Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA
Engenharia de Energia

Elaboração de material educativo para difundir conhecimentos a respeito de energia nuclear

Autor: Lorenna Karolinny Araujo Marques
Orientador: Prof. Dr. Ronni Geraldo Gomes de Amorim

Brasília, DF
2018

Lorenna Karolinny Araujo Marques

Elaboração de material educativo para difundir conhecimentos a respeito de energia nuclear

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia de Energia, da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia.

Universidade de Brasília - UnB

Faculdade UnB Gama - FGA

Orientador: Prof. Dr. Ronni Geraldo Gomes de Amorim

Coorientador: Prof. Dr.Leandro Xavier Cardoso

Brasília, DF

2018

Lorenna Karolinny Araujo Marques
Elaboração de material educativo para difundir conhecimentos a respeito de energia nuclear/ Lorenna Karolinny Araujo Marques . – Brasília, DF, 2018-
81 p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Ronni Geraldo Gomes de Amorim

Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA , 2018.

1. Material Educativo. 2. Energia Nuclear. I. Prof. Dr. Ronni Geraldo Gomes de Amorim . II. Universidade de Brasília. III. Faculdade UnB Gama. IV. Elaboração de material educativo para difundir conhecimentos a respeito de energia nuclear

CDU 02:141:005.6

Lorenna Karolinny Araujo Marques

Elaboração de material educativo para difundir conhecimentos a respeito de energia nuclear

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia de Energia, da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia.

Trabalho aprovado. Brasília, DF, 06 de Julho de 2018:

Prof. Dr. Ronni Geraldo Gomes de Amorim
Orientador

Profa. Dra. Marília Miranda Forte Gomes
Convidado 1

Prof. Dr. Wytler Cordeiro dos Santos
Convidado 2

Brasília, DF
2018

"Nada na vida é para ser temido,
é apenas para ser compreendido.
Agora é a hora de entendermos mais,
para que possamos temer menos."
(Marie Curie)

Resumo

A energia nuclear é uma das possíveis soluções para a expansão da matriz energética brasileira, porém ainda possui grande resistência por parte da população em aceita-la. Considerando este fato, o presente trabalho possui por objetivo a elaboração e aplicação de material educativo para conscientização popular a respeito da energia nuclear. Para isto foi realizada uma revisão bibliográfica, sobre os principais fatores a respeito desta tecnologia. Entre os assuntos explanados se encontram a geração de energia por meio do núcleo, seus benefícios e malefícios, a quantidade de reatores no mundo. Como também a segurança dos reatores e os acidentes nucleares já ocorridos. Possui como resultado a elaboração e aplicação de uma cartilha educativa, que foca nos principais fatores da energia nuclear de maneira dinâmica, para fácil entendimento de pessoas leigas visando uma solução para a falta de informação popular a respeito da energia nuclear.

Palavras-chaves: Energia Nuclear. Cartilha. Informação. Aceitação Popular.

Abstract

Nuclear energy is one of the solutions for the expansion of Brazilian energy integrity, although there is still great resistance to the part of the population in accepting it. Considering this fact, the present work aims at the elaboration and application of educational material for popular awareness about nuclear energy. For this, a bibliographical review was carried out on the main factors regarding this technology. Among the subjects discussed are the generation of energy through the core, its benefits and harms, the number of reactors in the world.As well as the safety of nuclear reactors and nuclear accidents. It has as a result the elaboration and application of an educational booklet, which focuses on the main factors of nuclear energy dynamically, for easy understanding of lay people seeking a solution to the lack of popular information about nuclear power.

Key-words: Nuclear Energy. Spelling Book. Information. Popular Acceptance.

Lista de ilustrações

Figura 1 – População Brasileira Fonte: Banco de dados IBRD-IDA 23
Figura 2 – IDH e Consumo per capita de energia. Fonte: Adaptado de Pasternak (2000) 24
Figura 3 – Matriz Energética Brasileira 2016. Fonte: Energética (2015) 25
Figura 4 – Reação de fusão. Fonte: Adaptada de MANSO e VARANDAS (2017) . 28
Figura 5 – Reação fissão. Fonte: Adaptada de CNEN (2004) 29
Figura 6 – Reação em cadeia. Fonte: Peruzzo (2012) 30
Figura 7 – Varetas de combustível. Fonte: (CNEN, 2004) 38
Figura 8 – Vaso de pressão. Fonte: (CNEN, 2004) 39
Figura 9 – Vaso de contenção. Fonte: (CNEN, 2004) 39
Figura 10 – Edifício do reator. Fonte: (CNEN, 2004) 40
Figura 11 – Representação vaso de pressão no acidente de Three Mille Island. Fonte: (CNEN, 2004) 43
Figura 12 – Alagamento da central nuclear de Fukushima. Fonte: Tepco – Tokio Eletric Power, retirada de Colasso (2015) 45
Figura 13 – Apostilas educativas CNEN. Fonte: CNEN (2015a) 46
Figura 14 – Rota da energia nuclear.Fonte: ABEN (2014) 47
Figura 15 – Página inicial da campanha Nuclear Footprints. Fonte: WNA (2016). . 48
Figura 16 – Abaixo assinado a favor da energia nuclear. Fonte: WNA (2016). 48
Figura 17 – Capa da cartilha. Fonte: Autoria própria 54
Figura 18 – Apresentação personagem. Fonte: Autoria própria 55
Figura 19 – Energia e Desenvolvimento. Fonte: Autoria própria 56
Figura 20 – Matriz energética brasileira. Fonte: Autoria própria 57
Figura 21 – O que é energia nuclear?. Fonte: Autoria própria 58
Figura 22 – Benefícios e Malefícios. Fonte: Autoria própria 59
Figura 23 – Quantidade de usinas no Mundo. Fonte: Autoria própria 60
Figura 24 – Segurança dos reatores. Fonte: Autoria própria 61
Figura 25 – Angra 1. Fonte: Autoria própria 62
Figura 26 – Angra 2. Fonte: Autoria própria 63
Figura 27 – Acidentes nucleares. Fonte: Autoria própria 64
Figura 28 – Despedida. Fonte: Autoria própria 65
Figura 29 – Desfecho. Fonte: Autoria própria 66
Figura 30 – Gênero alunos. Fonte: Autoria própria 67
Figura 31 – Gráfico questão 1.1. Fonte: Autoria própria 67
Figura 32 – Gráfico questão 1.2. Fonte: Autoria própria 68
Figura 33 – Gráfico questão 1.3. Fonte: Autoria própria 68

Figura 34 – Gráfico questão 2.1. Fonte: Autoria própria 69
Figura 35 – Gráfico questão 2.2. Fonte: Autoria própria 69
Figura 36 – Gráfico questão 2.3. Fonte: Autoria própria 70
Figura 37 – Gênero população. Fonte: Autoria própria 71
Figura 38 – Gráfio questão 1.1 população. Fonte: Autoria própria 72
Figura 39 – Gráfio questão 1.2 população. Fonte: Autoria própria 72
Figura 40 – Gráfio questão 1.3 população. Fonte: Autoria própria 73
Figura 41 – Gráfio questão 2.1 população. Fonte: Autoria própria 73
Figura 42 – Gráfio questão 2.2 população. Fonte: Autoria própria 74
Figura 43 – Gráfio questão 2.3 população. Fonte: Autoria própria 74

Lista de tabelas

Tabela 1 – Índice de desenvolvimento humano e consumo de energia. Fonte: Autoria própria. 24
Tabela 2 – Quantidade de reatores por país. Fonte:Adaptado de Peruzzo (2012) . . 36
Tabela 3 – Acidentes nucleares. Fonte: Autoria Própria 41

Lista de abreviaturas e siglas

IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MME	Ministério de Minas e Energia
GEE	Gases de Efeito Estufa
MME	Ministério de Minas e Energia
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
TFTR	Tokamak Fusion Test Reactor
JET	Joint European Torus
ANEEL	Agencia Nacional de Energia Elétrica
AIEA	Agência Internacional de Energia Atômica
PWR	Pressurized Water Reactor
INES	International Nuclear Event Scale
CNEN	Conselho Nacional de Energia Nuclear
WNA	Word Nuclear Association

Lista de símbolos

He	Hélio
n	Nêutron
U	Urânio
Cs	Césio
Rb	Rubídio
Ba	Bário
Kr	Criptônio
H	Hidrogênio
I	Iodo
$CO2$	Gás carbônico

Sumário

1 INTRODUÇÃO . . . 21
1.0.1 Objetivos . . . 22
1.0.1.1 Objetivos Gerais . . . 22
1.0.1.2 Objetivos Específicos . . . 22

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA . . . 23
2.1 Energia e desenvolvimento . . . 23
2.2 Matriz energética brasileira . . . 25
2.3 Geração de energia nuclear . . . 26
2.3.1 Conhecendo o átomo . . . 26
2.3.2 Processo de fusão e fissão nuclear . . . 27
2.4 Benefícios e malefícios da energia nuclear . . . 32
2.5 Quantidade de reatores no Brasil e no mundo . . . 35
2.6 Segurança dos reatores . . . 37
2.7 Acidentes nucleares . . . 40
2.7.1 Three Mille Island . . . 42
2.7.2 Chernobyl . . . 43
2.7.3 Fukushima . . . 44
2.8 Campanhas Educativas . . . 46

3 METODOLOGIA . . . 49

4 RESULTADOS . . . 53
4.1 Apresentação Cartilha . . . 53
4.1.1 Capa . . . 53
4.1.2 Apresentação Marie Curie . . . 54
4.1.3 Energia e desenvolvimento . . . 55
4.1.4 Matriz energética brasileira . . . 56
4.1.5 O que é energia nuclear? . . . 57
4.1.6 Benefícios e malefícios . . . 58
4.1.7 Quantidade de usinas no mundo . . . 59
4.1.8 Segurança dos reatores . . . 60
4.1.9 Usinas do Brasil . . . 61
4.1.10 Acidentes Nucleares . . . 63
4.1.11 Despedida . . . 64
4.1.12 Desfecho . . . 65

4.2 Aplicação cartilha 66
4.2.1 Aplicação cartilha: Alunos FGA 66
4.2.2 Aplicação cartilha: População 71

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS 77

REFERÊNCIAS 79

1 Introdução

A energia elétrica está presente em praticamente tudo que rodeia o ser humano, fator indispensável na sociedade moderna. Ela é diretamente relacionada com o desenvolvimento de um país, sendo um ponto crucial para o crescimento tecnológico e econômico, além de ser a base dos direitos fundamentais, tornando possível um melhor aproveitamento das áreas de saúde, educação e segurança (PSR; LEWE, 2016).

Com isto, os países vêm buscando constantemente o melhor aproveitamento energético, priorizando as fontes que sejam capazes de proporcionar a eletricidade necessária para o crescimento e melhoria das condições de vida, e principalmente por fontes com baixa ou nula emissão de gases poluentes (PSR; LEWE, 2016).

O Brasil possui uma matriz energética diversificada, com grande potencial para as energia renováveis, sendo que mais da metade de sua energia é oriunda de hidrelétricas (ENERGÉTICA, 2015). Porém para se tornar um país com nível mais alto de desenvolvimento, é preciso duplicar sua geração elétrica. O que faz necessária a busca por um maior equilíbrio entre as fontes de sua matriz.

Uma das fontes promissoras é a energia nuclear, devido o seu grande potencial energético como também a baixa emissão de gases de efeito estufa. Porém, em decorrência a alguns acidentes em usinas nucleares e manejo inadequado de lixo radioativo, a energia nuclear muitas vezes é mal vista pela sociedade, a qual nem ao menos conhece os elementos básicos da usina nuclear, nem mesmo a grande quantidade de usinas nucleares em pleno funcionamento. Desta forma, torna-se necessário uma maior divulgação desta tecnologia, a fim de que a sociedade entenda e consiga ponderar sobre o assunto.

As maiores divulgações a respeito da energia nuclear são realizados pelos críticos antagônicos, que elaboram e distribuem material de fácil compreensão, contendo apelos ambientais. Já os defensores, costumam escrever artigos em revistas, possuindo uma linguagem mais técnica, dificultando o entendimento por parte das pessoas leigas no assunto (ALMEIDA, 2011).

Devido a esses fatos o objetivo deste trabalho é a elaboração e aplicação de um material educativo didático, apresentando os principais pontos a respeito da energia nuclear, para que pessoas leigas ao terem acesso ao material consigam compreender de forma clara esta tecnologia podendo se posicionar a respeito, visto que, muitas vezes por não ser conhecida acaba sendo mal interpretada.

1.0.1 Objetivos

1.0.1.1 Objetivos Gerais

Elaborar uma cartilha educativa para difusão de conhecimentos a respeito da energia nuclear.

1.0.1.2 Objetivos Específicos

- Realizar uma revisão bibliográfica dos principais tópicos a respeito da energia nuclear.
- Elaboração de cartilha informativa a respeito da energia nuclear para pessoas leigas.
- Aplicação da cartilha em meio acadêmico e para população aleatória.
- Validação da cartilha, através da análise dos resultados.

2 Revisão Bibliográfica

Neste capítulo será apresentada a revisão bibliográfica, que serviu como fundamento para elaboração da cartilha.

2.1 Energia e desenvolvimento

Segundo projeções do instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a população brasileira vem apresentando crescimento significativo. Sendo que em 1960 continha uma população de aproximadamente 72 milhões de pessoas, já em 2016 ultrapassando 200 milhões (IBGE, 2016). O crescimento demográfico pode ser observado no gráfico de população total do Brasil do banco de dados mundial IBRD-IDA.

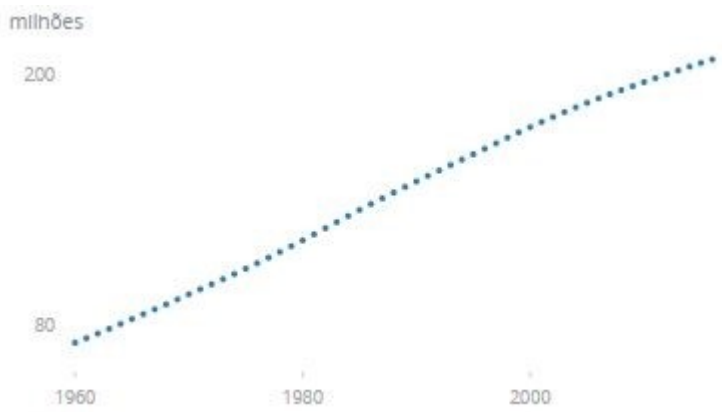

Figura 1 – População Brasileira Fonte: Banco de dados IBRD-IDA

Esse elevado crescimento demográfico, implica no aumento do consumo de materiais como alimentos, água e energia. Tendo em vista que o acesso à energia é um dos principais indicadores socioeconômicos de um país, nota-se uma grande relação entre o consumo per capita de energia e o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) (PERUZZO, 2012). Previsivelmente, os países com maior grau de desenvolvimento são aqueles que apresentam maior consumo de energia, como pode ser visto na Tabela (1).

Tabela 1 – Índice de desenvolvimento humano e consumo de energia. Fonte: Autoria própria.

País	**IDH**	**Consumo per capita de energia (kWh)**
Noruega (1)	0,949	23.000
Austrália (2)	0,939	10.100
Suíça (3)	0,939	7.500
Alemanha (4)	0,926	7.000
Brasil (79)	0,754	2.600

Ao analisar a correlação entre IDH e consumo per capita de energia, Pasternak, observou que, "nenhum país com consumo per capita de eletricidade inferior a 4.000 kWh apresenta IDH igual ou superior a 0,9"(PASTERNAK, 2000). Relação visível na Figura (2).

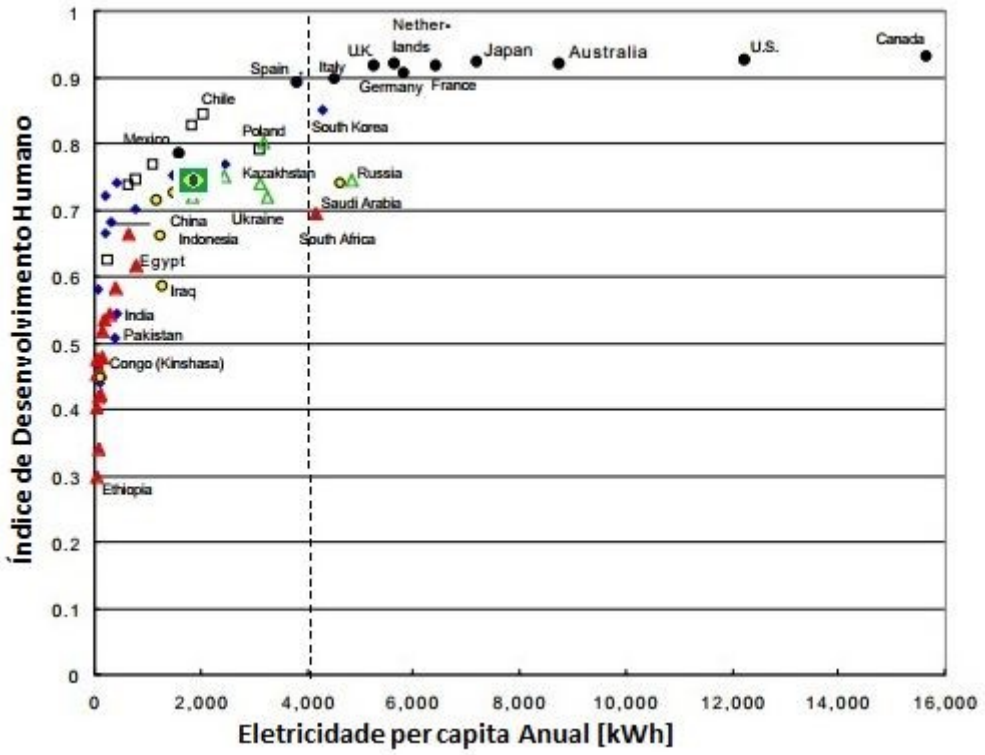

Figura 2 – IDH e Consumo per capita de energia. Fonte: Adaptado de Pasternak (2000)
.

O Brasil está em período de desenvolvimento e para alcançar a meta mínima de 4.000 kWh dos países de elevado IDH, precisa dobrar o seu consumo energético. Visto que o suprimento de energia elétrica é um requisito essencial para o crescimento nacional, é indispensável a reestruturação da matriz energética brasileira.

2.2 Matriz energética brasileira

Matriz energética é a representação quantitativa da geração de energia de uma região. Sendo fundamental uma análise cautelosa em seu planejamento, a fim de garantir as fontes mais adequadas de produção de energia, de acordo com os recursos disponíveis em cada região.

As fontes que compõem uma matriz energética são divididas em fontes renováveis e não renováveis. As fontes renováveis são as encontradas na natureza sem possibilidade de esgotamento, sendo capazes de se refazerem em um curto período de tempo, como é o caso das hidrelétricas, biomassa, solar e eólica. Já as fontes não renováveis não possuem a capacidade de renovação em um curto período de tempo, se limitando a recursos existentes no planeta, dentre essas fontes finitas, tem-se o carvão, petróleo, urânio e gás natural.

Segundo o Balanço Energético Nacional (ENERGÉTICA, 2015) a matriz energética brasileira em 2016 foi composta por 81,7% de fontes renováveis, e 18,3% não renováveis. A participação de cada fonte é representada na Figura (3)

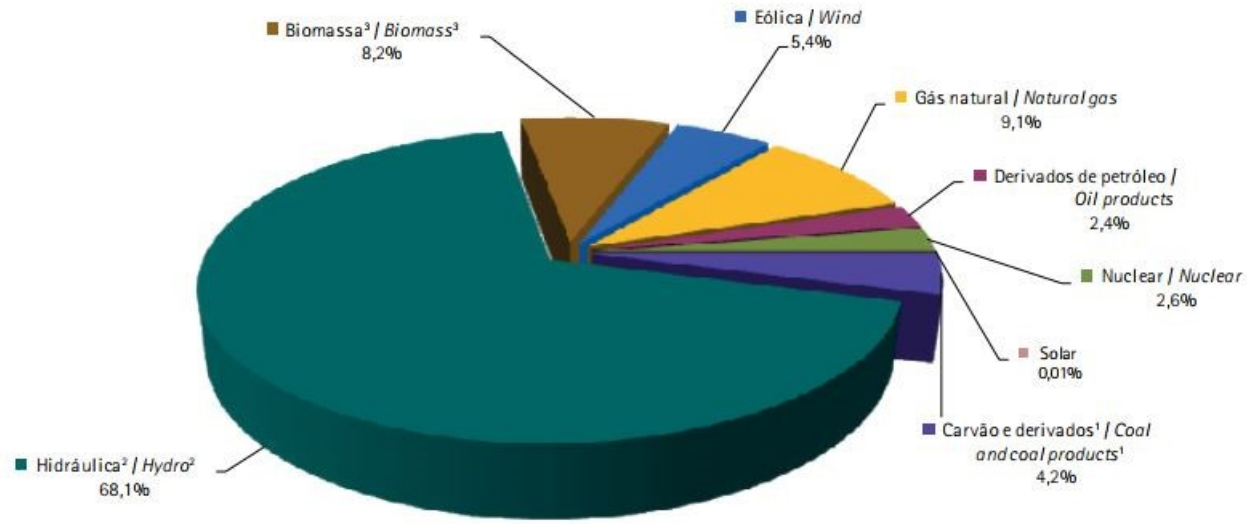

Figura 3 – Matriz Energética Brasileira 2016. Fonte: Energética (2015)

.

O Brasil dispõe de uma matriz energética diversificada. Este fato se dá por ele possuir características favoráveis a grande parte das fontes energéticas. Porém a geração hidráulica é responsável por 68,1% da matriz nacional, fator preocupante, visto que estamos passando por uma crise hídrica no país colocando em risco a segurança e autossuficiência energética do país.

Com a redução dos níveis de precipitação e consequentemente a redução dos níveis dos reservatórios, á necessidade de recorrer à geração termelétrica, que apresenta custo de geração maior, comparada a hidráulica, além da grande emissão de gases de efeito estufa (GEE).

O Ministério de Minas e Energia (MME), estima que haja uma queda no percentual de geração por parte da fonte hídrica, sendo compensada pela eólica e a biomassa. Como também aumento na produção de petróleo e gás natural (MME, 2017).

Como já visto, existe uma forte correlação entre IDH e consumo de energia. E em países em desenvolvimento, como o Brasil, a capacidade de produção de energia precisa ser ampliada para acompanhar o desenvolvimento social e econômico.

Peruzzo (2012) faz o questionamento se será possível abrir mão da energia nuclear nessa ampliação, e a resposta dada por ele é comprovada pelo fato citado anteriormente.

"Abrir mão da energia nuclear, significa recorrer mais intensamente aos combustíveis fósseis. Isso é uma questão de opção."(PERUZZO, 2012)

Apesar das usinas nuclear serem fontes não renováveis, sua geração energética é considerada "limpa", visto a baixa emissão de GEE (LIMA; GONÇALVES, 2017). Porém é mal vista por diversas pessoas por não ser compreendida adequadamente. Logo, o primeiro passo seria informar toda a população a cerca das vantagens e dos prejuízos oferecidos pela energia nuclear, a fim de que se posicionem a favor ou contra a utilização desta tecnologia.

2.3 Geração de energia nuclear

A energia nuclear é a energia de ligação dos nucleons, partículas do núcleo atômico, que mantém suas partículas unidas. Logo ao se falar em energia nuclear é preciso abordar o átomo e seu comportamento para geração de energia.

2.3.1 Conhecendo o átomo

No início do século XX foram realizados experimentos comprovando que o átomo, não é indivisível, como era relatado nos primeiros modelos atômicos. Atualmente, sabemos que o átomo é constituído por partículas menores, subatômicas. Essas partículas são os elétrons, os prótons e os nêutrons. Hoje sabemos ainda que dessas três partículas, apenas o elétron é elementar, pois os prótons e nêutrons são constituídos de outras mais fundamentais, as quais são denominadas quarks. (RESNICK, 2004)

No modelo mais pedagógico do átomo, admite-se que a estrutura atômica é constituída de um núcleo e elétrons, que são minúsculas partículas que giram ao seu redor. O fato da massa do elétron ser muito pequena, implica que a massa do átomo é concentrada em seu núcleo. Os átomos normalmente estão neutralizados, ou seja, possuem a mesma quantidade de carga positiva e negativa. Como os elétrons são carregados negativamente, a carga positiva é encontrada no núcleo atômico (ALMEIDA; SANTOS, 2001).

O núcleo por sua vez, é constituído por prótons e nêutrons. Os prótons são partículas de carga positiva, e os nêutrons são partículas de mesmo tamanho mas que não possuem carga elétrica. O número de prótons de um átomo é o que diferencia os elementos químicos. Vale ressaltar que a massa do átomo é composta pela soma de prótons e nêutrons (CNEN, 2004).

O número de prótons no núcleo é representado por Z, o número de nêutrons por N, e soma dos dois é a massa A. São muito similares, possuem massas praticamente iguais e experimentam forças nucleares idênticas dentro do núcleo. Esses dois componentes, conjuntamente, são classificados como núcleons (RESNICK, 2004).

A força que controla a estrutura eletrônica e as propriedades atômicas é a força de Coulomb. O princípio da atração e repulsão determina que cargas com mesmo sinal elétrico se repelem, e cargas com sinais contrários se atraem (SILVA, 2011). Visto que os prótons possuem mesma carga elétrica eles tendem a se repelir, porém para manter o núcleo coeso é necessário uma outra força de atração nuclear forte (RESNICK, 2004). A força que mantém os prótons coesos no núcleo é denominada força nuclear forte, a qual é a interação mais intensa da natureza (MOREIRA, 2009). A força nuclear forte é a interação entre núcleons vizinhos mais próximos dentro do núcleo e não com todos, com exceção em núcleos menores, devido ao seu pequeno alcance, de aproximadamente igual a 10^{-15} m (RESNICK, 2004). A presença desta força comprova a existência da energia nuclear, ou seja, a existência de energia de ligação dos núcleos atômicos (CNEN, 2004). É possível a utilização dessa energia para a geração de energia elétrica.

2.3.2 Processo de fusão e fissão nuclear

Em um sistema nuclear pode-se obter energia de diversas formas, por exemplo, a energia liberada do decaimento radioativo que tem sido utilizada em marca-passos cardíacos e sondas espaciais (RESNICK, 2004). No presente trabalho serão abordados os dois processos mais utilizados para obter energia do núcleo e convertê-la para propósitos úteis.

É possível gerar energia elétrica através de dois processos, a fusão, onde dois ou mais núcleos leves se unem formando um núcleo mais pesado, e a fissão nuclear, que é a divisão de núcleos maiores em dois menores (RESNICK, 2004).

O processo de fusão consiste na junção de dois ou mais núcleos leves, formando um núcleo maior e mais estável. Peruzzo (2012) diz que não é audacioso afirmar que a fusão nuclear é o fenômeno mais importante da natureza. Visto que a fusão nuclear é a fonte energética das estrelas, entre elas o sol, fonte de energia de todo o planeta.

O hidrogênio é o principal combustível nas reações de fusão. Sendo que os testes realizados em dois experimentos de fusão, os tokamaks TFTR (Tokamak Fusion Test Reactor), nos Estados Unidos, e JET (Joint European Torus), na Europa, utilizaram

dois isótopos de hidrogênio como combustível, o deutério(2H) e o trítio (3H) (MANSO; VARANDAS, 2017).

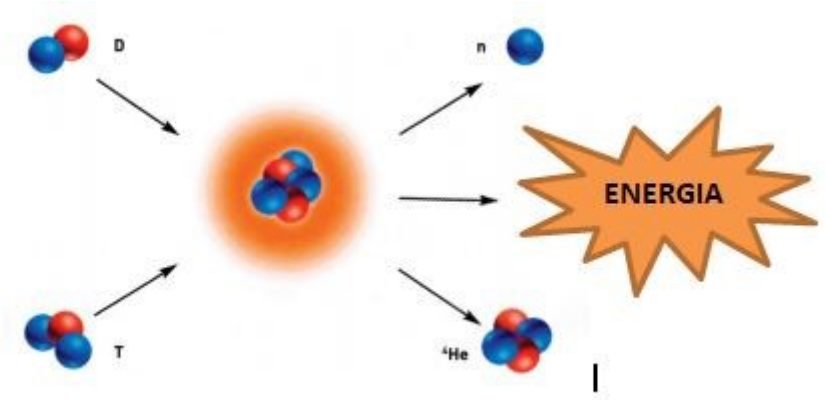

Figura 4 – Reação de fusão. Fonte: Adaptada de MANSO e VARANDAS (2017)
.

A equação a seguir representa a reação de fusão dos isótopos de hidrogênio. Cuja reação possui como produto o hélio (He), nêutron e energia.

$$^{2}H +^{3} H \rightarrow^{4} He + n + 17,6MeV \tag{2.1}$$

A reação demonstrada na equação a cima foi realizada em laboratório, a fenomenologia da fusão está bem fundamentada, porém o domínio da tecnologia ainda está em desenvolvimento. A fusão é difícil de ser provocada, devido ao fato de exigir temperaturas bastante elevadas, visto que necessita-se de muita energia para ultrapassar a barreira de forças electroestáticas entre os núcleos. Porém, quando consegue realizar o processo de fusão, a energia liberada por ela é extremamente maior do que a consumida (RIBEIRO, 2014).

Para a realização bem sucedida do processo de fusão em um reator termonuclear existem três condições básicas, que são, uma elevada densidade n de partículas, elevada temperatura de plasma e longo tempo de confinamento. Ou seja, o número de partículas interagindo em um determinado volume deve ser grande para assegurar uma taxa de colisão suficientemente elevada de partículas de deutério e trítio, esta colisão também depende de altas temperaturas para que as partículas tenham alta energia capaz de penetrar as barreiras de Coulomb, que tendem a mante-las separadas, como também é necessário manter o plasma quente mantendo sua temperatura e massa específica altas, porém os recipientes sólidos atuais não suportam elevadas temperaturas no tempo necessário, sendo necessário o estudo de novas técnicas especiais (RESNICK, 2004).

Estão em estudo as técnicas de confinamento magnético, que utiliza campos magnéticos para confinar o plasma enquanto sua temperatura é elevada, e a técnica de confinamento inercial, onde uma pequena quantidade de combustível é comprimida e aquecida

rapidamente que a fusão ocorre antes que o combustível expanda e resfrie (RESNICK, 2004).

Segundo Peruzzo (2012) a energia liberada quando os núcleos se juntam é bem maior que quando se dividem. Entretanto, devido a menor complexidade, a energia nuclear, atualmente é obtida apenas por reações de fissão.

O processo de fissão foi explicado pelos físicos Frish e Lise, em 1938, onde perceberam que quando um núcleo de urânio(U) absorvia um nêutron, este núcleo se quebrava em dois núcleo de tamanho próximo e liberava mais dois ou três nêutrons (PERUZZO, 2012). Na figura (5) é demonstrada uma reação de fissão, onde um átomo de urânio é dividido em dois menores, liberando energia e nêutrons durante a reação.

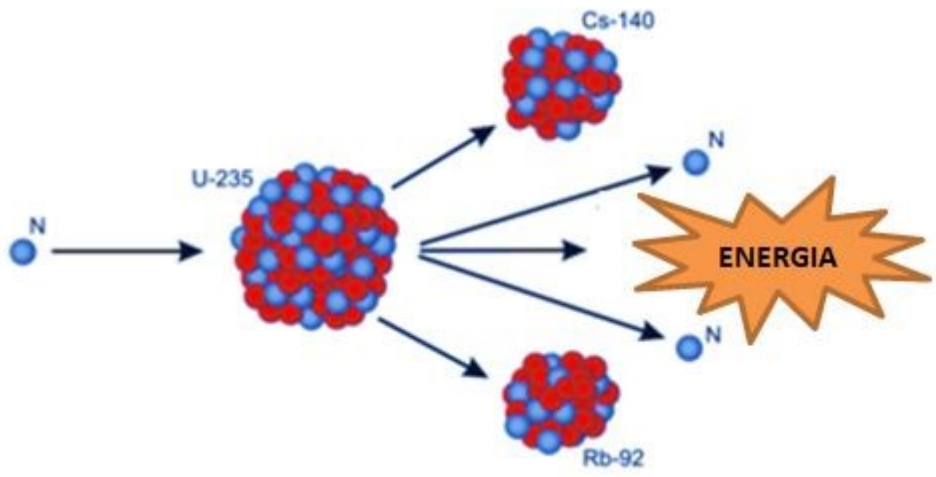

Figura 5 – Reação fissão. Fonte: Adaptada de CNEN (2004)

.

O combustível usado na fissão nuclear é o urânio (U), este pode ser encontrado na natureza de 3 formas de isótopos, U-234, U-235 e U-238, possuindo 142, 143 e 146 nêutrons, respectivamente (CNEN, 2004). Sendo que U-234 em quantidade desprezível, já os outros dois são considerados, o U natural é composto por 0,7% de U-235 e 99,3% de U-238. Porém o U-135 que é utilizado na reação de fissão, sendo necessário aumentar sua concentração, através do enriquecimento de Urânio (PERUZZO, 2012). O Urânio utilizado nas reações de fissão possuem teor de U-235 de 3% a 25%, valor bem distante do teor necessário para confecção de uma bomba atômica, que necessita de 90% (PERUZZO, 2012).

Com a obtenção do U-235, tem-se o combustível necessário para o processo de fissão, um exemplo da reação nuclear de fissão pode ser observada a baixo:

$$^{235}U +^{1} n \rightarrow^{95} Kr +^{139} Ba + 2^{1}n \tag{2.2}$$

A reação de fissão ocorre quando um nêutron colide em um átomo de U-235 e é

absorvido por tal, com isso o núcleo desse átomo é elevado a um nível superior de energia, formando um núcleo instável de U-236, podendo então emitir um raio γ e permanecer como U-236 ou se dividir em dois átomos menores e dois ou três nêutrons (LORA, 2004).

Observando a reação nuclear de fissão temos que ela é iniciada por um nêutron e um U-235, e ocasiona 2 nêutrons e dois elementos, no caso o Bário(Ba) e o Criptônio(Kr). Com a liberação desses 2 nêutrons, que não são repelidos pelos núcleos atômicos, por não possuírem carga, eles 2 causam a fissão de outros 2 núcleos de U-235, que irão liberar mais 8 nêutrons e assim continua exponencialmente, esse fenômeno é conhecido como reação em cadeia (LORA, 2004). Este fenômeno pode ser visto na figura (6).

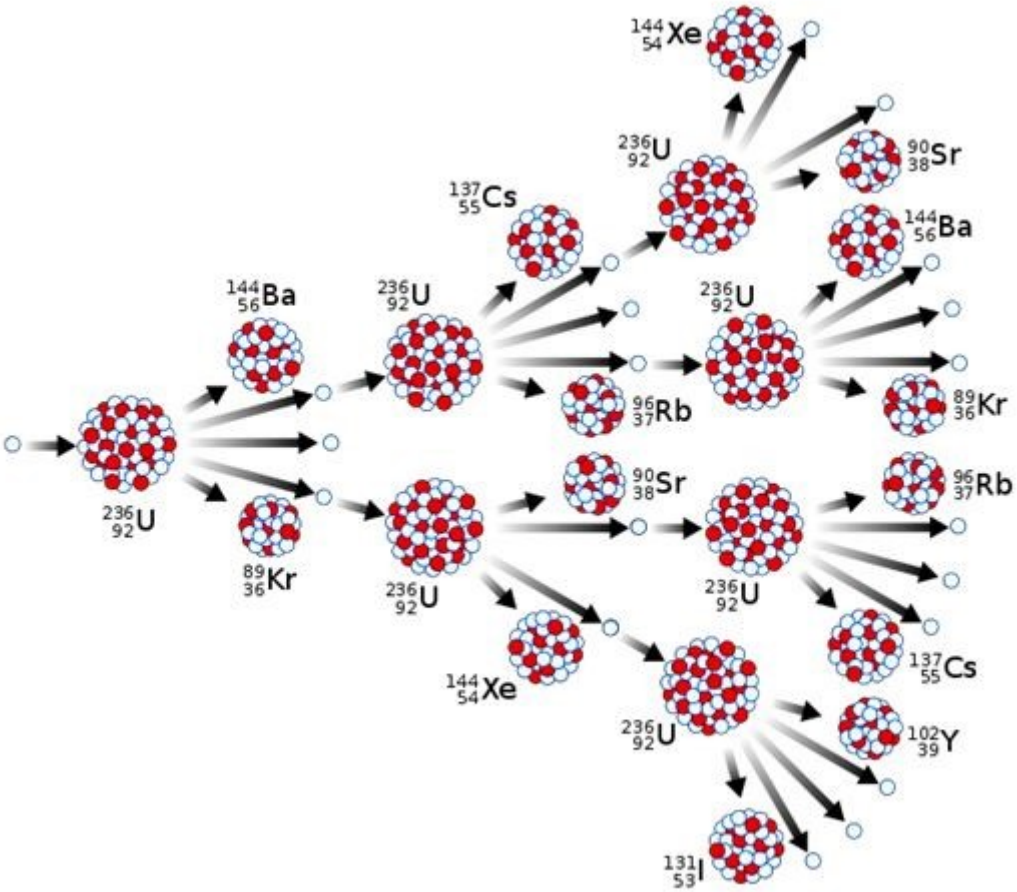

Figura 6 – Reação em cadeia. Fonte: Peruzzo (2012)

.

Nessa reação em cadeia que é liberada a energia, que será convertida em energia elétrica. Vale salientar que a soma das massas dos novos núcleos com a dos nêutrons é menor do que a massa do núcleo original. E que essa pequena massa que é convertida em uma grande quantidade de energia. Sendo convertida principalmente em energia cinética (PERUZZO, 2012).

Para obter a massa exata dos elementos analisados, utiliza-se a unidade de massa

atômica, sendo esta encontrada para cada elemento. A unidade de massa atômica é simbolizada por u ou $u.m.a$, 1 u equivale a um doze avos da massa de um átomo de carbono-12, sendo que este possui seis prótons e seis nêutrons. Sabe-se que 1 u é igual a $1,66054*10^{-24}g$, logo a soma das massas antes e após reação ficam da seguinte maneira:

Massa antes da reação:

$$massaU^{235} + massan^{1} \tag{2.3}$$

$$235,125u + 1,009u = 236,133u \tag{2.4}$$

Massa depois da reação:

$$massaKr^{95} + massaBa^{139} + 2 * massan^{1} \tag{2.5}$$

$$94,945u + 138,995u + 2 * 1,009u = 235,918u \tag{2.6}$$

Pela diferença das massas de antes e depois da reação temos que 0,215 u foram convertidos em energia. É possível encontrar a quantidade de energia liberada através da equação de Einstein que relaciona massa e energia, pela equação, $E = \Delta m * c^2$, onde:

- E= Energia liberada;
- Δ m = diferença de massa antes e depois da reação ;
- c = velocidade da luz.

Sabendo que $uc^2 = 931,502MeV$, temos que a energia liberada na reação será igual a :

$$E = 0,215 * 931,502 = 200,27MeV \tag{2.7}$$

Sendo que estes $200,27MeV$ são distribuídos em:

- Energia cinética dos fragmentos de fissão = $166,89MeV$;
- Energia cinética dos nêutrons de fissão = $5,06MeV$;
- Energia de Radioatividade = $18,21MeV$;
- Energia liberada por captura neutrônica = $10,11MeV$;

Logo, nota-se que uma pequena quantidade de massa gera grande quantidade de energia, sendo esta é principalmente cinética.

2.4 Benefícios e malefícios da energia nuclear

A energia nuclear como qualquer outra tecnologia possui seus pontos positivos e negativos, sendo um ponto crucial para o posicionamento a favor ou contra a sua utilização. Logo serão abordados os principais benefícios e malefícios da energia nuclear.

Peruzzo (2012) cita os principais benefícios e malefícios da energia nuclear sendo eles:

Benefícios:

- Exigências de menor área de instalação, comparadas as hidrelétricas;
- Independência de condições climáticas;
- Grande disponibilidade de Urânio;
- Não geração de gases de efeito estufa;
- Abundância de eletricidade a partir de pequenas quantidades de combustível.

A instalação de centrais hidrelétricas causa sérios prejuízos ao meio ambiente, já que é necessário o alagamento de vastas áreas atingindo solos férteis, alterando a fauna e a flora do local de instalação. Além do prejuízo cultural acarretada a populações ribeirinhas, que necessitam sair de sua região em busca de novos lugares (MENDES, 2005).

Os novos projetos de barragens no Brasil, estão reduzindo as dimensões das áreas inundadas, reduzindo substancialmente a potência gerada também, porém é uma medida necessária a fim de minimizar seus impactos. A construção de usinas nucleares não precisa de grandes áreas, e não a necessidade da retirada da população (ROSA, 2007).

Outro fator importante na geração de energia nuclear é a independência das condições climáticas. Para a geração de energia elétrica a partir do núcleo, é necessário o combustível, no caso o Urânio. Não dependendo assim de fatores climáticos, como ocorre na hidrelétrica, na solar e eólica, que dependem da água, do sol e do vento, respectivamente. Vale ressaltar ainda que, o Brasil possui a 7ª maior reserva de Urânio do mundo. Além de possuir o domínio de todo o ciclo do combustível (PERUZZO, 2012).

Devido ao fato da energia nuclear não emitir gases de efeito estufa. Muitos cientistas tem defendido a utilização da energia nuclear como solução de diminuir os gases de efeito estufa, pelo menos até que novas tecnologias sejam descobertas (PRÄSS, 2007).

A geração de energia nuclear é abundante a partir de pequenas quantidades de combustível, ou seja, a quantidade de combustível em massa necessária para produzir a mesma quantidade de energia, é muito menor com a utilização de U-235.

O potencial energético do urânio é tão grande que com 10 g de U é gerada a mesma potência, que utilizando como combustível, 20 toneladas de óleo ou 25 toneladas de carvão (CNEN, 2004). Ficando explícito o seu grande potencial elétrico.

Em um único processo de fissão do urânio U-235 é liberado 200,27 MeV, para saber quanto é liberado por 10 g de U-235 temos que: 235 g de U-235 tem $6,02x10^{23}$ átomos, logo 10 g tem n átomos calculados por:

$$n = 10/235 * 6,02 * 10^{23} \tag{2.8}$$

$$n = 2,56 * 10^{22} átomos \tag{2.9}$$

A energia liberada por $2,56 * 10^{22}$ átomos nos 10 g de U-235 será:

$$\Delta Q = n * 200,27 MeV \tag{2.10}$$

$$\Delta Q = 2,56 * 10^{22} * 200,27 MeV \tag{2.11}$$

$$\Delta Q = 5,12 * 10^{30} eV \tag{2.12}$$

Sabendo que $1ev = 1,6 * 10^{-19} J$, temos:

$$\Delta Q = 8,2 * 10^{11} J \tag{2.13}$$

É liberado $33 * 10^3 J$ na queima de 1 litro de gasolina, o volume necessário de gasolina para obter $\Delta Q = 8,2 * 10^{11} J$ é:

$$V = 8,2 * 10^{11} J/33 * 10^3 J \tag{2.14}$$

$$V = 24 * 840 * 750 litros \tag{2.15}$$

Em 1 litro de gasolina:

$$1l = 720g = 0,72kg \tag{2.16}$$

Massa de gasolina m:

$$m = 17.885.340kg \tag{2.17}$$

$$m = 17.885 toneladas \tag{2.18}$$

$$10t/1,78 * 10^4 = 5,6 * 10^{-4} \tag{2.19}$$

Utiliza-se 10 toneladas devido a perdas durante o processo.

E os benefícios da energia nuclear não são apenas para geração de energia, mas possui diversas aplicações também em outras áreas como, na medicina, na indústria e na agricultura. Algumas dessas aplicações são o diagnóstico de tireóide pelo Iodo (I), radioterapia, conservação de produtos agrícolas, gamagrafia na indústria para ver se existe falhas nas peças. Essas são apenas algumas das inúmeras aplicações que temos da energia nuclear no dia-a-dia, que muitas vezes não sabemos de sua existência (PESTANA,).

Malefícios:

Por outro lado também possui malefícios que devem ser citados: (PERUZZO, 2012)

- Alto custo;
- Problemas no destino do lixo nuclear;
- Risco de acidentes;
- Aquecimento da água do mar e/ou rios para o resfriamento do reator;
- Necessita de maior segurança.

A energia nuclear possui alto custo, visto que não é levado em consideração apenas o combustível mas também a sua construção, possuindo altos custos com pesquisa, desenvolvimento e operação (PERUZZO, 2012). Outro fator que encarece a energia nuclear é o cuidado com a segurança, necessitando de altos investimentos a fim de se evitar acidentes graves (ROSA, 2007).

Um dos principais problemas referentes a energia nuclear é o descarte do lixo radioativo. Segundo Präss (2007), a melhor solução seria a armazenagem geológica, ou seja, enterrar profundamente o lixo. Atualmente são descartados de duas formas, a primeira consiste no armazenamento em piscinas de refrigeração, e a outra de forma seca, onde é utilizado gás ou ar como refrigerante, e a barreira de radiação é utilizado o concreto e metal, e não a água como nas piscinas (PERUZZO, 2012).

Segundo o engenheiro Alfredo Tranjan Filho, Diretor da CNEN, o lixo nuclear é classificado de alta, média e baixa radioatividade, sendo que cada um possui um descarte específico. Os rejeitos de baixa e média atividade, que podem estar presentes em partes de máquinas contaminadas, luvas, sapatilhas e aventais, são colocados em sacos plásticos e armazenados em tambores de aço identificados, sendo estes guardados em depósitos provisórios ou permanentes. Já os de alta radioatividade que são mais perigosos, como as pastilhas com o resto de combustível, são empilhadas em piscinas de resfriamento ao lado do reator que são usadas, sendo tanto o reator como a piscina cobertos por diversas

barreiras físicas. No caso de Angra II a piscina é capaz de armazenar lixo por mais 40 anos (CNEN, 2015b) .

2.5 Quantidade de reatores no Brasil e no mundo

De acordo com as últimas estatísticas da IAEA, em 2016, a energia nuclear respondeu por 16% da produção de energia elétrica no mundo, possuindo participação fundamental na matriz elétrica mundial (IAEA, 2016).

O urânio aparece como fonte primária da matriz energética mundial desde meados dos anos 60. Possuindo um vigoroso ciclo de crescimento entre os anos 60 e o final dos anos 70. Porém teve uma interrupção devido aos acidentes Three Mille Island e Chernobyl, além dos elevados investimentos para sua instalação. Outro fator impactante era o medo devido o fato do processo de fissão de urânio para geração de energia ser o mesmo que origina a bomba atômica (ANEEL, 2016). Porém já foi citado anteriormente que a taxa de U-235 para a produção da bomba atômica é bem superior ao da produção de energia convertida em energia elétrica, não possuindo risco de interferir um no outro.

Por acarretar baixas emissões de gases de efeito estufa, principalmente de gás carbônico (CO2), a energia nuclear é considerada uma fonte limpa de energia. Este fato adjunto a todos os benefícios já citados anteriormente a produção de energia nuclear tem voltado a crescer nos últimos anos. Esse crescimento se deve também ao fato da criação da Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), responsável por promover o uso seguro e pacífico da energia atômica, ajudando a assegurar a tecnologia nuclear para o desenvolvimento sustentável (ANEEL, 2016).

Hoje no mundo estão em funcionamento 439 reatores nucleares de fissão, espalhados por 30 países. Sendo que 9 destes países são altamente dependentes desta fonte de energia, possuindo mais de 40% da geração nacional oriunda da energia nuclear (ONUBR, 2017). Na tabela (2) podemos ver a quantidade de reatores em cada país, como também a potência gerada.

Tabela 2 – Quantidade de reatores por país. Fonte:Adaptado de Peruzzo (2012)

País	**Quantidade de reatores**	**Potência (MW)**
África do Sul	2	1.800
Alemanha	17	20.490
Argentina	2	935
Armênia	1	375
Bélgica	7	5.927
Brasil	2	1.884
Bulgária	2	1.906
Canadá	18	12.569
China + Taiwan	20	16.040
Coreia do Sul	21	18.698
Eslováquia	4	1.816
Eslovênia	1	688
Espanha	8	7.514
Estados Unidos	104	101.240
Finlândia	4	2.716
França	58	63.130
Holanda	1	482
Hungria	4	2.716
Índia	20	4.391
Japão	50	44.102
México	2	1.300
Paquistão	3	725
Reino Unido	19	10.137
República Tcheca	6	3.678
Romênia	2	1.300
Rússia	32	22.693
Suécia	10	9.298
Suíça	5	3.263
Ucrânia	15	13.107

As usinas em funcionamento no Brasil são Angra 1 e Angra 2, que fazem parte do complexo nuclear brasileiro. Angra 1 entrou em operação comercial em 1985, operando

com um reator de água pressurizada (PWR), com potência de 640 MW, esta usina foi adquirida da empresa americana Westinghouse, sem que houvesse transferência de tecnologia pelos fornecedores, porém a experiência adquirida pela Eletronuclear, permite melhoras constantes na tecnologia empregada no reator, melhorando o seu modo de operação. Angra 2 é a segunda usina do complexo brasileiro com potência de 1.350 MW e entrou em operação no ano de 2001, possui capacidade para atender uma cidade de 2 milhões de habitantes. Possui performance exemplar ganhando prêmios de desempenho (ELETROBRáS, 2017a).

E estão em construção novos reatores nucleares, como por exemplo Angra 3 aqui no Brasil. A construção de novos reatores é impulsionado pelo aumento da segurança dos reatores, a eficiência e a vida útil dessas instalações, que normalmente duram cerca de 40 anos. Porém o grande impulso é a necessidade de diversificar a matriz energética, buscando fontes que atendam ao crescente consumo de energia sem contribuir com o aquecimento global. Sendo a energia nuclear promissora nestes quesitos, por possuir abundantes reservas de urânio, e emissão praticamente nula de gases de efeito estufa (ANEEL, 2016).

2.6 Segurança dos reatores

A segurança é primordial em todas as etapas de construção de uma usina nuclear. E a cada dia os reatores possuem sistemas mais avançados de segurança. O setor nuclear, seja nas usinas destinadas a produção de energia elétrica, como também em todas as outras áreas de atuação, como nas fábricas de combustíveis nucleares e hospitais que trabalham com esta tecnologia (PERUZZO, 2012).

Nos reatores de potência, a segurança nuclear é constantemente aperfeiçoada , em todas as suas etapas desde o projeto até a sua operação, reduzindo a probabilidade de falhas e acidentes (PERUZZO, 2012).

A segurança começa já na fase de projeto, onde se inicia os estudos na escolha do local onde será construída a usina. São analisadas todas as consequências em relação a equipamentos, estrutura, e principalmente ao meio ambiente (CNEN, 2004). São avaliados ainda todos os riscos possíveis como fenômenos da natureza, tempestades, vendavais, terremotos, como também quedas de avião, sabotagem (CNEN, 2004).

A fase de projeto se preocupa também com todas as barreiras físicas, que são utilizadas para conter os níveis de radiação inerentes no funcionamento dos reatores. Possuindo todo o cuidado no dimensionamento das estruturas, desde a estrutura da pastilha do combustível até as paredes de aço e concreto, que serão demonstradas posteriormente (ELETROBRáS, 2017b).

Todas as preocupações de projeto, são para assegurar que durante o processo de

operação dos reatores o ser humano esteja protegido. A segurança dos processos, vem para complementar a de projeto, possuindo programas de testes, operação, manutenção, gestão, a fim de garantir a segurança do trabalho humano com a máquina (ELETROBRáS, 2017b).

Os reatores de Angra 1 e Angra 2 são do tipo PWR (Pressurized Water Reactor - Reator á água pressurizada), estes possuem várias contenções de segurança. De uma forma geral, são 4 barreiras, as varetas de combustível, vaso de pressão, vaso de contenção e edifício do reator (PERUZZO, 2012).

O combustível utilizado nos reatores PWR são pastilhas de urânio enriquecido a cerca de 3% em U-235. Estas pastilhas são colocadas dentro de varetas de combustível, que são tubos de zircaloy, as varetas são fechada nos dois extremos por tampões soldados. As varetas suportam altas temperaturas e são fechadas para não deixar escapar o material combustível nem os elementos resultantes da fissão (CNEN, 2004).

Essas varetas são colocadas em uma estrutura chamada elemento combustível. Elas compõem a primeira barreira para o material radioativo.Esse primeiro conjunto pode ser observado na figura (7).

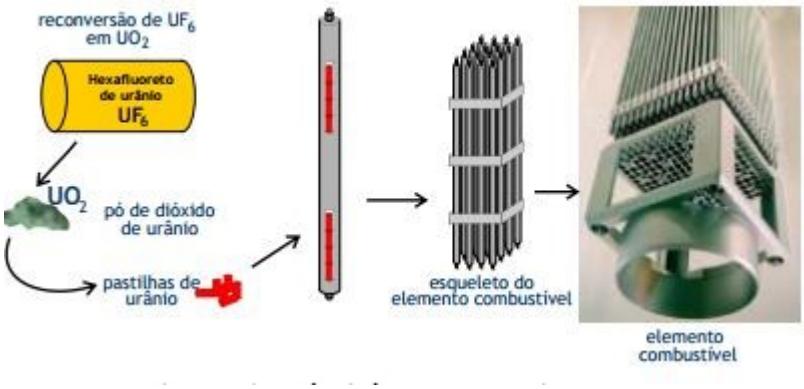

Figura 7 – Varetas de combustível. Fonte: (CNEN, 2004)

.

A segunda barreira é o vaso de pressão, que é uma estrutura de aço dentro do qual ficam os elementos combustível(PERUZZO, 2012). A espessura das paredes de aço variam de 20 cm a 30 cm, sendo que em Angra 1 é de 20 cm e em Angra 2 de 25cm (CNEN, 2004).

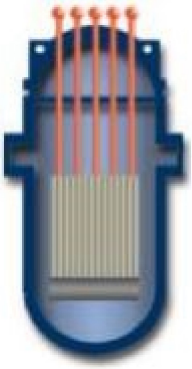

Figura 8 – Vaso de pressão. Fonte: (CNEN, 2004)

.

O vaso de pressão, figura (8), é abrigado por uma terceira barreira, o vaso de contenção, que também abriga o gerador de vapor. Esta terceira barreira é uma estrutura de concreto e aço, com a finalidade de conter os gases e vapores, que podem ser liberados durante a operação, dentro do reator, sem que libere qualquer material radioativo para o meio ambiente (CNEN, 2004).

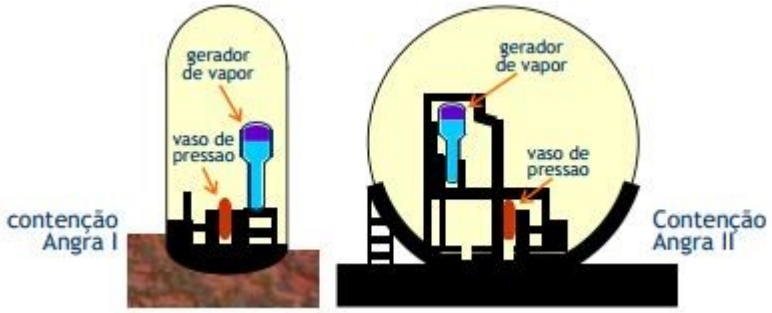

Figura 9 – Vaso de contenção. Fonte: (CNEN, 2004)

.

A quarta barreira é o edifício do reator, que pode ser visto na figura (10), esta última barreira é uma estrutura de concreto com 1m de espessura, que recebe todas as outras 3 barreiras (PERUZZO, 2012). O edifício do reator é projetado para proteger contra todos os impactos externos, como a queda de aviões ou fenômenos naturais (CNEN, 2004).

Figura 10 – Edifício do reator. Fonte: (CNEN, 2004)

.

Os sistemas dos reatores são cada vez mais automatizados, sendo que quando possui qualquer mal funcionamento desliga automaticamente o reator. Medida extremamente importante, visto que os acidentes em Three Mille Island e em Chernobyl, não foram ocasionados apenas por defeitos no reator, mas principalmente por falhas humanas(PERUZZO, 2012).

E é como Peruzzo (2012) comentou:

"As consequências das emissões das substâncias radioativas, para a saúde humana e para o meio ambiente, certamente fazem da energia nuclear a mais perigosa de todas as fontes de energia. No entanto, se utilizada com inteligência e responsabilidade, é uma fonte de energia incomparável, que já trouxe e poderá trazer grandes benefícios para a sociedade".

2.7 Acidentes nucleares

Cerca de vinte acidentes já ocorreram no mundo, número pequeno comparado ao número de reatores em funcionamento no mundo. A tabela (3), mostra o ano de acontecimento, a cidade e a causa desses acidentes (GREENPEACE, 2011).

Tabela 3 – Acidentes nucleares. Fonte: Autoria Própria

Ano	Usina	Acidente
1957	Mayak - Rússia	Falha no sistema de refrigeração do compartimento de armazenamento de resíduos
1957	Windscale Pile - Reino Unido	Incêndio no reator, devido a pressa em fazer uma bomba atômic
1958	Chalk River - Canadá	Uma vareta de combustível de urânio pegou fogo e se dividiu em duas, enquanto tentavam removê-la do núcleo do reator
1970	Yucca Flat - Nevada	Dispositivo de alta potência foi detonado no subsolo, que provocou rachaduras, que resultaram em detritos radioativos na atmosfera
1977	Bohunice - Tchecoslováquia	Após uma mudança de combustível, os absorventes de umidad que cobriam as barras de combustível não foram removidos da forma correta, o que ocasionou superaquecimento, corroendo o reator
1979	Tennessee - EUA	Vazamento de urânio em uma instalação nuclear secreta
1979	Three Mile Island - EUA	Superaquecimento devido à problema mecânico e erros operacionais
1980	Saint Laurent des Eaux - França	Falha no sistema de resfriamento causou o derretimento de um canal de combustível no reator
1981	Tsuruga - Japão	Quatro vazamentos radioativos na usina
1986	Chernobyl - Ucrânia	Erros humanos no curso de um teste previamente planejado, causou a explosão do reator
1987	Goiânia - Brasil	Contaminação radioativa por descarte inadequado de aparelho de radioterapia.
1993	Seversk - Sibéria	Tanque com substâncias radioativas explodiu.
1997	Tokai - Japão	Incêndio e explosão em usina experimental
1999	Tokaimura - Tóquio	Empresa de reprocessamento de urânio exageraram na dose do material radioativo em um reator desativado há um ano, gerando uma reação descontrolada, vazando a radiação
2004	Mihana - Japão	Vapor não radioativo vazou por um encanamento que se rompeu em seguida
2008	Tricastin - França	Vazamento de substâncias radioativas, durante uma operação de manutenção
2011	Fukushima - Japão	Terremoto de 9 graus, causou danos em três de seus seis reatore

E em sua maioria foram de baixa gravidade. Sendo apenas 3 destes de grande gravidade, e são os principais responsáveis pelo receio da humanidade quanto a energia nuclear (PERUZZO, 2012).

A AIEA instituiu a Escala Internacional de Acidentes Nucleares (INES), onde se

tem critérios e indicadores que asseguram informações a respeito dos acidentes. A escala possui 7 níveis, sendo que os de nível 1-3, são considerados incidentes, pois não trazem consequências significativas sobre a população e o meio ambiente, já os níveis de 4-7, são considerados acidentes (OLIVEIRA, 2011).

No caso do Brasil, o acidente em Goiânia, ocorreu em 1987 envolvendo Césio-137. Foi o maior acidente nuclear ocorrido fora de uma usina. Uma máquina de radioterapia foi levada por catadores de lixo, que abriram o aparelho e venderam partes a um ferro velho, cujo dono levou a fonte radioativa para a sala de sua casa, por possuir um pó que emitia uma luz azulada. Ele distribuiu esse pó que parecia purpurina para parentes e amigos, o que desencadeou a contaminação de aproximadamente 250 pessoas. O acidente foi classificado como de nível 5 na escala INES (PERUZZO, 2012).

Os três principais acidentes nucleares foram o de Three Mille Island, Chernobyl e Fukushima, sendo classificados na escala INES com 5, 7 e 7, respectivamente.

2.7.1 Three Mille Island

O primeiro grande acidente nuclear ocorreu em um dos reatores de Three Mille Island, localizado nos Estados Unidos. O reator era do tipo PWM com 900MW de potência (PERUZZO, 2012).

O acidente ocorreu em 28 de março de 1979, causado devido a falhas no sistema, além de erro operacional. Foram usados materiais inferiores, por conta de cortes econômicos, porém o principal agravador foi erros humanos. O despreparo das pessoas, fez com que tomassem decisões erradas (OLIVEIRA, 2011).

O problema começou com falhas mecânicas e elétricas, onde um bomba de água que alimentava o gerador de vapor parou de funcionar. Automaticamente a turbina e o gerador pararam de funcionar, porém a presença dos elementos físseis eram suficientes para continuar a produção de calor, elevando a temperatura e pressão do reator (CALIAN, 2016).

Para que o reator não fosse desligado foi acionado uma sistema de emergência que abriu uma válvula de segurança do pressurizador, que deveria ser fechada quando chegasse as condições normais de pressão, porém isso não ocorreu (CALIAN, 2016). Com a válvula aberta a pressão continuou a abaixar, provocando a perda de água responsável pelo resfriamento do núcleo, consequentemente aumentando bastante a temperatura (PERUZZO, 2012). E os erros de operação continuaram piorando ainda mais a situação, fazendo com que o elemento combustível no reator começasse a derreter (OLIVEIRA, 2011). Na figura (11) é representado como ficou o vaso de pressão no acidente.

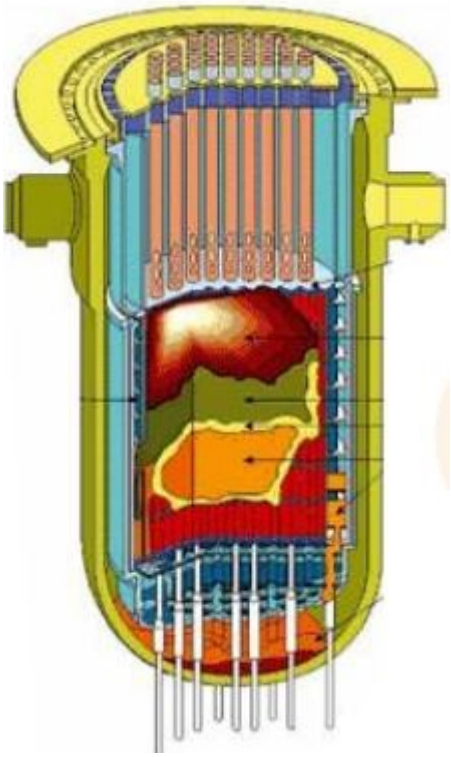

Figura 11 – Representação vaso de pressão no acidente de Three Mille Island. Fonte: (CNEN, 2004)

.

A maior parte do material radioativo ficou retido dentro do vaso de contenção, contudo parte da água e de vapores, que continham material radiativo,foram liberados, fazendo com que o nível de radiação ao redor da usina aumentasse significativamente, ultrapassando os limites permitidos (PERUZZO, 2012). Fato que ocasionou a evacuação de mais de 140.000 pessoas (OLIVEIRA, 2011).

O acidente de Three Mille Island foi classificado com nível 5 da escala de INES, que é caracterizada por possuir grande quantidade de material radioativo na região do acidente. Não foi registrada nenhuma morte devido a este acidente (PERUZZO, 2012). E a descontaminação do local ocorreu 14 anos depois, em 1993 (CALIAN, 2016).

2.7.2 Chernobyl

O acidente de Chernobyl, ocorreu na Ucrânia em 26 de abril de 1986, é considerado o maior acidente nuclear do mundo (CALIAN, 2016). Possuindo grau 7 na escala Island, por ter grande contaminação na região e muitas mortes, e pelo fato da área afetada permanecer contaminada por diversos anos (PERUZZO, 2012).

O acidente foi ocasionado por um teste mal sucedido realizado pelos técnicos da usina. (PERUZZO, 2012). Aproveitando que o reator seria desligado para manutenção,

foram realizados testes da eficiência da refrigeração do núcleo do reator, caso houvesse falta de corrente (PERUZZO, 2012).

Não querendo admitir fracasso durante o teste, os operadores resolveram continuar desligando diversos sistemas de segurança, até que perderam o controle da operação. A temperatura aumentou rapidamente e não havendo água suficiente pra refrigeração dos elementos combustíveis, a água presente acabou se transformando em vapor (CNEN, 2004). Esses vapores provocaram seguidas explosões, que foram capazes de acabar com as barreiras físicas do reator. Uma destas explosões foi tão intensa a ponto de abrir a tampa de cimento do reator de 700 toneladas, deixando o reator aberto para o meio ambiente (COLASSO, 2015).

Com a abertura do teto, o oxigênio que entrava, combinado com a temperatura elevada do combustível no reator e do grafite moderador, provocou um grande incêndio, contribuindo com o espalhamento do material radioativo, para áreas vizinhas (OLIVEIRA, 2011).

As autoridades soviéticas demoraram a tomar providências, durante três dias manteve segredo enquanto tentavam controlar o incêndio, sem ao menos dar uma ordem de evacuação as pessoas da região. Apenas quando a Suécia detectou forte nível de radiação, que o governo URSS admitiu o ocorrido (CALIAN, 2016).

O total de vítimas é imensurável, visto que os efeitos ocasionados pela radiação perduram até hoje, cerca de três décadas depois. Além dos liquidadores, que trabalharam diretamente no controle do incêndio e na construção do sarcófago, que em sua maioria morreram poucos dias após o contato com a radiação, possuem milhares de casos de câncer de tireoide provocados pela radiação (PERUZZO, 2012).

Fazendo uma comparação com os reatores de Angra 1 e 2 com o de Chernobyl,é explicito que é impossível ocorrer um acidente dessa natureza aqui no Brasil. Os reatores PWR usam água, logo não entrariam em combustão como ocorreu com o grafite, a contenção de aço e concreto como também o vaso de pressão do reator são muito mais resistentes, o edifício do reator aqui do Brasil foi projetada para suportar grandes impactos, visando sempre a segurança em todo o processo, o reator de Chernobyl se encontrava em um simples prédio industrial. E o principal fator é que o sistema automático de segurança não pode ser bloqueado para a realização dos testes, fato que encadeou o acidente em Chernobyl (CNEN, 2004).

2.7.3 Fukushima

O acidente nuclear de Fukushima se deu por catástrofes naturais, ao contrário dos acidentes de Three Mille Island e de Chernobyl, que foram ocasionados por falhas mecânicas e humanas (PERUZZO, 2012). Em 11 de março de 2011 um terremoto de

quase 9 pontos na Escala Richter, seguido por um tsunami com ondas de mais de 10m, atingiram a central nuclear de Fukushima no Japão (PERUZZO, 2012).

A central de Fukushima possui 6 reatores do tipo BWR, sendo que os reatores 4, 5 e 6 estavam desligados para manutenção quando ocorreu o terremoto. As unidades 1, 2 e 3 foram desligados automaticamente no momento do terremoto. E geradores de emergência entraram funcionamento, para manter as bombas de água em funcionamento para resfriar os reatores (OLIVEIRA, 2011). Porém com a inundação provocada pelo tsunami, como pode ser visto na figura (12), os geradores pararam de funcionar, ocasionando o superaquecimento dos reatores, o que gerou gás hidrogênio, oriundo da decomposição da água, como também provocou a fundição parcial da varetas de combustível, liberando produtos da fissão que ali estavam contidos (PERUZZO, 2012).

Figura 12 – Alagamento da central nuclear de Fukushima. Fonte: Tepco – Tokio Eletric Power, retirada de Colasso (2015)

.

Com o vazamento de material radioativo, contaminando principalmente o redor da central, o governo japonês evacuou rapidamente a área, orientaram que evitassem a utilização da água da torneira, e os alimentos produzidos na região foram proibidos de serem comercializados (OLIVEIRA, 2011).

E em 27 de março de 2011 a AIEA anunciou que os trabalhadores da central de Fukushima foram internados por precaução, visto que os níveis de radiação do redor da usina se elevou muito acima do recomendado (COLASSO, 2015).

Apesar do acidente nuclear de Fucushima ser classificado com nível 7 na Escala INES, como o de Chernobyl, suas consequências foram bem inferiores, devido a agilidade das autoridades japonesas, principalmente na retirada da população ao redor da central, evitando uma contaminação intensa da população (PERUZZO, 2012).

2.8 Campanhas Educativas

Nesta seção serão apresentadas algumas campanhas publicitárias, que possuem a finalidade de instruir a população sobre a energia nuclear. Tendo em vista que o maior conhecimento das pessoas acerca dessa fonte energética pode acarretar sua maior aceitação.

Segundo (ALMEIDA, 2011), é fundamental o esclarecimento sobre energia nuclear para a população, através de campanhas educativas, visto que uma grande parte da população ainda reluta em sua aceitação, usando como motivo alguns dos acidentes ocorridos, sem realmente conhecer o funcionamento, segurança e benefícios, desta tecnologia.

Uma das campanhas é realizada pelo CNEN, onde disponibiliza em seu site apostilas educativas ilustradas, ao todo são 6 apostilas, sendo que 1 destas está disponibilizada também em inglês. As apostilas possuem conteúdo como, energia nuclear, suas aplicações, sua história, radioatividade, entre outros temas (CNEN, 2015a).

Figura 13 – Apostilas educativas CNEN. Fonte: CNEN (2015a)

.

A figura (13) mostra as capas das apostilas educativas, estas apresentam o conteúdo de forma dinâmica, possuindo diversas ilustrações, para diferentes faixa etária.

Uma outra campanha é a "Rota da energia nuclear", realizada pela Eletrobras Eletronuclear, esta consiste na montagem de uma sala virtual em uma unidade móvel. Através de projeções, os visitantes realizam um tour pela usina de Angra II,podendo

controlar o telão através do movimento do corpo (ABEN, 2014).

Rota da Energia Nuclear passou por Paraty, Angra dos Reis e Rio Claro / **Divulgação**

Figura 14 – Rota da energia nuclear.Fonte: ABEN (2014)

.

O caminhão Rota da energia nuclear, visto na figura (14, é uma campanha educativa, que explica a energia nuclear de forma inovadora e interativa, o que contribui para que esta ganhasse o 6 ° prêmio ABAP de Sustentabilidade, na categoria de melhor projeto de comunicação institucional. Ao lado da unidade móvel foi montada uma estrutura com uma miniexposição, onde eram distribuídos materiais informativos (ABEN, 2014).

A Word Nuclear Association (WNA), Associação Nuclear Mundial, lançou uma campanha que fornece informação sobre a energia nuclear de forma dinâmica, com o objetivo de transmitir conhecimento as pessoas a fim de que estas vejam a tecnologia como algo que ajuda o planeta (ELETRONORTE, 2016).

As informações são divulgadas através de um site, com bastante interação, possuindo diversas animações gráficas em toda sua plataforma. As animações possuem temas relacionados as preocupações das pessoas com a energia nuclear (ELETRONORTE, 2016).

Figura 15 – Página inicial da campanha Nuclear Footprints. Fonte: WNA (2016).

Além das animações, a Nuclear Footprints, também possui um espaço para um abaixo-assinado, a fim de obter assinatura a favor da energia nuclear, para realização de uma declaração pública como visto na figura 16.

A frase destaque diz: Eu apoio o uso da energia nuclear em harmonia com outras fontes de energia como parte de uma mistura futura equilibrada (ELETRONORTE, 2016).

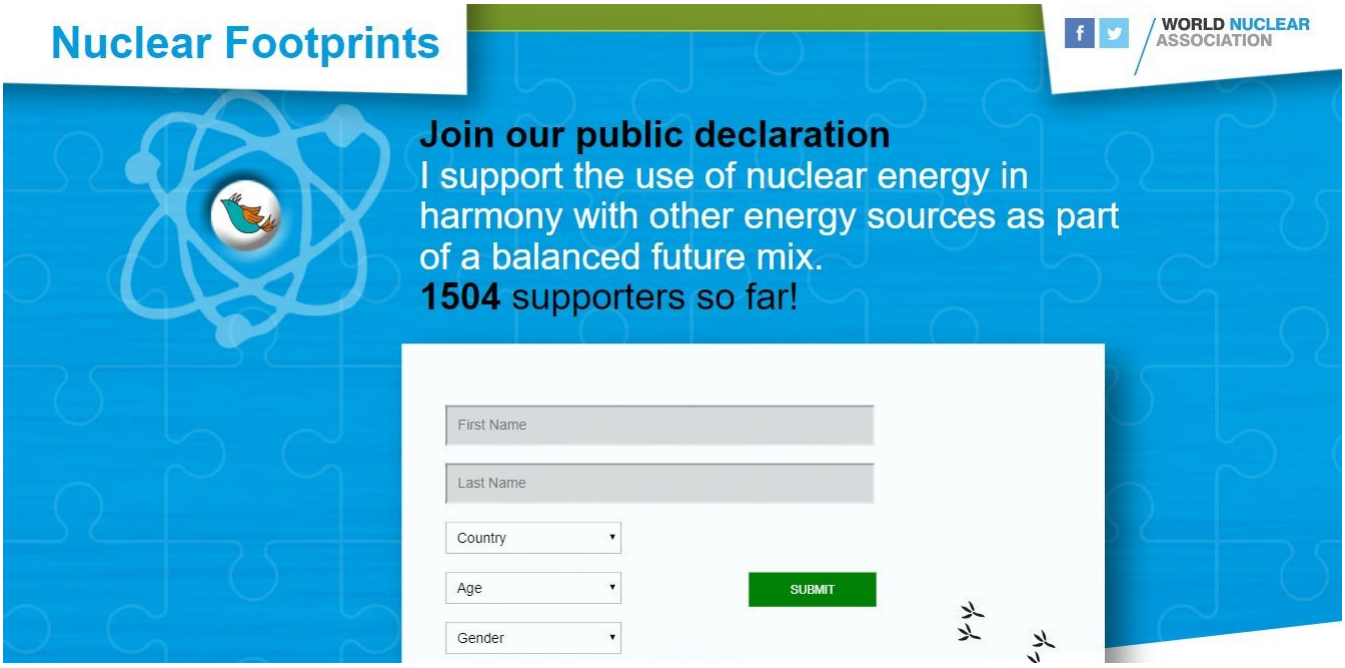

Figura 16 – Abaixo assinado a favor da energia nuclear. Fonte: WNA (2016).

3 Metodologia

O capítulo em questão enfatizará os métodos que foram utilizados para que os objetivos deste trabalho fossem alcançados.

Quanto a pesquisa o presente trabalho é classificado como exploratória, visto que foi realizada uma revisão bibliográfica a fim de se conhecer mais a fundo o tema, e como aplicada, visto que o conhecimento adquirido na parte exploratória será aplicada na elaboração da solução de determinado problema.

O primeiro passo realizado para que se cumprisse o objetivo deste trabalho, foi a pesquisa bibliográfica, sendo esta classificada como narrativa, buscando em livros e em ferramentas onlines, como o periódico da Capes, Scielo, Google Acadêmico, realizando uma abordagem teórica de engenharia nuclear como um todo, a fim de conhece-la em sua totalidade para que posteriormente fossem definidos os tópicos a serem pesquisados mais especificamente para abordagem na cartilha.

Com a pesquisa da palavra-chave energia nuclear encontrou-se nos portais periódicos Scielo e Capes, e no Google Acadêmico, respectivamente, 218, 10.110 e 110.000 artigos, destes foram lidos os resumos de em média 50 artigos, escolhendo os mais completos e assim verificando os itens a serem abordados na cartilha. Por ter obtido um número grande de documentos, optou-se por pesquisar material educativo e a leitura do livro física e energia nuclear, como princípio para definição dos temas que seriam abordados.

Para os estudos físicos foram pesquisados livros na biblioteca da Universidade de Brasília, campus Gama, sendo realizada a vista dos sumários de 6 livros, sendo escolhidos 2 destes, que abordavam os tópicos do presente trabalho, sendo os livros, Física 4 do autor Robert e Geração Termelétrica Planejamento, Projeto e Operação do Lora.

Os principais autores, PERRUZO e CNEN, deram a base para escolha dos tópicos a serem abordados. Com os tópicos escolhidos, foram realizadas pesquisas diretamente a cada tópico, escolhendo os autores por meio dos temas abordados.

Com o referencial bibliográfico realizado, iniciou-se as escolhas para elaboração da cartilha. Vale ressaltar que foi escolhido este tipo de material, visto que o objetivo a ser alcançado é a elaboração de um material que aborde a energia nuclear de maneira mais direta e dinâmica, a fim de popularizar a temática energia nuclear e dessa forma conscientizar as pessoas de que a energia nuclear é uma fonte energética segura e confiável.

Foram elaborados textos menores para cartilha, visando o fácil entendimento do leitor. Como também a utilização de imagens que ilustrassem o conteúdo do texto. Também foi escolhida uma personagem para dialogar durante a cartilha, deixando-a dinâmica.

Com os textos e imagens bases escolhidas, o passo seguinte foi a confecção do material. Foram utilizados duas ferramentas, o Adobe illustratror e o Adobe Indesign. O Adobe illustrator foi utilizado para a realização da arte das imagens, e o Adobe Indesign para a realização da diagramação da cartilha.

Na escolha do design da cartilha optou-se por colocar um ícone como símbolo representativo ao lado de cada subtítulo, como forma de caracterização. As ferramentas utilizadas permitem ir alterando as imagens, com isso foram feitos diversos teste, buscando manter a harmonia da cartilha, quanto a imagens, cores de fundo e texto.

Com a cartilha pronta, montou-se o questionário para aplicação da cartilha, foram realizadas três perguntas preliminares, a serem respondidas antes de lerem a cartilha, para saber o que o entrevistado sabe sobre energia nuclear e seu posicionamento. E três perguntas para avaliação da cartilha, buscando a validação desta, para análise se a cartilha fez diferença no posicionamento do entrevistado. E por fim tinha um espaço para comentários e sugestões.

As perguntas preliminares foram: 1.1) Tendo em vista o problema da crise hídrica vivida atualmente e que a matriz energética brasileira deve ser ainda mais diversificada, você considera a Energia Nuclear como fonte promissora, sendo uma das soluções para este problema?

( ) Sim ( ) Não ( ) Não sei opinar

1.2) O que você conhece sobre energia nuclear?

( ) Como gera energia (Fissão) ( ) As vantagens ( ) As desvantagens ( ) Segurança dos reatores ( ) Acidentes que passaram na TV

1.3) Você é a favor ou contra a utilização da energia nuclear no Brasil?

( ) A favor ( ) Contra ( ) Não sei opinar

E as perguntas para a avaliação da cartilha:

2.1) A cartilha trouxe informações desconhecidas anteriormente por você a respeito da energia nuclear?

( ) Sim ( ) Não

2.2) A cartilha ajudou a se posicionar quanto ao tema energia nuclear:

( ) Sim, confirmou meu posicionamento anterior com novos aspectos. ( ) Sim, mudou meu posicionamento anterior devido ao conhecimento de novos aspectos. ( ) Não, foi indiferente continuou com os mesmos pensamentos de antes. ( ) Não, não foi suficiente para criar posicionamento.

2.3) Você é a favor ou contra a utilização da energia nuclear no Brasil?

( ) A favor ( ) Contra ( ) Ainda não sei opinar

Com cartilha e questionários impressos, foram aplicados vinte com estudantes da Universidade de Brasília, campus Gama, e vinte com pessoas na rua, foi escolhido este número de amostras por se tratar de uma pesquisa piloto. Sendo que as duas aplicações seguiram a classificadas de amostragem aleatória simples, que é caracterizada como uma amostra de um subconjunto de indivíduos selecionados ao acaso a partir de um conjunto maior, no caso os alunos e a população, vale ressaltar que tentou-se realizar a pesquisa de forma aleatória, mas que esta possuiu limitações. Optou-se por aplicar na universidade visto que este trabalho, surgiu a partir do resultado do trabalho de conclusão de curso realizada pelo Engenheiro de Energia Clóves Júnior da Fonseca, que comprovou que a população não possui conhecimento a respeito da energia nuclear, foi realizado com alunos da universidade. Porém como o trabalho é destinado a um material informativo a população, também foram aplicadas cartilhas a pessoas fora do ambiente acadêmico.

A abordagem e leitura da cartilha e preenchimento do questionário duraram em média 8 minutos com cada participante.

Por se tratar de uma pesquisa piloto e por questão de tempo esta não foi submetida ao comite de ética

4 Resultados

No presente capítulo é apresentado o resultado final da cartilha, contendo os textos desenvolvidos, juntamente com as imagens representativas. Como também a análise da aplicação da mesma.

4.1 Apresentação Cartilha

4.1.1 Capa

A capa da cartilha, visualizada na figura (17), contém reatores nucleares, com o símbolo da energia nuclear ao centro, com o título dado a cartilha: "Energia nuclear: Tudo que você precisa conhecer". O título escolhido visa criar curiosidade ao ser entregue a uma pessoa, fazendo que de a ela vontade de ler o conteúdo presente no material.

Figura 17 – Capa da cartilha. Fonte: Autoria própria

4.1.2 Apresentação Marie Curie

A primeira parte da cartilha conta com a breve apresentação da personagem. A personagem escolhida foi Ana, que se apresenta como admiradora de Marie Curie. Marie Curie é um exemplo de mulher na ciência, sendo a única mulher a receber dois Prêmios Nobel em duas áreas da ciência, um das descobridoras da radioatividade, possuindo papel importante no desenvolvimento da energia nuclear. (PERUZZO, 2012)

A personagem pode ser vista na figura (18).

Figura 18 – Apresentação personagem. Fonte: Autoria própria

Vale ressaltar que se optou por criar uma personagem a fim de manter uma proximidade maior com o leitor. Esta aparecerá durante toda a cartilha dialogando com o leitor.

4.1.3 Energia e desenvolvimento

Tópico introdutório, que faz a relação de energia com o IDH, mostrando que quanto maior a produção de energia de um país, maior também é seu IDH.

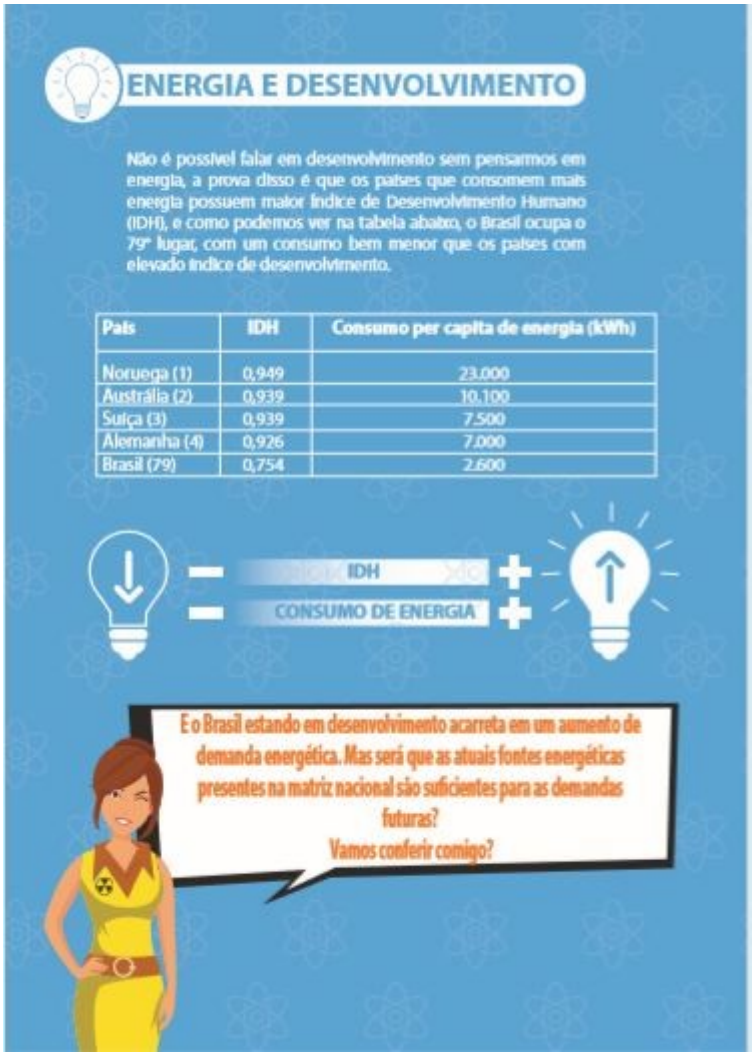

Figura 19 – Energia e Desenvolvimento. Fonte: Autoria própria

Como visto na figura (19), foi inserido um gráfico com dados qualitativos, e as imagens das lâmpadas para ficar uma explicação mais visual ao leitor.

E esta página é finalizada com uma pergunta de Ana, intrigando o leitor se a matriz brasileira atual é suficiente para acompanhar o índice de desenvolvimento do Brasil.

4.1.4 Matriz energética brasileira

Como forma de começar a responder a pergunta da Ana é inserido o gráfico da matriz energética brasileira, buscando mostrar que a matriz energética brasileira já possui diversas fontes de energia, porém ainda é grande dependente das hidrelétricas, o que causa uma certa insegurança. E que ainda apresenta participação de fontes que provocam grande impacto ambiental.

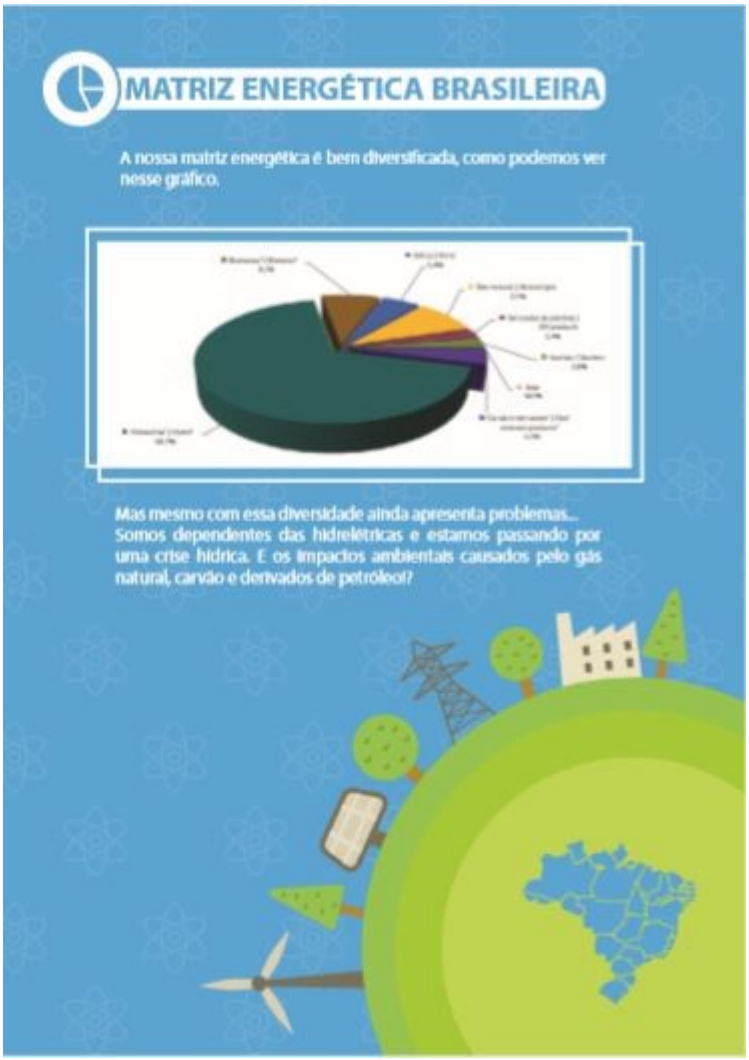

Figura 20 – Matriz energética brasileira. Fonte: Autoria própria

Como pode ser visto na figura (20), a imagem utilizada para representar este tópico é o mapa do brasil rodeado por algumas fontes de energia.

4.1.5 O que é energia nuclear?

Neste tópico começa a abordagem sobre energia nuclear, onde Ana apresenta esta tecnologia como possível solução da problemática levantada anteriormente.

Figura 21 – O que é energia nuclear?. Fonte: Autoria própria

Neste tópico foi abordado de forma simplificada o que é energia nuclear, a composição básica do átomo, e como é possível gerar a energia através do núcleo. Foi utilizada uma linguagem direta e ilustrações que demonstrem como é o átomo para que pessoas leigam consigam entender o princípio básico.

4.1.6 Benefícios e malefícios

Os benefício e malefícios foram apresentados em forma de tópicos, a fim da melhor visualização do leitor, para que este possa fazer a comparação, entre os pontos positivos e negativos.

Figura 22 – Benefícios e Malefícios. Fonte: Autoria própria

A imagem ao centro da figura (22), representa a quantidade de combustível necessária para a produção da mesma quantidade de energia, um dos fatores mais impactantes a favor da energia nuclear.

4.1.7 Quantidade de usinas no mundo

A figura (23) contém a quantidade de usinas em funcionamento no mundo. A imagem do mapa do mundo, contém a quantidade de reatores presentes em cada continente, sendo que apenas a América foi dividida, em América do Sul, que possui 4 reatores, e América Central com América do Norte que juntas possuem, 124 reatores em funcionamento.

Figura 23 – Quantidade de usinas no Mundo. Fonte: Autoria própria

E na parte inferior possui a participação da Ana apresentando uma curiosidade aos leitores, mostrando que alguns países com alto IDH são dependentes da energia nuclear.

4.1.8 Segurança dos reatores

Este tópico é indispensável de ser retratado, visto que um dos maiores anseios da população, é quanto a segurança dos reatores. Foi escolhido mostrar as quatro proteções físicas, a fim de ficar mais clara a utilização de cada um, como também a enumeração da imagem, para que o leitor consiga identificar e visualizar como são essas proteções.

Segurança dos reatores

A segurança é primordial em todas as etapas de construção de uma usina nuclear. Nos reatores PWR (Pressurized Water Reactor), reator à água pressurizada, que é utilizado em Angra 1 e Angra 2, a segurança é realizada por quatro elementos.

1 **Varetas de combustível:** onde é depositado o urânio em formas de partilhas, elas são fechadas para que o material não escape, sendo resistentes a altas temperaturas. Essas varetas são montadas na estrutura chamada de elemento combustível.

2 **Vaso de pressão:** é uma estrutura de aço de 20 a 30 cm de espessura, que recebe os elementos combustíveis, servindo como uma segunda barreira.

3 **Vaso de contenção:** é a terceira barreira, estrutura de concreto e aço que recebe o vaso de pressão e o trocador de calor.

4 **Edifício do reator:** envoltório de concreto e aço que recebe o vaso de contenção. Esta é a última barreira de impedimento de vazamento de material radioativo, como também a mais espessa, contendo 1 metro de espessura, protegendo todo o sistema de impactos externos, como queda de aviões e explosões, terremotos.

Figura 24 – Segurança dos reatores. Fonte: Autoria própria

4.1.9 Usinas do Brasil

Este tópico consta duas páginas da cartilha, uma referente a Angra 1 e outra a Angra II. Nela são informadas as potências dos reatores, o início de operação e o número de habitantes de uma cidade que é capaz de atender, como também a representação das contenções de cada uma delas.

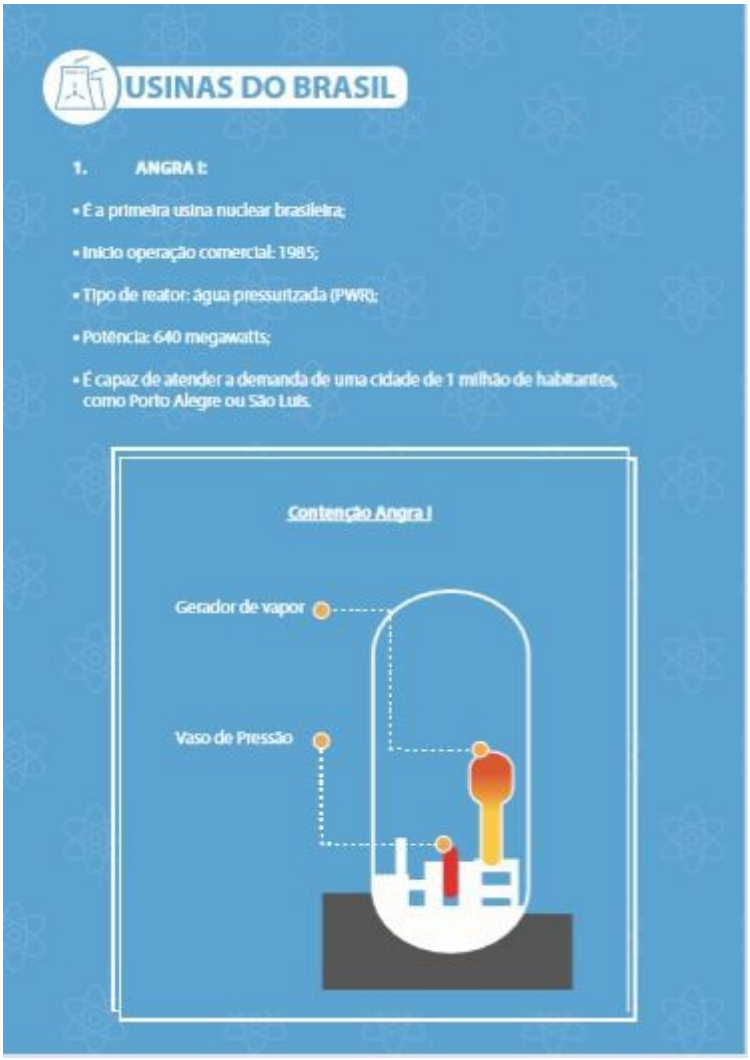

Figura 25 – Angra 1. Fonte: Autoria própria

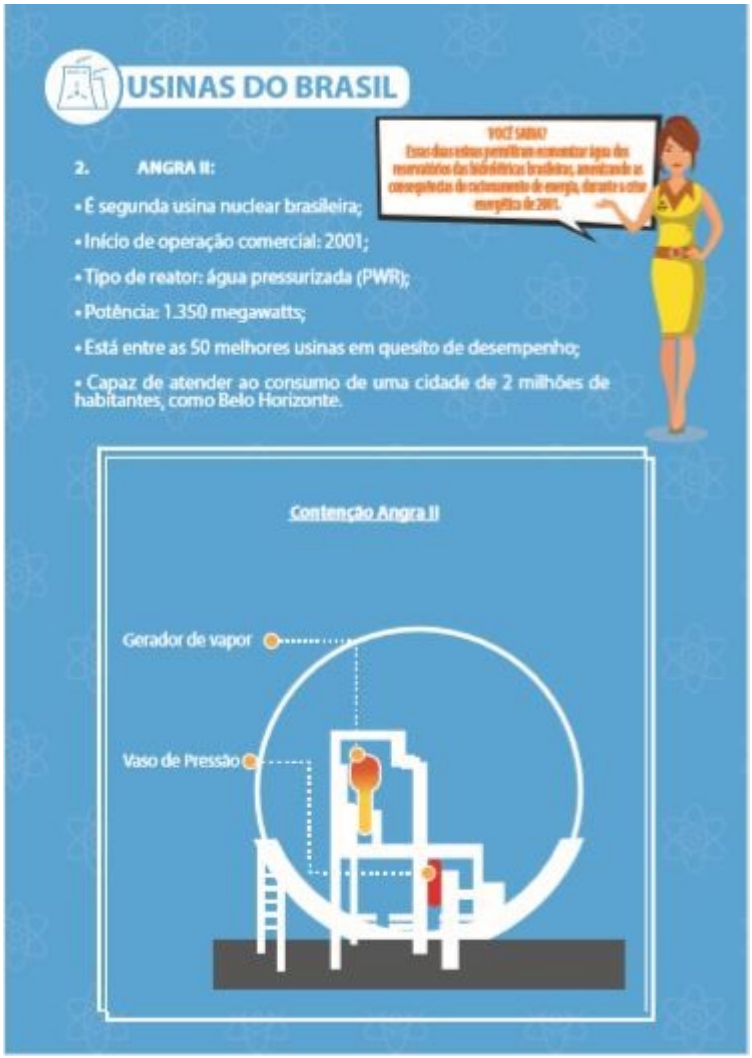

Figura 26 – Angra 2. Fonte: Autoria própria

Na página de Angra II, a personagem aparece informando que a utilização das duas usinas amenizou as consequências da crise energética de 2001.

4.1.10 Acidentes Nucleares

Provável, que o tópico mais conhecido por parte da população, porém sem que saibam as causas dos acidentes, gerando um sentimento de medo e receio quanto a essa tecnologia. Por este fato optou-se por citar os três principais acidentes nucleares e fazer uma comparação com os reatores presentes no Brasil, mostrando que acidentes destes tipos não são possíveis de ocorrência nos reatores de Angra 1 e 2.

Figura 27 – Acidentes nucleares. Fonte: Autoria própria

Na figura (27) também possui a presença de Marie Curie, mostrando que o número de acidentes que já ocorreram no mundo, é pequeno comparado ao número de reatores em funcionamento.

4.1.11 Despedida

Neste tópico Ana questiona se agora é possível o posicionamento do entrevistado quanto a energia nuclear. Também informa o site do CNEN, para obtenção de maiores informações, como pode ser visto na figura (28).

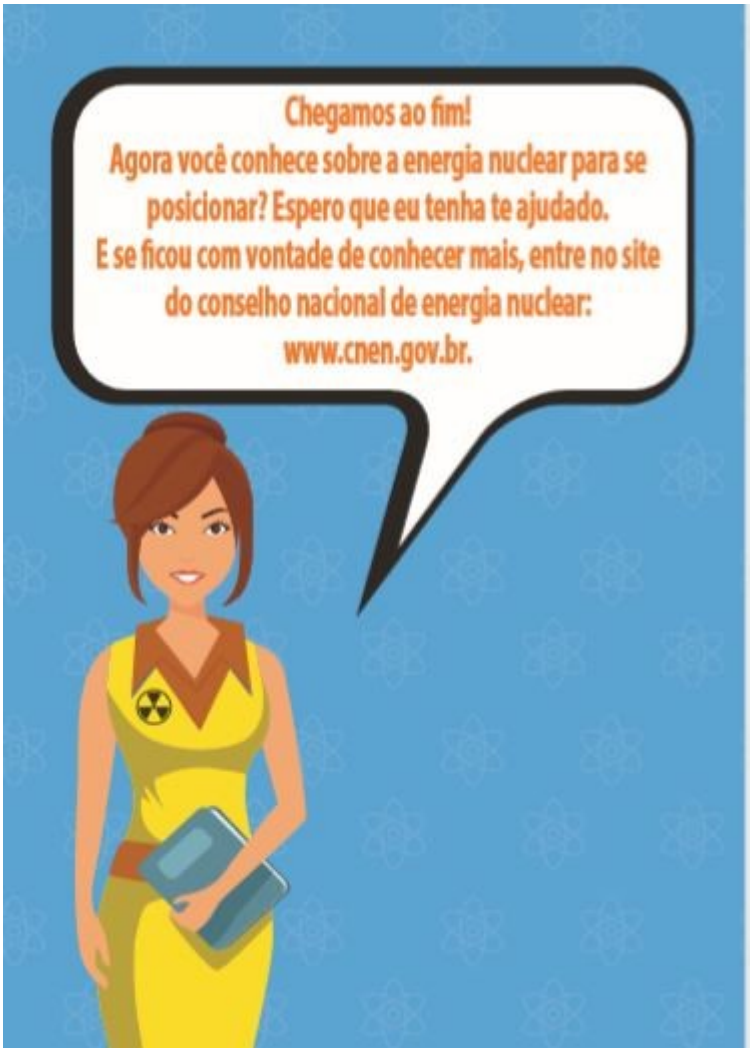

Figura 28 – Despedida. Fonte: Autoria própria

4.1.12 Desfecho

Única página com fundo branco,figura (29), para dar um destaque maior, visto que contém o desfecho da cartilha, possuindo a conclusão de tudo que foi apresentado.

O ser humano vive constantemente em busca de novas formas de energia, visto a demanda crescente de eletricidade.
Com isto a formulação da matriz energética futura buscará todas as opções de fontes de geração de energia elétrica, buscando uma diversidade, para que não exista a dependência de uma única fonte.
A energia nuclear tem um amplo papel nesta matriz energética, principalmente em países desenvolvidos, que requerem ampla demanda energética, e que muitas vezes não possuem características favoráveis para a utilização de fontes renováveis. E as grandes potências mundiais já a utilizam não apenas para gerar eletricidade, mas também como combustíveis para navios e submarinos, na indústria, na medicina, na agricultura.
No caso do Brasil temos a possibilidade de exploração de recursos naturais como o aproveitamento de água, vento, sol, biomassa, mas não podemos esquecer da energia nuclear, já que possuímos a sétima maior reserva de Urânio do mundo e temos o domínio tecnológico para usá-lo, sendo assim uma solução energética para o problema da crise hídrica que o país tem passado e as mudanças climática mundiais.
E com os constantes aprimoramentos da tecnologia das usinas nucleares melhoram a segurança na operação dos reatores. Logo, utilizada com inteligência e responsabilidade a torna incomparável, uma fonte energética que já trouxe e pode trazer grandes benefícios para todo o mundo.

Figura 29 – Desfecho. Fonte: Autoria própria

4.2 Aplicação cartilha

Para a validação da cartilha, foi aplicado o questionário em anexo juntamente com a cartilha, a análise foi realizada separadamente entre as vinte aplicações aos alunos da faculdade do Gama, e as vinte da população.

Para melhor análise as respostas foram organizadas em forma de gráficos. Os gráficos juntamente com suas análises são mostrados nos subitens a seguir.

4.2.1 Aplicação cartilha: Alunos FGA

A aplicação da cartilha aos alunos da FGA, foi realizada através de abordagem aleatória nos corredores da universidade. Nesta amostra foram entrevistados 20 alunos, sendo estes graduandos das cinco engenharias presente no campus, o número de entrevistados por engenharia pode ser visto a seguir:

- Engenharia Aeroespacial = 3;
- Engenharia Automotiva = 4;
- Engenharia de Energia = 6;
- Engenharia Eletrônica = 4;
- Engenharia de Software = 3.

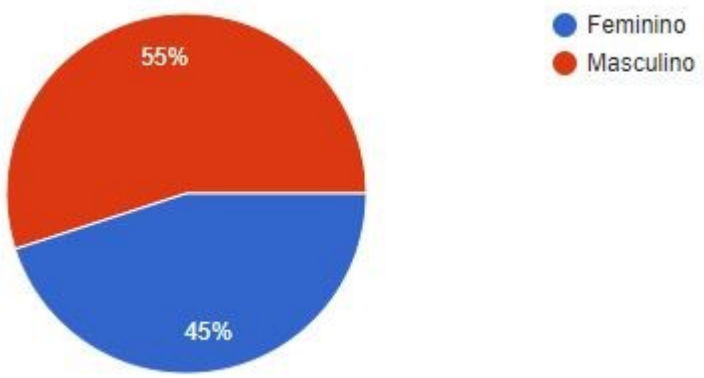

Figura 30 – Gênero alunos. Fonte: Autoria própria

Destes 20 entrevistados foram 11 homens e 9 mulheres, que corresponde á 55% e 45%, respectivamente, como podemos ver na figura (30), com idade entre 18 e 25 anos.

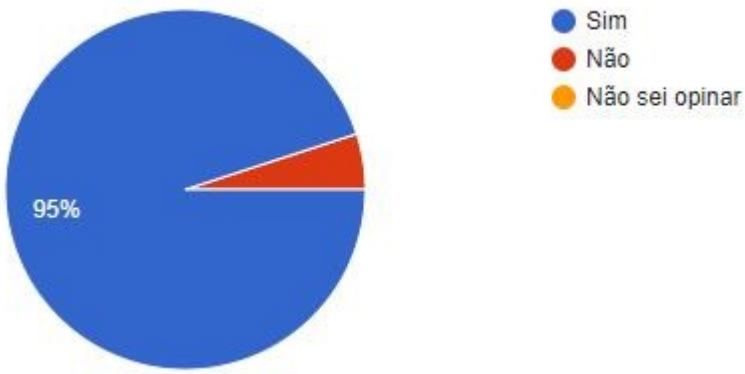

Figura 31 – Gráfico questão 1.1. Fonte: Autoria própria

Na parte de visão preliminar do questionário, apenas 1 entrevistado, este graduando de engenharia aeroespacial, não vê a energia nuclear como fonte promissora para

maior diversificação da matriz energética brasileira, dado observado no gráfico da figura(31).

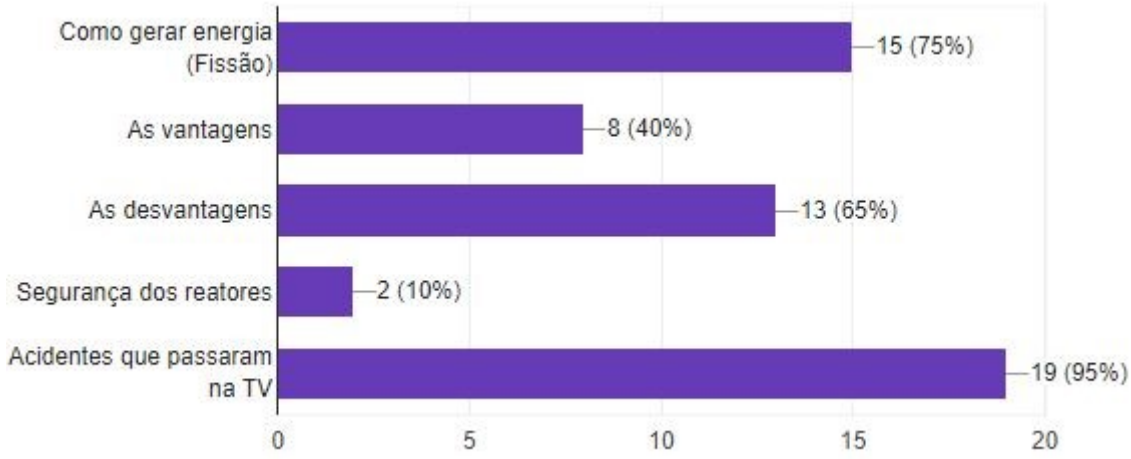

Figura 32 – Gráfico questão 1.2. Fonte: Autoria própria

No gráfico presente na figura (32), nota-se que o item mais conhecido a respeito da energia nuclear são os acidentes, sendo desconhecido apenas por 1 aluno. E que o assunto segurança dos reatores é o menos conhecido, sendo marcado por apenas 10% dos alunos. Fazendo a comparação entre as vantagens e desvantagens temos que os alunos conhecem mais os pontos negativos dessa fonte do que os pontos positivos.

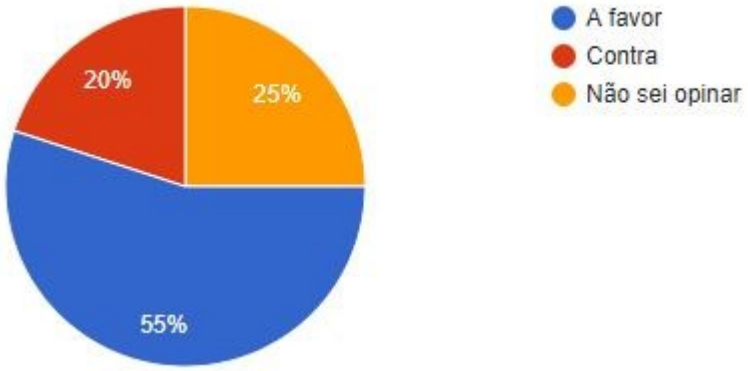

Figura 33 – Gráfico questão 1.3. Fonte: Autoria própria

A figura (33), representa a quantidade de alunos a favor, contra e que não sabem opinar sobre a utilização da energia nuclear no Brasil, sendo respectivamente, 11, 4 e 5 alunos.

Para validação da cartilha foram realizadas mais três perguntas para ver se a cartilha surgiu efeito na opinião dos entrevistados. A questão 2.1 teve opinião unanime,

todos os entrevistados obtiveram alguma informação anteriormente desconhecida sobre a energia nuclear.

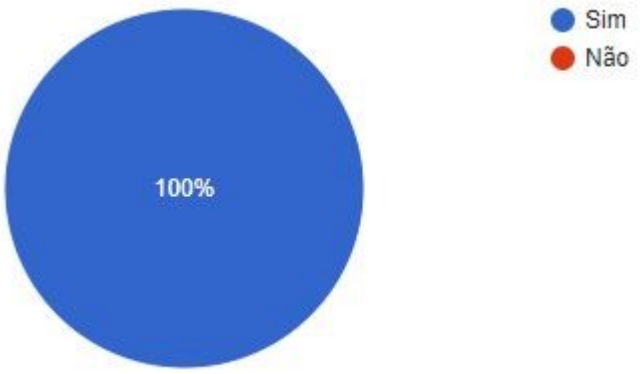

Figura 34 – Gráfico questão 2.1. Fonte: Autoria própria

Com essas informações adicionais 60% dos alunos confirmaram seu posicionamento anterior e 40% mudaram o posicionamento, como pode ser visto na figura (35).

Figura 35 – Gráfico questão 2.2. Fonte: Autoria própria

Essa mudança de opinião pode ser observada na figura(36).

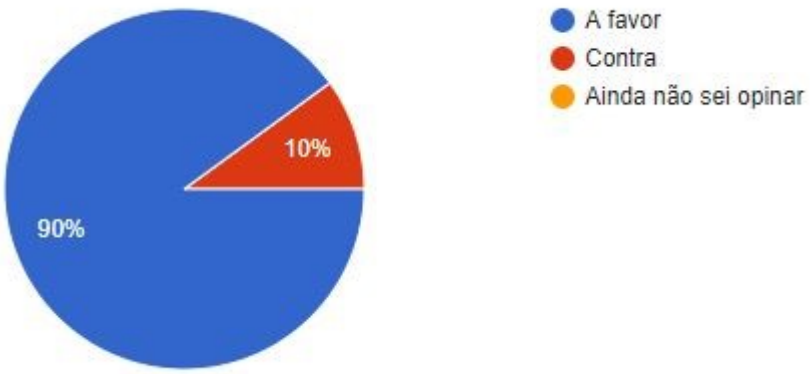

Figura 36 – Gráfico questão 2.3. Fonte: Autoria própria

Comparando as respostas da questão 1.3 e da 2.3 temos que as pessoas que não sabiam opinar na 1.3 se posicionaram depois de ler a cartilha, visto que nenhum aluno marcou a opção "ainda não sei opinar".

Seis alunos deixaram comentários/sugestões para a cartilha, estes são expostos a seguir.

"Acredito que a energia nuclear tem muito potencial de geração, que apesar dos seus riscos (que podem ser mitigados) é uma fonte energética promissora."(Graduanda engenharia de energia)

"Poderia relacionar a parte sustentável de uma usina nuclear com uma usina hidrelétrica."(Graduanda engenharia de energia)

"Penso que para trabalhar em uma usina nuclear a pessoa precisa qualificar-se mais e mais, pois o nível de exigência para a segurança é maior. Penso que poderia mostrar onde o lixo nuclear hoje é jogado fora. Mas em si ficou tudo muito bom e esclarecedor."(Graduando engenharia aeroespacial)

"O design da cartilha ficou didático e de fácil entendimento. Conhecia só as coisas ruins a respeito dessa tecnologia, mudei meu pensamento, por agora saber que também tem diversos lados positivos."(Graduanda engenharia eletrônica)

"A pesquisa poderia ser feita de forma online."(Graduando engenharia de software)

"Gostei da contextualização da segurança que Angra 1 e 2 possuem, era uma informação desconhecida até então, é importante saber que as usinas não estão sujeitas a explosões. Importante também a questão das causas dos acidentes ocorridos. Acho que faltou informações sobre a quantidade de energia liberada, serviria como mais um argumento a favor."(Graduanda engenharia de energia)

Os comentários foram explicados durante a aplicação, visto que foram temas abor-

dados no trabalho escrito, não aparecendo explicito na cartilha por questão de espaço.

A relação de usina nuclear com usina hidrelétrica foi citada na página de benefícios, optou-se por não colocar uma página apenas para esse tópico, pois como a cartilha é destinada a população geral, acreditou-se que a comparação de área seria suficiente,comparando apenas essa variável, visto que a maior parcela da população não conhece os impactos das hidrelétricas.

A sugestão de abordagem do lixo nuclear, foi bem pertinente, e poderia ter sido abordado na cartilha, pois é um assunto que gera medo nas pessoas, principalmente por conta do acidente ocorrido em Goiânia.

A pesquisa foi realizada pessoalmente, por ter o acompanhamento da leitura da cartilha, tanto para que pudesse responder dúvidas caso surgissem, como para garantir a confiabilidade da pesquisa, tendo a certeza que a pessoa responderia antes e depois de ler a cartilha completa.

Foi passada a informação a respeito da quantidade de energia liberada a graduanda de engenharia de energia, e explicou-se que não foi colocada a quantidade na cartilha, pois a população não possui o conhecimento de quantidade de energia, não conseguindo diferenciar se seria muito ou pouco essa quantidade.

4.2.2 Aplicação cartilha: População

A aplicação da cartilha à população, também foi realizada por abordagem aleatória, optou-se por abordar pessoas em diferentes pontos de Brasília, a fim de se obter opinião de pessoas de todas as localidades.

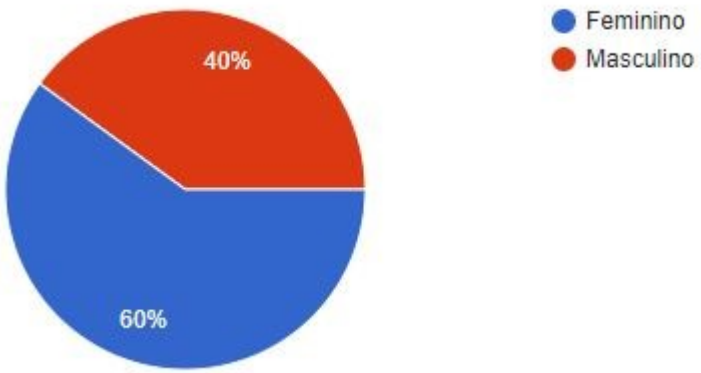

Figura 37 – Gênero população. Fonte: Autoria própria

Nesta amostra foram entrevistados 20 pessoas, dos quais foram 8 homens e 12 mulheres como pode ser visto na figura(37), sendo estas de profissões diferentes, engenheiros,

alunos, aposentados, veterinário, professora, entre outros, com idade variando de 21 a 64 anos.

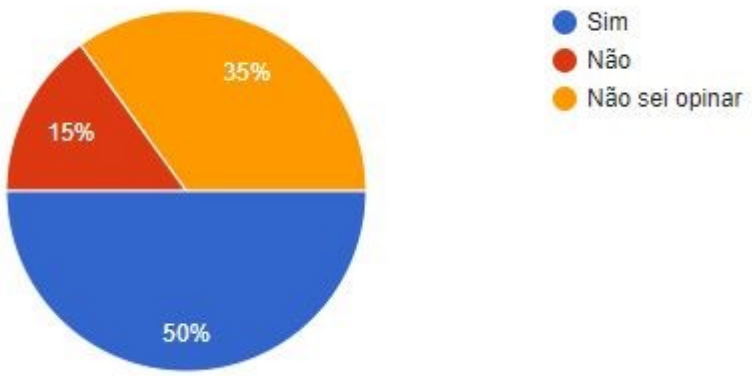

Figura 38 – Gráfio questão 1.1 população. Fonte: Autoria própria

A figura (38) mostra o gráfico referente as respostas da questão 1.1, onde 7 pessoas, não souberam opinar, 3 não acham a energia nuclear promissora para maior diversificação da energia nuclear brasileira e 10 pessoas acham promissora.

As respostas da questão 1.2 da população são representas no gráfico da figura (39).

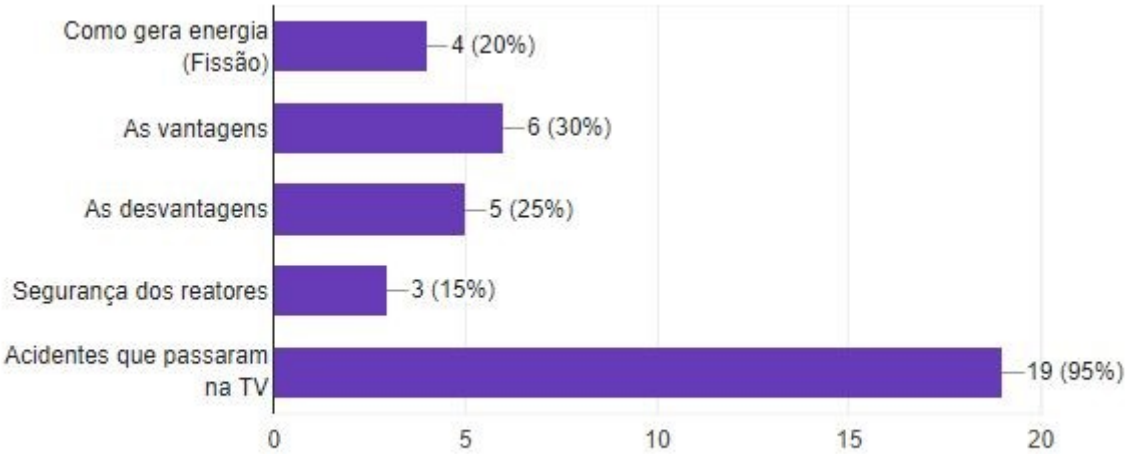

Figura 39 – Gráfio questão 1.2 população. Fonte: Autoria própria

Como no resultado dos alunos o assunto mais conhecido são os acidentes, sendo desconhecido apenas por 1 pessoa. E como é gerada a energia (Fissão), teve uma redução de 55% comparado com os alunos, o que era de se esperar, visto que os alunos estudam isso nos cursos do campus Gama. E mais uma vez o assunto menos conhecido é a segurança dos reatores, marcado por apenas 3 pessoas, que equivale a 15% da amostra.

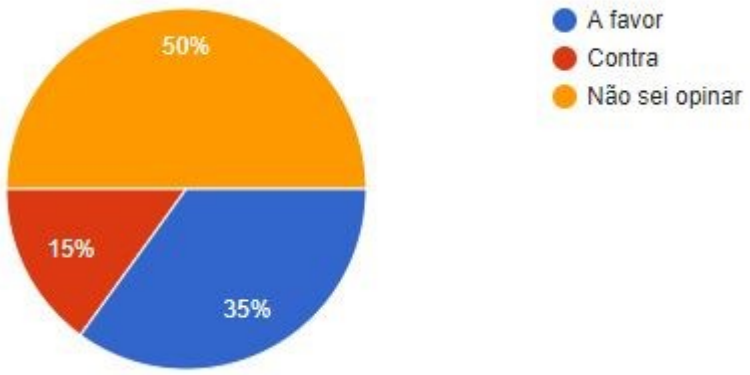

Figura 40 – Gráfio questão 1.3 população. Fonte: Autoria própria

Como mostrado na figura (40), 50% dos entrevistados não sabiam opinar a respeito de ser contra ou a favor da energia nuclear no Brasil, sendo que dos outro 50%, 35% se posicionaram a favor e 15% contra.

Após a aplicação da cartilha, todos os entrevistados alegaram que aprenderam sobre algo novo a respeito da energia nuclear, como é mostrado na figura (41).

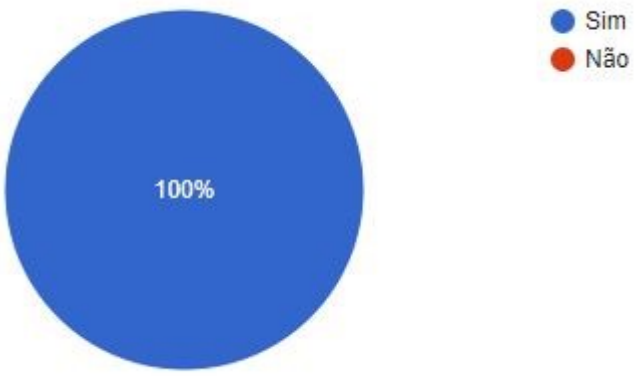

Figura 41 – Gráfio questão 2.1 população. Fonte: Autoria própria

Depois de lerem a cartilha, 12 pessoas alegaram que mudaram o seu posicionamento devido ao conhecimento de novos aspectos da energia nuclear, 7 pessoas confirmaram seu posicionamento, e pessoas achou indiferente que continuou com o mesmo posicionamento anterior, esses são representados na (42) pelos números 60%, 35% e 5% respectivamente.

Figura 42 – Gráfio questão 2.2 população. Fonte: Autoria própria

A análise da questão 2.3, foi realizada de forma mais minuciosa, a fim de se observar se houve mudanças de opinião em relação a questão 1.3. A figura (43), apresenta a porcentagem de pessoas a favor, contra e que ainda não sabem opinar depois de lerem a cartilha.

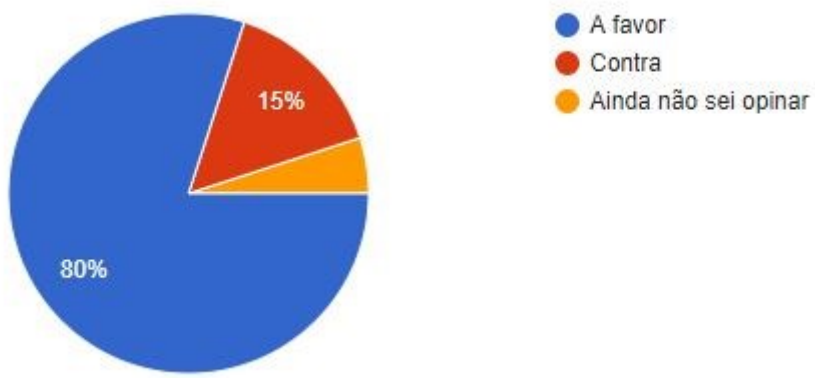

Figura 43 – Gráfio questão 2.3 população. Fonte: Autoria própria

Fazendo comparação com a questão 1.3 temos que o número de pessoas contra foi igual a 3 nas duas, e que houve uma redução de 45%, de 10 pessoas que não sabiam opinar antes de ler a cartilha apenas 1 não soube se posicionar depois de ler. Vale ressaltar que por mais que o número de pessoas contra antes de ler e depois de ler a cartilha, apenas 1 pessoa é a mesma na estatística, 2 pessoas que se posicionaram contra na questão 1.3 mudaram de opinião sendo a favor da energia nuclear na questão 2.3, e duas que não sabiam opinar, se posicionaram contra.

Onze pessoas entrevistas deixaram comentários/sugestões que são demonstrados a seguir, e as dúvidas que iam surgindo foram tiradas por meio da conversa.

"A cartilha ajudou a criar um posicionamento quanto aos benefícios dessa fonte de energia"(Engenheiro Civil,28).

"A cartilha me ensinou como a energia nuclear é gerada e armazenada. Que no Brasil existem 3 usinas nucleares: Angra I, II e III (em construção). Essas crises economizaram água dos reservatórios durante a crise energética de 2001. "(Pedagoga, 51)

"A energia nuclear é fundamental para a segurança energética do país, as nossas usinas precisam ser concluídas e postas em funcionamento."(Funcionário público aposentado, 62)

"Conhecia apenas os acidentes, então sempre tive medo da energia nuclear, a cartilha me mostrou que ela pode ser usada com cuidado."(Comerciária, 59)

"Eu acredito que a energia nuclear seja uma forte fonte, que poderá gerar mais energia sem tanto ou um menor custo ambiental. se o Brasil adotar as medidas de segurança adequadas. Recebi a informação de que a 3ª usina, Angra III, porque o Brasil não atendeu as exigências do governo Alemão, esta não foi instalada. Com a usina nuclear diminui a dependência das condições adversas e imprevisíveis como as chuvas cuja escassez gera a crise hídria e consequentemente o aumento da energia com o uso das termelétrica."(Aposentado, 58)

"Poderia ter uma sessão de mitos e verdades sobre energia nuclear, pois fiquei com dúvida em relação a fumaça que sai da usina nuclear."(Estudante de arquitetura, 21)

"A cartilha de forma simples e resumida esclareceu sobre um assunto que nunca havia parado para pensar e opinar. Foi super válido e espero que o Brasil possa valorizar esse tipo de fonte de energia."(Arquiteta, 27)

"A cartilha é um bom exemplo do que deve ser feito em diversos ramos para conscientização da população. Ela ajuda a divulgar uma alternativa de fonte energética de forma resumida e didática. É possível perceber quanto o brasileiro é desinformado, pois tenho certeza que uma pequena parcela da população tem conhecimento do que se trata na cartilha. Buscar novas fontes de energia e desenvolver as atuais faz parte da luta do ser humano em buscar um mundo sustentável."(Engenheiro Civil, 33)

"Esse tipo de informação deveria ser mais abordado nas escolas, para as crianças, pois o conhecimento sobre este assunto poderia levar essas crianças ao início da mudança de pensamento e atitude, para criação de novos projetos neste meio."(Vendedor,28)

"Gostei do material, me informou sobre a energia nuclear, vi que também possui coisas boas."(Atendente, 26)

"Me chamou atenção o baixo índice de acidentes graves registrados no mundo e ranking do Brasil em desenvolvimento, mesmo não sendo uma de nossas matrizes energéticas utilizadas. Ou seja, ainda temos enorme potencial energético, a ser explorado.

Parabéns! Belo trabalho."(Professor, 41)

Pelo comentários percebe-se a importância desse tipo de trabalho com a população, onde pessoas estão interessadas em aprender cada dia mais sobre assuntos diversos, e principalmente assuntos que podem trazer melhoras a sociedade, e até mesmo tirar medos que foram construídos culturalmente. Quanto a sugestão de mitos e verdades sobre energia nuclear, seria uma boa forma de informar a população, pois muitas informações são divulgadas de forma equivocada, aumentando o medo da população. Os resultados foram satisfatórios devido ao fato dos entrevistados terem afirmado aprenderem sobre mais uma fonte energética do Brasil.

5 Considerações Finais

Através da pesquisa bibliográfica realizada, foi possível observar a necessidade de maior participação de algumas fontes de energia na matriz brasileira. Visto que, o Brasil apesar, de possuir diversidade em sua matriz, é altamente dependente de centrais hidrelétricas. Porém com a crise hídrica que o país vem vivendo, e a necessidade de aumento de geração de energia para que haja também um aumento em seu desenvolvimento, acabam ficando inseguros, por conta desta dependência, sendo necessário a busca por novas fontes de energia.

O presente trabalho trouxe como solução a energia nuclear, devido seu grande potencial elétrico e a não emissão de gases de efeito estufa. Porém em paralelo a esta solução é necessário a realização de campanhas educativas, a fim de informar a população a respeito desta tecnologia, uma vez que as principais informações a respeito desta são apresentadas de maneira negativa, fazendo que a população crie receio sem ao menos conhecer de fato essa fonte que explorada da maneira correta, só tem a trazer benefícios a toda sociedade. E não apenas na parte elétrica, mas também no transporte, indústria, medicina, agricultura, em diversas áreas, que inclusive já são utilizadas em muitos países desenvolvidos.

O Brasil tem potencial para diversas fontes energéticas como água, sol, vento, biomassa, mas também possui para a utilização da energia nuclear, em razão de dispor da sétima maior reserva de urânio do mundo, além de dominar todo o ciclo do combustível. E o principal temor, que é a segurança desta fontes, vem sendo aprimorado a cada dia, tornando-a cada dia mais segura.

Logo, como dito por Peruzzo (2012) utilizada com inteligência e responsabilidade a torna incomparável, uma fonte energética que já trouxe e pode trazer grandes benefícios para todo o mundo.

O presente trabalho não foi submetido ao comite de ética devido ao tempo necessário e por se tratar de uma pesquisa preliminar, para pesquisa futura a ser publicada será submetido, na entrevista a abordagem foi realizada portando a carteirinha estudantil juntamente com o comprovante de matrícula, para devida identificação.

Por fim, o objetivo do presente trabalho foi alcançado, foi elaborada uma cartilha, como material informativo a respeito da energia nuclear, onde são abordados os principais tópicos desta tecnologia, de forma dinâmica e clara, para fácil entendimento de leitores leigos e a análise da aplicação desta validou a cartilha, visto que analisando as 40 pessoas que responderam a pesquisa, antes de ler a cartilha 15 pessoas não sabiam opinar, 7 pessoas eram contra e 18 pessoas a favor, após a leitura esses números mudaram para 1,

5 e 34, respectivamente. Sendo assim, houve uma redução de 35% do número de pessoas que não sabia opinar. Vale ressaltar ainda que 19 pessoas, o que equivale a 47,5% da amostragem geral mudaram de opinião de pois de ler a cartilha, dos quais 12 pessoas não sabiam opinar e se posicionaram a favor, 3 não sabiam e após a leitura ficaram contra e 4 que eram contra mudaram para a favor, com isso a aplicação da cartilha foi validada com sucesso.

Referências

ABEN. *Campanha publicitária da Eletrobras Eletronuclear vence Prêmio ABAP de Sustentabilidade*. 2014. Disponível em: <http://www.aben.com.br/noticias/campanha-publicitaria-da-eletrobras-eletronuclear-vence-premio-abap-de-sustentabilidade>. Citado 2 vezes nas páginas 11 e 47.

ALMEIDA, R. A. d. *Um estudo simplificado sobre a percepção pública na área nuclear: sugestões para campanhas educativas para os diferentes segmentos da sociedade*. Tese (Doutorado), 2011. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 46.

ALMEIDA, W. B. de; SANTOS, H. F. dos. Modelos teóricos para a compreensão da estrutura da matéria. 2001. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/cadernos/04/mod-teor.pdf>. Citado na página 26.

ANEEL. Atlas de energia elétrica do brasil, capítulo 8: Energia nuclear. 2016. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_par3_cap8.pdf>. Citado 2 vezes nas páginas 35 e 37.

CALIAN, B. R. Energia nuclear. 2016. Citado 3 vezes nas páginas 42, 43 e 44.

CNEN. Apostila educativa: Energia nuclear. 2004. Disponível em: <http://portaldaradiologia.com/wp-content/uploads/2010/03/Energia-Nuclear.pdf>. Citado 10 vezes nas páginas 11, 27, 29, 33, 37, 38, 39, 40, 43 e 44.

CNEN. *Apostilas Educativas*. 2015. Disponível em: <http://www.cnen.gov.br/index.php/component/content/article?id=128>. Citado 2 vezes nas páginas 11 e 46.

CNEN. *Armazenamento de Rejeitos Radioativos*. 2015. <http://www.cnen.gov.br/armazenamento-de-rejeitos-radiotivos>. Citado na página 35.

COLASSO, C. G. Acidentes químicos e nucleares e a percepção de risco. *Revista Intertox de Toxicologia, Risco Ambiental e Sociedade*, v. 4, n. 2, 2015. Citado 3 vezes nas páginas 11, 44 e 45.

ELETROBRáS. Energia nuclear. 2017. Disponível em: <http://www.eletronuclear.gov.br/Saibamais/Espa%C3%A7odoConhecimento/Pesquisaescolar/EnergiaNuclear.aspx>. Citado na página 37.

ELETROBRáS. Segurança nuclear. 2017. Citado 2 vezes nas páginas 37 e 38.

ELETRONORTE. *'Como a energia nuclear pode ajudar o planeta' é o mote da nova campanha de engajamento da Associação Mundial Nuclear*. 2016. Disponível em: <http://www.eletronuclear.gov.br/Not%C3%ADcias/NoticiaDetalhes.aspx?NoticiaID=1739>. Citado 2 vezes nas páginas 47 e 48.

ENERGÉTICA, E.-E. de P. Balanço energético nacional 2016. *Empresa de Pesquisa Energética-Ministério de Minas e Energia. Brasília: ano base*, v. 2016, 2015. Citado 3 vezes nas páginas 11, 21 e 25.

GREENPEACE. *Acidentes com usinas nucleares e suas consequências*. 2011. <http://www.greenpeace.org/brasil/pt/Blog/acidentes-com-usinas-nucleares-e-su/blog/33736/>. Citado na página 40.

IAEA. Iaea annual report 2016. 2016. Disponível em: <https://www.iaea.org/sites/default/files/publications/reports/2016/gc61-3.pdf>. Citado na página 35.

IBGE. *População*. 2016. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/sociais/populacao.html>. Citado na página 23.

LIMA, L. C. d. A.; GONÇALVES, P. R. C. Desafios do desenvolvimento sustentável: estudo sobre as mudanças na matriz energética brasileira. Niterói, 2017. Citado na página 26.

LORA, E. E. S. *Geração Termelétrica: Planejamento, Projeto e Operação*. [S.l.]: Editora Interciência, 2004. Citado na página 30.

MANSO, M. E.; VARANDAS, C. A. F. Fusão nuclear, uma opção energética para o futuro. Centro de Fusão Nuclear, Associação EURATOM / IST, 2017. Citado 2 vezes nas páginas 11 e 28.

MENDES, N. A. S. As usinas hidrelétricas e seus impactos: os aspectos socioambientais e econômicos do reassentamento rural de rosana euclides da cunha paulista. Universidade Estadual Paulista (UNESP), 2005. Citado na página 32.

MME. *Renováveis devem manter participação de 43energética em 2017*. 2017. <http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticas/-/asset_publisher/32hLrOzMKwWb/content/renovaveis-devemmanter-participacao-de-43-na-matriz-energetica-em-2017>. Citado na página 26.

MOREIRA, M. A. O modelo padrão da física de partículas. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 31, n. 1, 1306, 2009. Citado na página 27.

OLIVEIRA, R. S. D. Acidentes nucleares: estratégia de defesa. 2011. Citado 4 vezes nas páginas 42, 43, 44 e 45.

ONUBR. *A ONU e a energia atômica*. 2017. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/acao/energia-atomica/>. Citado na página 35.

PASTERNAK, A. D. Global energy futures and human development: A framework for analysis. 2000. Disponível em: <https://e-reports-ext.llnl.gov/pdf/239193.pdf>. Citado 2 vezes nas páginas 11 e 24.

PERUZZO, J. *Física e Energia Nuclear*. [S.l.]: Livraria da Física, 2012. Citado 21 vezes nas páginas 11, 13, 23, 26, 27, 29, 30, 32, 34, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 54 e 77.

PESTANA, S. Apostila educativa-aplicações da energia nuclear. *CNEN, Rio de Janeiro, Brasil*. Citado na página 34.

PRÄSS, A. R. Energia nuclear hoje: Uma análise exploratória. *Porto Alegre*, 2007. Citado 2 vezes nas páginas 32 e 34.

PSR; LEWE. A energia que queremos. Edição 1, Dezembro de 2016, 2016. Citado na página 21.

RESNICK, R. *Física 4*. [S.l.]: LTC Editora, 2004. Citado 4 vezes nas páginas 26, 27, 28 e 29.

RIBEIRO, D. Fusão nuclear. *Revista de Ciência Elementar*, v. 2, n. 4, 2014. Citado na página 28.

ROSA, L. P. Geração hidrelétrica, termelétrica e nuclear. *Estudos Avançados*, SciELO Brasil, v. 21, n. 59, p. 39–58, 2007. Citado 2 vezes nas páginas 32 e 34.

SILVA, J. N. Uma abordagem histórica e experimental da eletrostática. 2011. Disponível em: <https://periodicos.unifap.br/index.php/estacao/article/view/126/v1n1Jose.pdf>. Citado na página 27.

WNA. *NuclearFoorprints*. 2016. Disponível em: <http://www.nuclearfootprints.org/>. Citado 2 vezes nas páginas 11 e 48.