Total MW(e)	No. of units	Total MW(e)	TW-h	% of total	Years	Months
Argentina	3	1 633	1	25	6.5	4.7	85	2
Armenia	1	375			1.9	25.6	44	8
Bangladesh			2	2 160				
Belarus			2	2 220				
Belgium	7	5 918			27.3	39.0	296	7
Brazil	2	1 884	1	1 340	14.8	2.7	55	3
Bulgaria	2	1 966			15.4	34.7	165	3
Canada	19	13 554			94.4	14.9	750	6
China	46	42 858	11	10 982	277.1	4.2	322	11
Czech Republic	6	3 932			28.3	34.5	164	10
Finland	4	2 784	1	1 600	21.9	32.4	159	4
France	58	63 130	1	1 630	395.9	71.7	2 222	4
Germany	7	9 515			71.9	11.7	839	7
Hungary	4	1 902			14.9	50.6	134	2
India	22	6 255	7	4 824	35.4	3.1	504	11
Iran, Islamic Republic of	1	915			6.3	2.1	7	4
Japan	38	36 476	2	2 653	49.3	6.2	1 863	2
Korea, Republic of	24	22 444	5	6 700	127.1	23.7	547	5
Mexico	2	1 552			13.2	5.3	53	11
Netherlands	1	482			3.3	3.1	74	0
Pakistan	5	1 318	2	2 028	9.3	6.8	77	5
Romania	2	1 300			10.5	17.2	33	11
Russian Federation	36	27 252	6	4 573	191.3	17.9	1 298	6
Slovakia	4	1 814	2	880	13.8	55.0	168	7
Slovenia	1	688			5.5	35.9	37	3

South Africa	2	1 860			10.6	4.7	68	3
Spain	7	7 121			53.4	20.4	336	1
Sweden	8	8 613			65.9	40.3	459	0
Switzerland	5	3 333			24.5	37.7	219	11
Turkey			1	1 114				
Ukraine	15	13 107	2	2 070	79.5	53.0	503	6
United Arab Emirates			4	5 380				
United Kingdom	15	8 923	1	1 630	59.1	17.7	1 604	7
United States of America	98	99 061	2	2 234	808.0	19.3	4 408	6
Total^{b, c}	450	396 413	55	56 643	2 563.0		17 880	11

Fonte: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA) (2018)

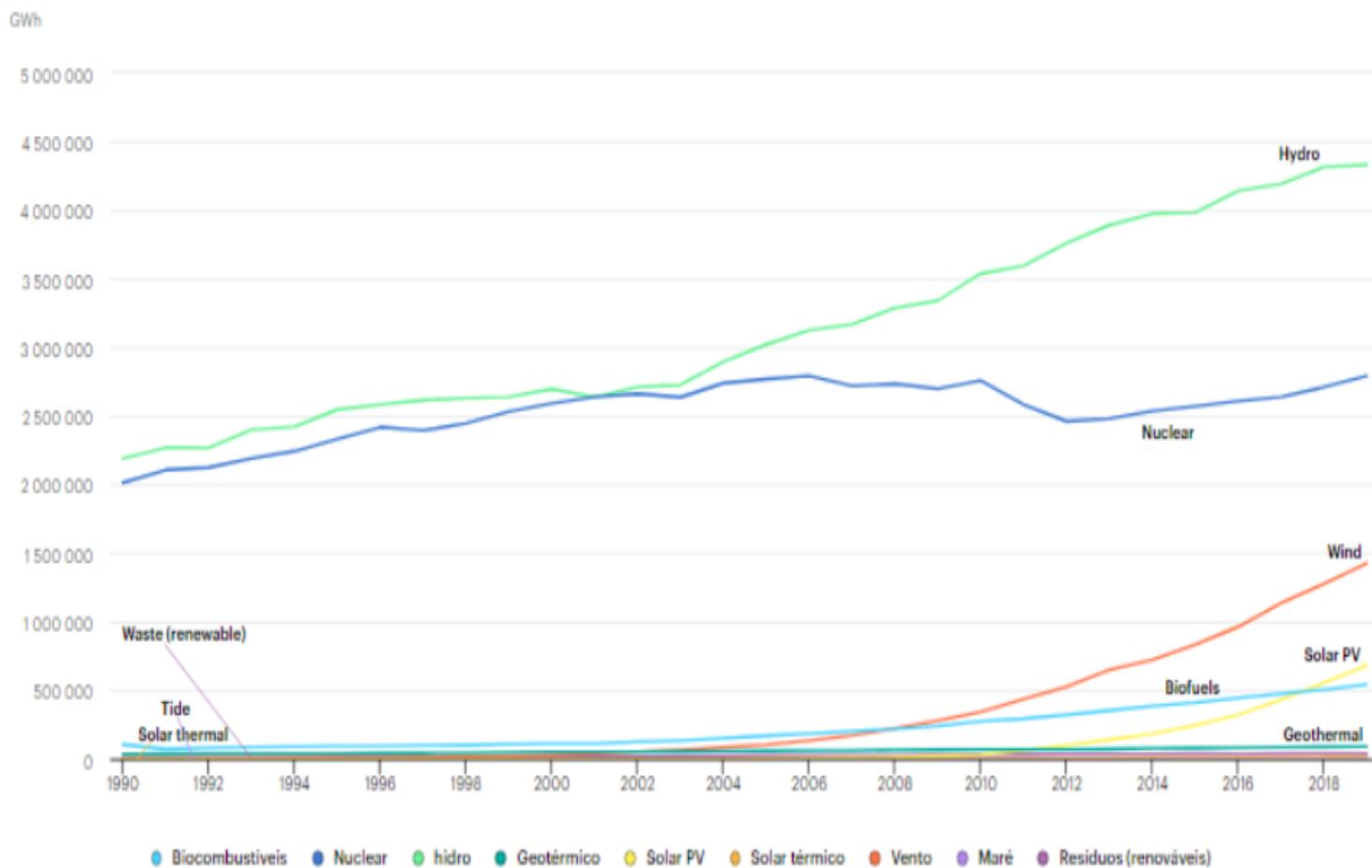
Os combustíveis fósseis seguem como os maiores emissores de gás carbônico dentre as fontes energéticas (Gráfico 5), e o que causa maior implicação é que também seguem sendo as fontes mais utilizadas. Porém, opções com baixos níveis de carbono na produção existem e começam a ganhar força no cenário energético (Gráfico 6), mesmo que aos poucos. A energia nuclear é uma delas (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2019).

Gráfico 5 - Emissões de CO2 por fontes de energia, Mundo 1990-2019



Fonte: INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA) (2019)

Gráfico 6 - Geração de eletricidade de baixo carbono por fonte, Mundo 1990-2019



Fonte: INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA) (2019)

6 DISCUSSÃO

Mesmo com seu alto custo inicial e de manutenções, e alguns potenciais riscos, a energia nuclear é uma matriz energética que consegue produzir em grandes quantidades, e, se manuseada corretamente, uma usina nuclear pode durar por vários anos trazendo baixo prejuízo ao meio ambiente, tornando-se assim uma opção bastante viável e vantajosa.

Com a constante evolução da tecnologia e surgimento de cada vez mais novos aparelhos eletrônicos, a sociedade atual clama por fontes de energia de alta produção, haja visto que a demanda por energia elétrica está crescendo cada vez mais, tornando assim a eletricidade um fator fundamental nas nossas vidas. Mas não basta apenas gerar mais energia, isso deve ser feito de forma sustentável, sem trazer danos à natureza, por isso é importante que as fontes sejam renováveis e é neste ponto que as usinas nucleares se tornam uma ótima opção, pois geram uma grande quantidade de energia sem prejudicar o ambiente.

Fazendo uma pequena comparação, uma tonelada de urânio produz a mesma quantidade de energia que 9000 toneladas de petróleo, que é o tipo de combustível mais prejudicial à natureza devido aos gases liberados durante sua queima; um reator de água pressurizada gera cerca de 2800 MW térmicos que geram aproximadamente 900 megawatts de energia elétrica, isso corresponde à eletricidade obtida pela queima de uma tonelada de petróleo a cada 15 segundos (DJOUHRI, 2019).

- Por não utilizarem combustíveis fósseis, as usinas nucleares não liberam gases que contribuem para o efeito estufa;
- As usinas nucleares não dependem do clima para funcionarem corretamente;
- Os custos com combustível para a usina não é tão alto, já que há uma certa abundância de urânio;

O maior perigo da energia nuclear, é a radiação ionizante que seria espalhada pela área aos seus arredores no caso de um acidente em grande escala que comprometesse a estrutura da usina e liberasse o urânio que estaria sendo utilizado como combustível.

Os rejeitos deixados pelo combustível das usinas nucleares também podem trazer um certo risco, uma vez que liberam radiação. Porém, assim como o próprio

combustível, esses rejeitos só apresentam perigo caso não recebam os devidos cuidados e sejam liberados na natureza. Cada usina possui um espaço apropriado para armazenar esses materiais até que haja uma solução para tais (GONÇALVES; ALMEIDA, 2005).

No Brasil, de acordo com a Eletrobras Eletronuclear (2019), os rejeitos são tratados de formas diferentes dependendo da sua classificação:

- Rejeitos de baixa radioatividade passam por um processo de descontaminação. Alguns deles são triturados e prensados, e armazenados em um recipiente que bloqueia a passagem dessa radiação;
- Resíduos de média radioatividade são guardados em uma matriz sólida de cimento e colocados em um recipiente de aço apropriado;
- Os elementos de alta radioatividade, que já foram utilizados para a produção de energia, são mantidos dentro de piscinas especiais dentro dos prédios de segurança da usina. Esses materiais, depois de reprocessados, podem ser reutilizados no futuro como combustível novamente.

Os rejeitos são deixados em depósitos na Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto (CNAAB) até que a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) decida um local definitivo para o armazenamento dos mesmos (ELETROBRAS ELETRONUCLEAR, 2019).

Atualmente a energia nuclear começa a retomar a confiança das pessoas, mesmo após os incidentes ocorridos.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A energia nuclear apresenta um futuro promissor para se tornar uma grande fonte de energia no futuro. O receio quanto a ela vai caindo pouco a pouco, conforme vai sendo estudada, é entendido que a energia nuclear não é um grande perigo quando se é manuseada com cuidado, respeito e alto conhecimento sobre, mas com negligência sim. Pesquisas sobre a energia nuclear sendo produzida através do método de fusão trazem uma esperança de produção nuclear em larga escala sem risco de acidentes radioativos, como na fissão. Um futuro próspero onde

desenvolvêssemos usinas para extrair a energia nuclear por fusão seria bem interessante na visão sustentável, já que não agrediria o meio ambiente, tem grande produção e não fica tão refém de condições ambientais específicas.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 3. ed. - Brasília: Aneel, 2008.

BURATTINI, Maria. **Energia: uma abordagem interdisciplinar**. São Paulo: Livraria da Física, 2008.

CARVALHO, R.; OLIVEIRA, S. **Aplicações da energia nuclear na saúde** [livro eletrônico]. São Paulo: SBPC; Viena: IAEA, 2017. Disponível em: <<http://portal.sbpcnet.org.br/livro/energianuclearnausaude.pdf>>

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Energia nuclear: questões para o debate no Brasil**. - Brasília: CNI, 2016.

DAFRE, A.; MARIS, A. **Efeitos Biológicos das Radiações**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2013.

DJOUHRI, Smail. **L'énergie nucléaire**. The Algerian Journal of Political Sciences and International Relations, Argélia, v. 10, n. 2, p. 249-275, 2019.

ELETROBRAS ELETRONUCLEAR. **Gerenciamento de resíduos**, 2019. Disponível em <<https://www.eletronuclear.gov.br/Sociedade-e-Meio-Ambiente/Paginas/Gerenciamento-de-residuos.aspx>>. Acesso em: 28, set. de 2021.

ENERGIA nuclear. **Cadernos FGV Energia**, Rio de Janeiro, Ano 3, n. 6, p. 1-80, abr. 2016

GOLDEMBERG, José. **Os riscos da energia nuclear**. ComCiência, Campinas, n. 104, 2008. Disponível em <http://comciencia.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1519-76542008000700011&lng=pt&nrm=is>. Acesso em: 29, nov. de 2021.

GONÇALVES, O.; ALMEIDA, I. **A Energia Nuclear e Seus Usos na Sociedade**. Ciência Hoje, Rio de Janeiro, v. 37, n. 220, p. 36-44, 2005.

HEWITT, Paul. **Física Conceitual**. Porto Alegre: Bookman, 2015.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY: IAEA. **IAEA ANNUAL REPORT 2018**, 2018. Disponível em: <https://www.iaea.org/sites/default/files/gc/gc63-5.pdf>
Acesso em: 20, nov. de 2021.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY: IEA. **Low-carbon electricity generation by source**, 2021. Disponível em:
<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-browser?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=ElecGenByFuelLC> Acesso em: 20, nov. de 2021.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY: IEA. **CO2 emissions by energy source**, 2021. Disponível em:
<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-browser?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=ElecGenByFuelLC> Acesso em: 20, nov. de 2021.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY: IEA. **Power generation by source**, 2019. Disponível em:
<<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-browser?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=ElecGenByFuelLC>>. Acesso em: 20, nov. 2021

KNIGHT, Randall. **Física 4 : uma abordagem estratégica**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

MONTALVÃO, Edmundo. **Energia nuclear: risco ou oportunidade?** Brasília: Senado Federal, 2012. 19 p. (Texto para discussão: n. 108).

OKUNO, Emico. **Efeitos biológicos das radiações ionizantes. Acidente radiológico em Goiânia**. Revista Estudos Avançados, São Paulo, v. 27, n. 77, p. 185-199, 2013.

OKUNO, E.;YOSHIMURA, E. **Física das Radiações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

RADIAÇÃO O BLOG. **Raios gama**, 2016. Disponível em:
<https://radiacaoblog.wordpress.com/2016/03/25/raios-gama/> Acesso em: 27, nov. de 2021.

RIBEIRO, Daniel. **Fissão nuclear**. Rev. Ciência Elementar, v.2, n.4:082, Dez. 2014.

SHARE of Nuclear in Electricity Production. **IEA Energy Atlas**, 2021. Disponível em:
<<http://energyatlas.iea.org/#!/tellmap/-1118783123/4>>. Acesso em: 17, set. de 2021.

SELLITTO, M.; FARIAS, L. **Uso da energia ao longo da história: evolução e perspectivas futuras**. Revista Liberato, Novo Hamburgo, v. 12, n. 17, p. 01-106, jan./jun. 2011.

TAVARES, Odilon. **80 anos da fissão nuclear: a mais abundante fonte de energia disponível para a humanidade**. Ciência e sociedade - CBPF, Rio de Janeiro, v.2, n.18, p. 19-34, 2019.

TIPLER, P.; LLEWELLYN, R. **Física moderna**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014.