UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC

CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS – CCT

ENGENHARIA ELÉTRICA

AIRTON AKIO WATANABE SATO

PERSPECTIVAS DA ENERGIA NUCLEAR NA MATRÍZ ENERGÉTICA BRASILEIRA

JOINVILLE/SC

2016

AIRTON AKIO WATANABE SATO

PERSPECTIVAS DA ENERGIA NUCLEAR NA MATRÍZ ENERGÉTICA BRASILEIRA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial na obtenção do grau de bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Adalberto de Araújo Barreto Filho

JOINVILLE/SC

2016

AIRTON AKIO WATANABE SATO

PERSPECTIVAS DA ENERGIA NUCLEAR NA MATRÍZ ENERGÉTICA BRASILEIRA

Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade do estado de Santa Catarina – Centro de Ciências Tecnológicas – Bacharelado em Engenharia Elétrica

Banca Examinadora

Orientador: Adalberto de Araújo Barreto Filho
IES de origem: UDESC (Universidade do Estado de Santa Catarina)
Titulação: Doutor

Membro:
IES de origem:
Titulação:

Membro:
IES de origem:
Titulação:

JOINVILLE/SC

2016

RESUMO

Diante dos registros recentes de dados climáticos, revelando flutuações consolidadas nos índices pluviométricos, com tendências plurianuais de precipitações abaixo da média, sobretudo nas áreas onde estão localizados os maiores reservatórios hidroelétricos - na região SE do Brasil - ao lado do consequente aumento da geração termelétrica, a matriz energética brasileira dá sinais de mudanças – seja num horizonte de longo, e mesmo, médio prazo. Com tais registros o sistema elétrico brasileiro se aproxima de um cenário semelhante, no que diz respeito à equação demanda-suprimento de energia, ao que se configurou na década passada - quando o racionamento de energia elétrica tornou-se componente não desprezível no planejamento energético do país, podendo, até, a se tornar inevitável. O que corresponde a um cenário considerável, sobretudo, se orientações e ações de grande impacto, no sentido de transformação da matriz energética brasileira, não forem concretizadas. Nestes cenários o imperativo da diversificação e ampliação do parque gerador deve, forçosamente, ser observado no planejamento energético do país – o que vem se tornando uma diretriz cada vez mais crítica. Com os avanços tecnológicos disponíveis e a reconhecida disponibilidade de jazidas de urânio combustível no país, a energia termonuclear se destaca por seu caráter de energia estocável, ou seja, firme, não emissora de gazes poluentes, segura e confiável. Diante deste cenário, este trabalho tem como objetivo apresentar uma proposta para a prospecção da Geração Termonuclear no Brasil analisando os incentivos, entraves e os impactos socioeconômicos e ambientais para esta fonte de energia ainda polêmica, porém, promissora.

Palavras-chave: Usinas Termonucleares, dados pluviométrico, geração de energia, energia limpa, segura, confiável.

ABSTRACT

In light of the recent data records, revealing consolidated fluctuations in rainfall indices, with multiyear rainfall trends below average, especially in areas where the largest hydroelectric reservoirs are located - in the SE region of Brazil - along with the consequent increase in thermoelectric generation, The Brazilian energy matrix shows signs of change - whether in the long term, or even in the medium term. With such records, the Brazilian electrical system approaches a similar scenario, with respect to the demand-supply equation of energy, which was configured in the last decade - when the rationing of electric energy became a not insignificant component in the energy planning of the Country, and may even become inevitable. What corresponds to a considerable scenario, above all, if orientations and actions of great impact, in the sense of transformation of the Brazilian energy matrix, are not fulfilled. In these scenarios, the imperative of diversification and expansion of the generating park must necessarily be observed in the country's energy planning - which has become an increasingly critical guideline. With the technological advances available and the recognized availability of uranium fuel deposits in the country, the thermonuclear energy stands out for its character of stock, that is, firm, non-emitting polluting gas, safe and reliable. In view of this scenario, this paper aims to present a proposal for the prospection of the Thermonuclear Generation in Brazil, analyzing the incentives, obstacles and socioeconomic and environmental impacts for this still controversial but promising source of energy.

Key-words: Thermonuclear plants, rainfall data, power generation, clean, safe, reliable energy.

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1 - Reator a Água Pressurizada (PWR)....26
Figura 2 - Reator a Água Fervente (BWR)....28
Figura 3 - Reator Refrigerado á Água Leve e Moderado a Grafite....29
Figura 4 - Reator a Água Pesada....30
Figura 5 - Esquemático de um Reator Refrigerado a Gás....31
Figura 6 – Esquema de uma Ultra Centrifuga....37
Figura 7 - Armazenamento horizontal em H.B. Robinson usina nuclear na Carolina do Sul..44
Figura 8- Armazenamento vertical na usina nuclear Surry na Virgínia....45
Figura 9 - Escala Internacional de Acidentes Nucleares....47
Figura 10 - mapa das instalações nucleares francesas....67

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1 - Fonte térmica X Potencial calorifico....32
Tabela 2 - Fonte de energia X Área física ocupada por alqueire....33
Tabela 3 – Principais jazidas nacionais....36
Tabela 4 – Porcentagem de Urânio 235 para cara fim....37
Tabela 5 – Interpretação das escalas....47
Tabela 6 - Investimentos nas usinas termelétricas a gás natural....54
Tabela 7 - Tabela 5 – Preço do MWh das usinas termelétricas a gás natural....55
Tabela 8 - Parâmetros técnico-econômicos de termelétricas a gás natural....55
Tabela 9 - Investimentos nas termelétricas a biomassa (combustível bagaço de cana)....57
Tabela 10 - Preço do MWh das usinas termelétricas a biomassa....58
Tabela 11 - Centrais termelétricas a carvão mineral em operação no Brasil....61
Tabela 12 - Investimentos nas termelétricas a carvão....62
Tabela 13 - Preço do MWh das usinas termelétricas a carvão....62
Tabela 14 – Características do setor nuclear do Canadá....64
Tabela 15 - Características do setor nuclear dos Estados Unidos....65
Tabela 16 - Características do setor nuclear da França....67
Tabela 18 - Dados técnico de Angra1....78
Tabela 19 - Dados técnico de Angra2....83

LISTAS DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Subsistema Sudeste/Centro-Oeste....22
Gráfico 2 - Subsistema Sul....23
Gráfico 3 - Subsistema Nordeste....23
Gráfico 4 - Subsistema Norte Interligado....24
Gráfico 5 - Matriz de Produção de Energia Elétrica - Ago/2016....51
Gráfico 6 - Matriz de Capacidade Instalada de Geração de Energia Elétrica - Fev/2014....51
Gráfico 7 - Fator de capacidade....56
Gráfico 8 - Fator de capacidade das termelétricas a biomassa em 2014....59
Gráfico 9 - Fator de capacidade das termelétricas a carvão em 2014....63

LISTA DE ABREVIATURAS

AIEA	Agência Internacional de Energia Atômica
ASN	Nuclear Safety Authority
BIG	Banco de Informações de Geração
BWR	Boiling Water Reactor
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CNAAA	Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto
EUA	Estados Unidos da América
FAB	Força Aérea Brasileira
FBR	Fast Breeder Reactor
GCR	Gas-Cooled Reactor
GEE	Gases de Efeito Estufa
HWR	Heavy Water Reactor
IEA	International Energy Agency
INES	International Nuclear Event Scale
KWU	Kraftwerk Union
LCOE	Levelised Cost of Electricity
LWGR	Light Water Graphite Reactor
MAE	Mercado Atacadista de Energia
MLT	Média de Longo Termo
MW	Megawatt
NMB	Not in My Beackyard
NRC	Nuclear Regulatory Commission
NUCLEP	Nucleobrás Equipamentos Pesados
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico
PCH's	Pequenas Centrais Hidroelétricas
PDE	Plano Decenal de Expansão
PHWR	Pressurized Heavy Water Reactor
PNE	Plano Nacional de Energia
PWR	Pressurized Water Reactor
RBMK	Reaktor Bolshoy Moshchnosti Kanalnyy
SIN	Sistema Interligado Nacional

TGCC	Turbina a Gás de Ciclo Combinado.
TGCS	Turbina a Gás de Ciclo Simples

Sumário

1 INTRODUÇÃO 13

1.1 PROBLEMA 13

1.2 JUSTIFICATIVA 13

1.3 OBJETIVOS 14

1.3.1 OBJETIVO GERAL 14

1.3.2 OBJETIVO ESPECÍFICO 14

1.4 HIPÓTESE 15

2 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO, ASPECTOS GERAIS E METODOLOGIA. 15

2.1 ATUALIZAÇÃO DOCUMENTAL E LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO. ... 15

2.2 DESENVOLVIMENTO 16

2.3 CONSTATAÇÕES 17

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 17

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO: MODELO DO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO 17

3.2 HISTÓRICO DA ENERGIA NUCLEAR BRASILEIRA 18

3.3 CENÁRIO ATUAL: CRISE ENERGÉTICA BRASILEIRA - ANOS 2001 E 2015 - ATUALIDADE E PERSPECTIVAS. 20

3.3.1 CRISE DE 2001 20

3.3.2 CRISE 2015 21

3.3.3 PERSPECTIVAS 24

3.4 ASPECTOS TECNOLÓGICOS – TIPOS DE REATORES 25

3.4.1 REATOR A ÁGUA PRESSURIZADA (PWR) 25

3.4.2 Reator a Água Fervente (BWR) 27

3.4.3 Reator Refrigerado a Água Leve e Moderado a Grafite (LWGR) 28

3.4.4 Reator a Água Pesada (HWR ou PHWR) 29
3.4.5 Reatores Refrigerados a Gás (GCR) 30
3.5 VANTAGENS AMBIENTAIS 31
4 CARACTERÍSTICAS ESTRATÉGICAS, RISCOS E PROBLEMAS DO PROCESSO DE EXPLORAÇÃO NÚCLEO-ENERGÉTICA. 34
4.1 CARACTERÍSTICAS DA EXPLORAÇÃO DO MINÉRIO. 35
4.2 JAZIDAS DE URÂNIO. 35
4.3 PROCESSAMENTO 36
4.3.1 ENRIQUECIMENTO DO URÂNIO. 36
4.3.2 MONTAGEM DO ELEMENTO COMBUSTIVEL. 37
4.3.3 TECNOLOGIA BRASILEIRA 38
4.3.3.1 TERMONUCLEAR ANGRA1. 39
4.3.3.2 TERMONUCLEAR ANGRA2. 40
4.3.3.3 TERMONUCLEAR ANGRA3. 41
5 RESÍDUOS RADIOATIVOS 42
5.1 TRATAMENTO E ARMAZENAMENTO DOS REJEITOS DE BAIXA E MÉDIA ATIVIDADE 42
5.2 TRATAMENTO E ARMAZENAMENTO DOS REJEITOS ALTA ATIVIDADE 43
6 GRANDES ACIDENTES 47
6.1 THREE MILE ISLAND 48
6.2 FUKUSHIMA 49
6.3 CHERNOBYL 49
7 COMPETITIVIDADE ENTRE FONTES GERADORAS 50
7.1 COMPETIVIDADE ECONÔMICA 51
7.2 USINAS Á GÁS NATURAL. 53
7.2.1 INVESTIMENTO NA IMPLANTAÇÃO 54
7.2.2 PREÇO DO MWh 54
7.2.3 FATOR DE CAPACIDADE 55

7.2.4 IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS 56
7.3 GERAÇÃO TERMELÉTRICA A BIOMASSA 56
7.3.1 DOMÍNIO DA TECNOLOGIA 57
7.3.2 INVESTIMENTO NA IMPLANTAÇÃO 57
7.3.3 PREÇO DO MWh 58
7.3.4 FATOR DE CAPACIDADE 58
7.3.5 IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS 59
7.4 CARVÃO 60
7.4.1 DOMÍNIO DA TECNOLOGIA 60
7.4.2 INVESTIMENTO NA IMPLANTAÇÃO. 61
7.4.3 PREÇO DO MWh. 62
7.4.4 FATOR DE CAPACIDADE 62
7.4.5 IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS 63
8 CENÁRIO ATUAL DA ENERGIA NUCLEAR NO MUNDO 64
8.1 CANADA 64
8.1.1 RESÍDUOS 64
8.2 ESTADOS UNIDOS 65
8.2.1 RESÍDUOS 66
8.3 FRANÇA 67
8.3.1 RESÍDUOS 68
8.4 JAPÃO 69
8.4.1 RESÍDUOS 70
8.6 COREA DO SUL 70
8.6.1 RESÍDUOS 71
9 COMCLUSÃO 72
10 BIBLIOGRAFIA 74
ANEXO A – DADOS TÉCNICOS DAS USINAS NUCLEARES BRASILEIRAS. 78

A.1 ANGRA1 78

A.2 ANGRA2 83

ANEXO B – DEDUÇÃO DOS CÁLCULOS DO LCOE..... 88

1 INTRODUÇÃO

Nesta Seção, uma abordagem introdutória do trabalho será apresentada, tendo como intensão justificar a definição do tema, discutindo e fundamentando o problema abordado. Também serão apresentados os objetivos a serem alcançados no decorrer do trabalho. Em ordem, serão apresentados o Problema, a Justificativa, os Objetivos e por fim a Hipótese.

1.1 PROBLEMA

A matriz de energia elétrica brasileira tem evoluído sempre no sentido de se garantir um perfil renovável. As principais fontes renováveis (de energia elétrica) são as usinas hidroelétricas, que propiciam energia abundante e barata. Sabe-se que o Brasil é um país muito rico em recursos naturais, principalmente no que se refere à água, por isso, nas últimas décadas o Brasil veio investindo maciçamente em hidroelétricas – com o inconveniente de tornar o país sensivelmente dependente deste tipo de fonte energética.

Com o baixo nível de chuvas que vem ocorrendo na região sudeste do Brasil e com alertas meteorológicos que apontam para uma crescente imprevisibilidade, ou menor confiabilidade nas previsões de médio e longo prazo dos regimes hidrológicos, fontes de energia firme e seguras como as termonucleares e as termoelétricas não só podem, como vem sendo, como é o caso do parque termoelétrico brasileiro, acionadas para, em caráter emergencial socorrer o Sistema Interligado Nacional e, principalmente, a região sudeste. Com o crescente desmatamento da Amazônia e a supressão dos mananciais de muitas bacias hidrográficas, períodos de secas extremas em regiões onde nunca antes havia ocorrido, estima-se que serão cada vez mais comuns. Diante do que, no planejamento energético no país, há que considerar a necessária dinamização da matriz energética brasileira, sobretudo no que diz respeito à sua base energética.

A dependência que a matriz energética brasileira tem da hidroeletricidade mostra – se perigosa devido à escassez de recursos hídricos nas principais regiões consumidoras do país, principalmente nos últimos anos. Sempre que o setor hidroelétrico ameaça não dar conta do consumo, as termoelétricas são acionadas. Poluindo e encarecendo a tarifa energética.

1.2 JUSTIFICATIVA

O aparecimento da energia nuclear ocorreu por volta dos anos 70, quando houve um grande fomento desse tipo de matriz energética no mundo. Através de um acordo com a Alemanha, o Brasil optou por construir Termo Nucleares no Rio de Janeiro, que são as atuais

Angra I e II. Em 79, a Marinha iniciou o projeto de enriquecimento de urânio e no ano de 1988, o país ganharia sua primeira usina de enriquecimento do minério.

A energia nuclear é considerada uma energia não renovável porem, tem grandes vantagem sobre as fontes fósseis de energia por não emitir gases de efeito estufa. A combinação de fontes renováveis com fonte nuclear tem tido grande apoio de vários ambientalistas de renome, como o de Dr. James Lovelock. Que consideram a energia nuclear um risco muito menor a biodiversidade do que as energias de origens fósseis e que o uso da energia nuclear é a ideal para combater o aquecimento global. (MONTALVÃO, 2012)

Caso o Brasil produzisse energia elétrica apenas a partir de fontes alternativas, haveria um aumento acentuado das tarifas, o que, provavelmente, provocaria uma desarticulação da indústria, uma maciça onda de desempregos e uma enorme perda de competitividade de nossas indústrias no mercado internacional. Perspectivas feitas até 2030 preveem o esgotamento dos potenciais de recursos hídricos após 2020, o que causará um aumento da oferta de eletricidade proveniente de fontes térmica. Deve-se frisar que biomassa, eólica e solar não são fontes adequadas para essa expansão, pois não propiciam segurança energética. Funcionam apenas como fontes complementares. (MONTALVÃO, 2012)

1.3 OBJETIVOS

Nesta seção são expostos os objetivos deste trabalho. Primeiramente o objetivo geral – o qual irá conduzir todo o foco desta pesquisa – e em seguida os objetivos específicos.

1.3.1 OBJETIVO GERAL

Foi feito um estudo da geração de energia termonuclear no Brasil, abordando aspectos tecnológicos, ambientais, focado na identificação das potencialidades deste energético no Brasil. Estudou - se também, o ambiente de pesquisa e investimentos em sistemas energéticos nucleares, vez que o Brasil é um dos poucos países do mundo que dominam o ciclo de enriquecimento do urânio e, ao mesmo tempo, têm consideráveis reservas de urânio exploráveis em seu território.

1.3.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Levantar os custos para construção de usinas termonucleares no Brasil.
- Análise da qualidade das reservas de urânio no território nacional.

- Estudo da legislação e procedimentos gerais para a construção de centrais termonucleares.
- Análise dos impactos da geração nuclear na matriz energética brasileira.

1.4 HIPÓTESE

Com a implantação de novas usinas nucleares na matriz energética brasileira, o nível de confiabilidade do sistema tende a aumentar, deixando o sistema, como um todo, mais preparado contra estiagens intensas ou eventos esporádicos adversos.

A utilização de usinas nucleares reduzirá os níveis de emissão de carbono/ quilowatt na atmosfera, sobretudo, quando comparados com as termoelétricas a derivados de petróleo e carvão.

A ampliação da utilização de usinas nucleares na matriz energética do país fomentará a pesquisa e consequentemente ensejará que o Brasil se torne autossuficiente em todas as etapas do enriquecimento, processamento e uso do urânio.

2 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO, ASPECTOS GERAIS E METODOLOGIA.

Neste capítulo é apresentado a metodologia que foi utilizada para elaboração deste trabalho, expondo o caminho meio para chegar ao objetivo desejado, afim de se obter uma conclusão sobre a hipótese levantada.

2.1 ATUALIZAÇÃO DOCUMENTAL E LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO.

As fontes de pesquisa que fundamentaram os registros, compilações e consultas se distribuíram entre relatórios técnicos oficiais, literatura técnica específica – livros, artigos especializados, sites oficiais, anais de encontros do setor, artigos de revistas e periódico sobre o tema e registros gerais (e fontes variadas, jornais, sites oficiais e similares). Esta seção baseia-se em bibliografias cujos assuntos tem ligação direta ou indiretamente com o tema deste trabalho. Proporcionarão um melhor entendimento dos conteúdos abordados. As bibliográfias utilizadas foram sites oficiais do governo, dissertações, teses, artigos, trabalhos de conclusão de curso, estudos governamentais e sites internacionais. Estes estudos possibilitaram a criação uma base consistente e sólida para abordar de forma clara o tema do trabalho.

2.2 DESENVOLVIMENTO

É no desenvolvimento do trabalho que a hipótese é verificada, levantando dados e estimativas necessárias, para chegar ao resultado final. Para se chegar no objetivo final, foi traçado um caminho a ser seguido.

Primeiramente foi desenvolvida a fundamentação teórica do trabalho. Onde foi mostrado os principais fatos históricos do desenvolvimento do setor nuclear brasileiro. A relação entre desenvolvimento humano e tecnológico com o consumo de energia elétrica foi abordada. A matriz energética foi estudada, abordando a questão da dependência hidrelétrica atual e a participação como, sobretudo, complementaridade, ainda que de forma localizada – na estabilidade do sistema energético da região sudeste do brasil - da energia nuclear no recente cenário econômico.

Para prospectar a tendência mundial de utilização dessa fonte, foi abordado o estado da arte da energia termonuclear no mundo, bem como o seu. Na parte final da fundamentação teórica, foi questionada a eficiência e os impactos ambientais da mesma.

Para se verificar a eficiência e o significado energético e econômico das termonucleares, no Brasil, fez-se necessário uma comparação com as fontes de energia concorrentes e renováveis, como as solares, pequenas centrais hidrelétricas, hidrelétricas e termoelétricas. Tais fontes são brevemente apresentadas e são feitas comparações em diversos aspectos, como o domínio das suas tecnologias, investimentos, preço do MWh nos leilões mais recentes, fator de capacidade, impactos socioambientais e balanço energético. Foram elaboradas tabelas e gráficos de comparação entre estas fontes, com base nas informações contidas no Banco de Informações de Geração (BIG), e nos resultados nos últimos leilões de energia, obtidos através do acesso ao site do CCEE.

Após análises de competitividade com outras fontes de energia, foram abordas, resumidamente, as características técnicas da energia termonuclear, especificando os tipos de turbinas e suas vantagens e desvantagens. Nesta parte são discutidas as tecnologias envolvidas neste tipo de geração e custos de uma termonuclear.

Após estudado os aspectos técnicos, são verificados os investimentos no setor, analisando a composição nacional, estrangeira, pública e particular. Tal estudo foi feito também com base nas informações contidas no site do CCEE.

Na parte final foi feito um estudo de caso, analisando o potencial termonuclear, através dos estudos geológicos e mapeamento de uranio no território brasileiro, verificou-se

em quais regiões poderiam ser construídas novas termonucleares, e o investimento necessário para construção destas.

2.3 CONSTATAÇÕES

É a parte final do trabalho, na qual foi verificado as viabilidades, importância e relevâncias referentes ao tema apresentado. Nesta parte a hipótese levantada deverá ser evocada, e serão criadas projeções nos campos socioeconômicos e tecnológicos, segundo o que foi constatado no desenvolvimento.

As consequências deste trabalho serão discutidas, assim como suas principais dificuldades de implementação

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Apresenta-se neste Capítulo os principais conceitos teóricos necessários ao desenvolvimento do trabalho, dando o suporte para os estudos, análise e reflexões. Assim, poderão ser formulados os conceitos envolvidos nos resultados.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO: MODELO DO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO

A partir da década de 90, o setor elétrico brasileiro passou por duas grandes mudanças. A primeira é caracterizada pela privatização das companhias operadoras através da lei nº 9.427. E que criou a Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) e obrigava que toda a exploração dos potenciais hídricos fossem concedidas através de concorrência ou leilão, onde o maior lance vencia a disputa.

A segunda ocorreu em 2004, com a inserção do novo modelo do setor elétrico, que teve como características principais:

- Garantir a segurança do suprimento.
- Promover a modicidade tarifária.
- Promover a inserção social.

Sua implantação evidenciou a volta do planejamento do setor de energia elétrica para as mãos do Estado.

Uma das principais características providas da alteração em 2004 foi a mudança no critério utilizado para a concessão de novos empreendimentos para geração. Passou a vencer os leilões as empresas que oferecessem a menor tarifa e não o maior valor pela concessão. O novo modelo criou dois ambientes de compre e venda de energia. O primeiro foi o Ambiente de Contratação Regular (ACR), onde apenas geradoras e distribuidoras podem participar. E o segundo foi o Ambiente de Contratação Livre (ACL), onde geradoras, comercializadoras, importadores, exportadores e consumidores livres podem participar. (ANELL, 2008)

Na década de 90, novas entidades, além da Aneel foram criadas para atuar no novo ambiente institucional com o Operador Nacional do Sistema (ONS) e o Mercado Atacadista de Energia (MAE) que foi substituído pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE). O Ministério de Minas e Energia (MME) é uma agência reguladora que tem como objetivo garantir, por meio da regulamentação e fiscalização, resultados sólidos a longo tempo para as companhias e a modicidade tarifária para os consumidores. (ANELL, 2008)

O NOS, é responsável pela administração das usinas e redes de distribuição do Sistema Interligado Nacional (SIN). Portanto realiza estudos com projeções, baseado em dados históricos, presentes e futuros da oferta de energia elétrica do mercado consumidor. (ANELL, 2008)

3.2 HISTÓRICO DA ENERGIA NUCLEAR BRASILEIRA

O desenvolvimento da tecnologia nuclear brasileira nasceu tendo como o objetivo principal o setor militar. Na década de 30, foram iniciadas as primeiras pesquisas nuclear, porem, somente após os ataques nucleares nobre Hiroshima e Nagasaki, em 1945, que o interesse sobre a tecnologia nuclear se concretizou no Brasil.

Os militares tomaram a frente das pesquisas, representados pelo almirante Álvaro Alberto da Mota e Silva. As ideias propostas pelo almirante foram aceitas pelo Concelho Nacional de Pesquisa (CNPq), fundado em 1951 e tendo o almirante como primeiro presidente.

Em 1945 o Brasil assinou o primeiro acordo nuclear com os Estados Unidos, onde previa a exportação de arei monazítica (tal areia contém Tório, elemento utilizado em processos nucleares) que se localizava na região do Espírito Santo.

O Álvaro Alberto da Mota e Silva, na presidência do CNPq, propôs uma maior fiscalização sobre a exportação de areia monazítica exigindo a chamada compensação especifica, que resultava na transferência da tecnologia nuclear para o Brasil em troca da

exportação de areia. Tal proposta não teve resultados efetivos devido a um conflito entre os grupos pró-americanos e os nacionalistas, do qual o almirante fazia parte.

Em 1953, Álvaro Alberto faz um acordo secretamente com a Alemanha que previa a construção de três ultracentrifugas utilizando tecnologias desenvolvidas pelos nazistas, que seriam instaladas no Brasil para o desenvolvimento da tecnologia de enriquecimento de urânio. Porem as ultracentrifugas foram interceptadas pelos Estados Unidos, devido ao vazamento de informações.

Com a posse de Juscelino Kubitschek, em 1956, inicia-se um movimento contra a exploração da areia de monazítica e a criação da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN). Três anos mais tarde, no governo de Jânio Quadros, surgiam planos de se intalar um reator nuclear em Mambucaba (RJ), onde a maior parcela da tecnologia utilizada seria nacional, visando o desenvolvimento da indústria nuclear brasileira. O grande impasse era qual tipo de combustível utilizar: o urânio natural ou o enriquecido.

Utilizando o urânio enriquecido o Brasil se tornava altamente dependente dos Estados Unidos, visto que o Brasil estava longe de dominar o processo de enriquecimento de urânio. Por fim, o urânio natural foi escolhido, devida grandes reservas de tório no território nacional, utilizado na produção de urânio 233.

O verdadeiro interesse na construção do reator era a obtenção do seu subproduto, o plutônio, material de forte utilização bélica. Porem com a renuncia de Jânio Quadros, o projeto não se concretizou.

Após o golpe de 1964, ocorreu uma militarização de todos os setores da politica e da economia do país. Com isso, as atividades do setor nuclear foram completamente dominadas pelos militares.

Por volta de 1968 a CNEN assina um convênio com a Eletrobrás, onde delega a Furnas (subsidiaria da Eletrobrás) a responsabilidade da construção de uma usina nuclear em Angra dos Reis. Indicava-se a aquisição de um reator norte-americano de urânio enriquecido, que se opunham as antigas ideias de desenvolvimento da tecnologia nuclear nacional. Três anos mais tarde, a compra de um reator de água pressurizada (PWR) fabricado pela Westinghouse, foi concretizada. O contrato de compra representava uma simples aquisição de equipamento, sem nenhuma transferência de tecnologia.

Em 1975, sob o mandato de Ernesto Geisel e muito sigilo, foi constituído um acordo nuclear entre o Brasil e a Alemanha. Na execução das atividades de acordo, foi criada a empresa estatal Nucleobrás que negociava com a Kraftwerk Unio, empresa privada controlada pela Siemens, Alemã.

Para a legalização do acordo, o Brasil deveria assinar um termo de compromisso com a Agencia Internacional de Energia Atômica (AIEA), onde seria proibida a utilização da energia nuclear par afins bélicos. Esse acordo foi concluído em 1976.

Essa nova relação com a Alemanha fez com que o acordo nuclear com os Estados Unidos, através da Westinghouse, fosse quebrado.

No começo da década de 70, o país vivia o chamado milagre brasileiro, onde se esperava transformar o Brasil em uma potência industrial militar. Temia-se que as hidrelétricas não suprissem a demanda de energia esperada, e como o carvão e o petróleo tornavam o Brasil dependente das importações, a melhor saída era a energia nuclear.

Os reatores que utilizavam urânio enriquecido eram os mais vantajosos, pois, detinham um maior rendimento do que os que utilizavam urânio natural. Porem a tecnologia de enriquecimento de urânio era desconhecida pelo Brasil.

A Alemanha aceitou em transferir a tecnologia de enriquecimento pelo método de Jato-Centrifugação ainda precária se comparado à Ultracentrifugação.

As vantagens para os alemães eram maiores do que para os brasileiros. Através desse acordo, as empresas alemãs buscavam prospectar novos mercados para o setor nuclear pois, internamente, o programa nuclear alemão enfrentava uma grande oposição de grupos ecologistas. Além disso, havia grande interesse alemão nas reservas de urânio no Brasil. (KURAMOTO, et al., 2000)

3.3 CENÁRIO ATUAL: CRISE ENERGÉTICA BRASILEIRA - ANOS 2001 E 2015 - ATUALIDADE E PERSPECTIVAS.

3.3.1 CRISE DE 2001

Em fins dos anos 1990, mais exatamente no último ano do governo do presidente Fernando Henrique Cardoso, FHC, o que viria a se verificar nos anos seguintes. A crise energética, de fato, foi tecnicamente assumida em 2001, através de medidas de compatibilização entre a produção e o consumo de energia. Descompassos no planejamento do setor, bem como a ausência de investimentos suficientes em geração e distribuição de energia, foram, conforme se constatou, (Pinto, 2007), as principais causas ligadas a essa crise. Decorreu em meio a um conjunto de medidas tomadas durante os dois mandatos sucessivos em que FHC buscou realizar uma série de medidas na intenção reduzir o déficit público – o que incluía a privatização de várias empresas estatais. Como parte destas medidas a empresas de distribuição de energia encontravam-se nessa lista - estratégicas para a economia nacional -

já que eram essenciais para a economia, e se supunha, com a entrega destas para o setor privado, a estabilização do balanço energético brasileiro, com a entrada de capital. Somou-se a isso o contínuo aumento do consumo de energia graças ao crescimento populacional e ao aumento de produção pelas indústrias. (Pinto)

Outro fator que agravou a situação foi o fato de que mais de 90% da energia elétrica do Brasil era proveniente de usinas hidrelétricas, que necessitam de um volume mínimo de água em seus reservatórios para a geração de energia. Porem, naquele ano houve uma forte escassez de chuva e o nível dos reservatórios das hidrelétricas estava baixo. Ara agravar mais, a ausência de linhas de transmissão impediu que o governo de manejasse a geração de energia de onde havia sobra para as regiões onde havia falta de eletricidade. (Pinto)

Na época o governo preparou um plano de contingência – acionando termelétricas – para a reestruturação do planejamento (com a instituição de leilões de energia futura no Mercado Atacadista de Energia, MAE) e para a realização de um rápido investimento em linhas de transmissão. (Pinto)

Porem, vale ressaltar como impacto, entre os que ocorreram em diversas esferas e em diferentes níveis na sociedade brasileira – e que deve ou passou a servir como referência para os procedimentos de planejamento a serem realizados no futura na busca de melhor eficácia - o que mais marcou a população foram as medidas do governo federal para obrigar os brasileiros a reduzir o consumo de energia. A partir de 1º de julho de 2001, os consumidores tiveram que diminuir voluntariamente 20% do consumo de eletricidade, com o risco de terem um aumento no valor da energia caso esse valor não fosse atingido. Segundo o plano, as residências que consumissem até 100 quilowatts/hora por mês (30% dos lares brasileiros) não necessitaria economizar nada. Acima dessa faixa, a redução era obrigatória e os que não aderissem ao pacote poderiam ter a luz cortada - por três dias na primeira infração e seis dias em caso de reincidência. Havia ainda uma sobretaxa às contas de energia que fossem superiores a 200 quilowatts/hora por mês, pagando 50% de acréscimo sobre o que excedesse a esse patamar. Haveria uma segunda sobretaxa, de 200%, para as contas acima de 500 quilowatts (Pinto).

3.3.2 CRISE 2015

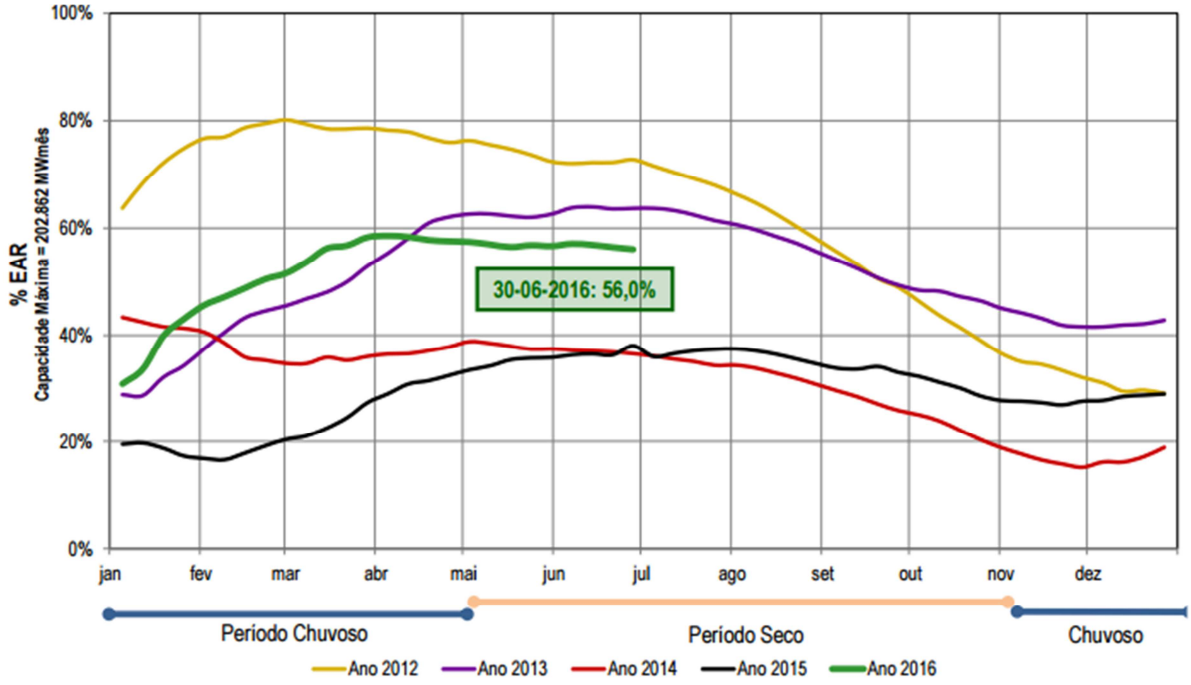
Segundo o professor da Universidade Federal do Rio de Janeiro e diretor do Centro Brasileiro de Infra Estrutura, Adriano Pires, afirma: “O Brasil passa pela pior crise energética da história” (O globo, 2015). Essa afirmação foi feita em janeiro de 2015, ano em que o Brasil

passava por uma grande crise energética devida a má gestão e a falta de chuvas nos principais reservatórios brasileiros.

Em janeiro de 2015 observou-se uma diminuição drástica no volume de chuva sobre a maior parte do território nacional. O volume de precipitação bruta para todos os subsistemas foram inferiores à média de longo termo - MLT, com exceção do Sul. Nos subsistemas Sudeste/Centro-Oeste e Nordeste, as precipitações foram as piores para janeiro do histórico de 83 anos e o subsistema Norte registrou o oitavo pior valor. No mês, foram verificados 16.282 MW médios de geração térmica programada pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS considerando todas as razões de despacho, contribuindo para minimizar a redução dos estoques dos reservatórios. (Ministério de Minas e Energia, 2015)

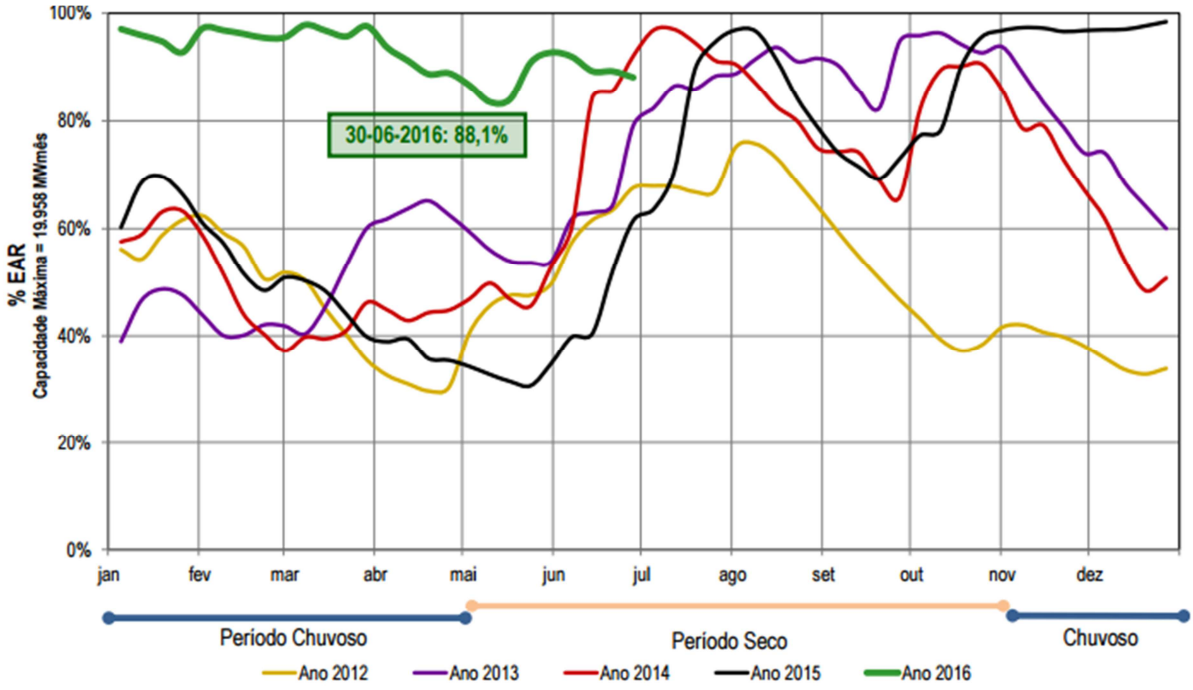
Pode-se notar que no mês de janeiro choveu apenas 25% do esperado para o mês na bacia do rio São Francisco, 30% na bacia do rio Paranaíba, 35% na bacia do rio Grande e 45% na bacia do rio Tocantins, aproximadamente (Ministério de Minas e Energia, 2015). A partir dos gráficos1, 2, 3 e 4 é evidente que durante o primeiro semestre de 2015 a energia armazenada dos subsistemas foi inferior a dos anos anteriores. A partir do segundo semestre, apenas o subsistema Sudeste/Centro – Oeste teve uma ligeira melhora significativa. Apenas o subsistema Sul não segue esse padrão, com variações bruscas ao longo do ano. (Ministério de Minas e Energia, 2016)

Gráfico 1 - Subsistema Sudeste/Centro-Oeste



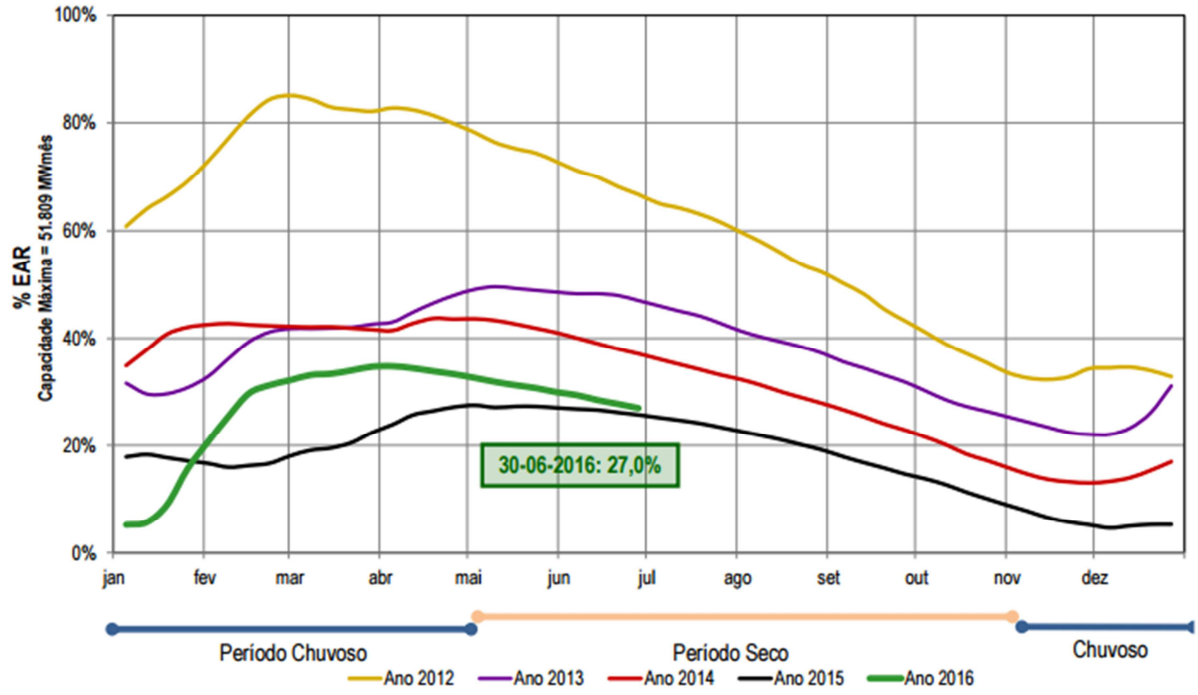
Fonte: **(Ministério de Minas e Energia, 2016)**

Gráfico 2 - Subsistema Sul



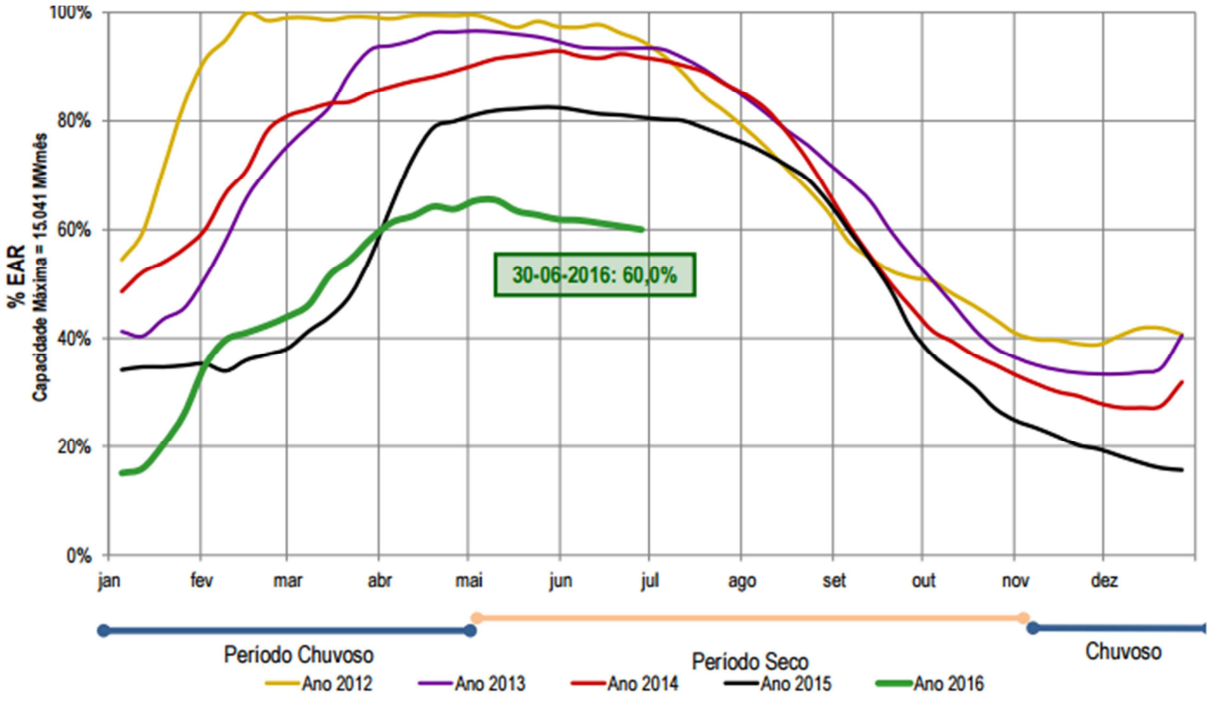
Fonte: (Ministério de Minas e Energia, 2016)

Gráfico 3 - Subsistema Nordeste



Fonte: (Ministério de Minas e Energia, 2016)

Gráfico 4 - Subsistema Norte Interligado



Fonte: (Ministério de Minas e Energia, 2016)

3.3.3 PERSPECTIVAS

Como o setor elétrico brasileiro se alicerça em intricada configuração institucional, marcada por disputas políticas, torna-se necessário uma reestruturação de grandes proporções. E conforme se nota, através das alterações ocasionadas por medidas impostas pelo governo federal, ao longo dos anos. (Feitosa, 2015)

O setor elétrico brasileiro possui características bem distintas dos demais setores econômicos, uma delas é o investimento intensivo de capital, isso se deve ao fato de que as usinas hidroelétricas representam uma grande parte do sistema elétrico. O setor apresenta uma estrutura oligopolizada com predominância estatal, além de um longo prazo de consolidação dos investimentos realizados, cuja validade do contrato de concessão para geração de energia hidráulica é de aproximadamente de 30 anos.

Existe a necessidade de mudanças na forma de planejamento estratégico de longo prazo, visto que os estudos para a viabilidade dos empreendimentos, inicia-se por volta de duas décadas antes do leilão de energia nova. Com isso os comercializadores deveriam fazer parte do planejamento estratégico setorial, em função da sua participação neste mercado.

Para a elaboração de um plano de retomada de crescimento e ajuste do setor elétrico brasileiro, destacam-se o implemento de política energética de longo prazo para o Brasil e a reestruturação da matriz energética do setor elétrico brasileiro (existem poucas usinas térmicas baratas, ocasionando uma alta instabilidade e/ou volatilidade de preço, além das renováveis não colaborarem para a diminuição dos preços). (Feitosa, 2015)

A ANEEL como indutora da produtividade brasileira, deveria priorizar a regulação do setor elétrico. É de responsabilidade do Estado, o papel de regulador, promotor e fiscalizador do setor elétrico. O preço da energia deveria ser definido pelas forças do mercado, visto que a construção do mesmo, através de softwares matemáticos, não reproduz a necessidade do setor elétrico. (Feitosa, 2015)

Os preços precisam transmitir credibilidade setorial, o que, atualmente, não se verifica, em função dos leilões com preços de baixos, o que não se traduz na atração de relevantes investimentos para o setor. (Feitosa, 2015)

Deve – se equacionar o problema gerado pela "garantia física", pois, o não equacionamento, gera incompatibilidade entre o planejamento e a operação. O sistema atual não contempla a "garantia física" de ponta. Outro detalhe é que o termo "garantia física" não tem significância estatística, ou melhor, não garante absolutamente nada. (Feitosa, 2015)

O setor elétrico precisa de urgente reestruturação como objetivo de impedir a saída de investidores deste mercado e/ou diminuir o processo de desindustrialização do país. Ampliar o grau de privatização do setor elétrico brasileiro ainda altamente estatizado ou garantir uma relevante injeção de capital privado, seria essencial, para uma completa reestruturação setorial, porém atualmente, cabe lembrar que, este importante segmento é refém de uma agenda de curto prazo, por parte do governo federal e seus principais atores. (Feitosa, 2015)

3.4 ASPECTOS TECNOLÓGICOS – TIPOS DE REATORES

3.4.1 REATOR A ÁGUA PRESSURIZADA (PWR)

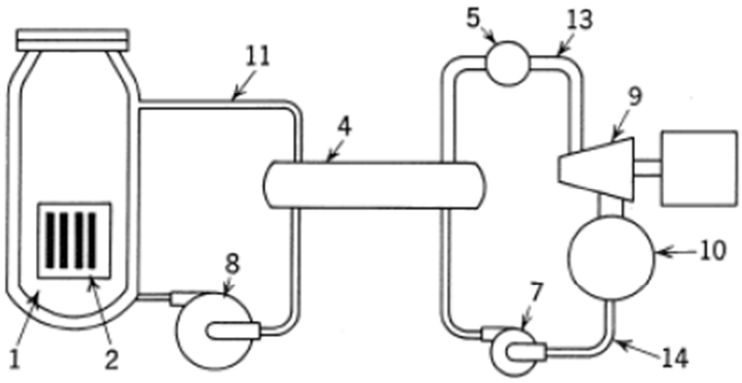
Os reatores de água pressurizada (*Pressurized Water Reactor*-PWR) são os mais utilizados nas usinas nucleares de geração de energia elétrica em operação no mundo, são também os reatores utilizados nas usinas de Angra 1 e Angra 2 e, futuramente na usina de Angra 3, ora em construção. Foi também o tipo de reator acidentado na Usina de *Three Mile Island*, nos Estados Unidos, em 1979. De todas as 434 usinas nucleares em operação no

mundo 270 utilizam esta rota tecnológica, ou seja, um pouco mais de 60% do total. (Santos, 2015)

Devido ao baixo ponto de ebulição da água, ela deve ser pressurizada dentro dos reatores á uma pressão aproximada de 150 atmosferas. O que proporciona uma desvantagem significativa se compararmos com os reatores refrigerados e moderados a água leve fervente (*Boiling Water Reactor*-BWR). Ao contrário dos reatores tipo BWR, nos reatores do tipo PWR a água não evapora no núcleo do reator, permanecendo a mesma em estado subresfriado com grau de subresfriamento na ordem de 20°C. (Santos, 2015)

A criação de vapor ocorre no lado secundário do gerador através de trocadores de calor em forma de U. Dependendo da potência da usina, pode haver de dois a quatro geradores de vapor. O ciclo de troca de calor indireto devido à introdução de geradores de vapor é uma desvantagem dos reatores PWR em relação aos reatores BWR de ciclo direto quando falamos em transferência de calor. Porem, como o circuito secundário é independente do primário, isso oferece uma grande vantagem para os reatores de PWR pois, oferecem uma excelente barreira entre o material radioativo e o meio ambiente. O diagrama esquemático pode ser observado na figura 5. (Santos, 2015)

Figura 1 - Reator a Água Pressurizada (PWR)



1. Reator
2. Núcleo
3. Camada Envoltória
4. Gerador de Vapor
5. Secador de Vapor
6. Trocador de Calor Intermediário
7. Bomba de Água de Alimentação
8. Bomba de Circulação
9. Turbo Gerador
10. Condensador
11. Refrigerante do Primário
12. Refrigerante do Intermediário
13. Vapor
14. Condensado

Fonte: **(Santos, 2015)**

Por necessitar de uma alta pressão no sistema primário para evitar a vaporização da água, o reator PWR possui um alto custo causado por suas características estruturais do seu sistema primário, do vaso do reator, componentes específicos com o pressurizador e os geradores de vapor e do vaso do reator. Isso aumenta significativamente o custo da usinas nucleares que utilizam esse reator quando comparado com reatores do tipo BWR de ciclo direto. (Santos, 2015)

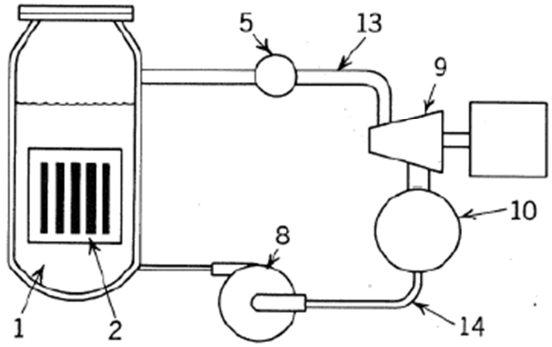
Para este tipo de reator é utilizado o urânio enriquecido (em torno de 4% de U-235) devido a alta absorção de nêutrons pela água leve. Devido a este fato, apena países que possuem a tecnologia de enriquecer o urânio podem desfrutar destes reatores sem a necessidade de importar urânio enriquecido. Se for considerado o enriquecimento do urânio e a alta densidade de potencia existente, o reator é considerado compacto. (Santos, 2015)

3.4.2 Reator a Água Fervente (BWR)

Este foi o tipo de reator afetado pelo acidente de Fukushima no Japão em 2011, havendo dentre os 434 reatores em operação no mundo um total de 84 reatores do tipo BWR, ou seja, algo em torno de 20% do total. (Santos, 2015)

Ao contrário dos reatores do tipo PWR onde a água não entra em estado de ebulição devida a alta pressão em que ela se encontra, os reatores do tipo BWR trabalham com uma pressão menor pois, a retirada de calor ocorre através da vaporização da água ao entrar em contato com o núcleo do reator, conforme apresentado no diagrama esquemático da figura 6. Como é esse mesmo vapor que gira turbinas, isso se resuma a um custo mais baixo em relação aos reatores tipo PWR pois, diversos equipamentos utilizados nos reatores de PWR são eliminadas ou tem suas especificações minimizadas. (Santos, 2015)

Figura 2 - Reator a Água Fervente (BWR)



1. Reator
2. Núcleo
3. Camada Envoltória
4. Gerador de Vapor
5. Secador de Vapor
6. Trocador de Calor Intermediário
7. Bomba de Água de Alimentação
8. Bomba de Circulação
9. Turbo Gerador
10. Condensador
11. Refrigerante do Primário
12. Refrigerante do Intermediário
13. Vapor
14. Condensado

Fonte: **(Santos, 2015)**

Uma característica importante dos reatores tipo BWR é a necessidade de se manter o percentual de vapor presente no núcleo do reator menor que 14% em peso visando assegurar a estabilidade do núcleo, o que significa que a maior parte do refrigerante não vaporiza e precisa ser recirculado de volta para o vaso do reator. (Santos, 2015)

Os reatores do tipo BWR podem ser classificados entre ciclo direto e ciclo indireto. Os reatores de ciclo diretos são aqueles em que o vapor flui direto do reator para as turbinas. Os reatores de ciclo indiretos são aqueles em que há um gerador onde é realizada a transferência de calor do estágio primário para o estágio secundário. Reatores de ciclo direto apresentam a vantagem de terem uma maior eficiência na transferência de calor, trabalhando com uma menor temperatura no núcleo. Porem, no ciclo direto, há uma grande probabilidade de que material as turbinas e o meio ambiente quando comparado com reatores PWR. Este foi o tipo de reator afetado pelo acidente de Fukushima no Japão em 2011, havendo dentre os 434 reatores em operação no mundo um total de 84 reatores do tipo BWR, ou seja, algo em torno de 20% do total. (Santos, 2015)

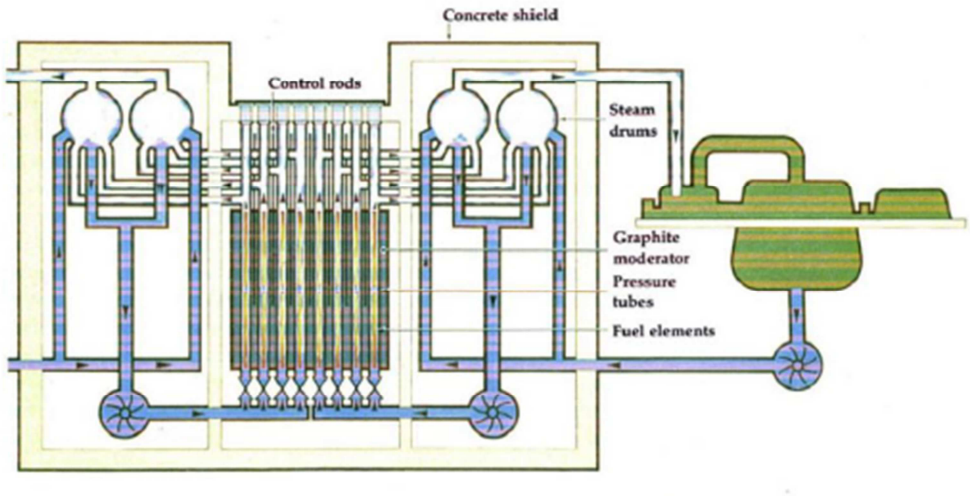
3.4.3 Reator Refrigerado a Água Leve e Moderado a Grafite (LWGR)

Os reatores refrigerados a água leve e moderados a grafite e os reatores a grafite com tubo de pressão foram um dos primeiros tipos de reatores a serem utilizados para pesquisa, produção de plutônio e geração de energia elétrica. (Santos, 2015)

Nos dias atuais este tipo de reator não tem tanta relevância no mercado internacional, sendo limitado aos reatores RBMK a grafite com tubo de pressão (*Pressure Tube Graphite Reactor*-PTGR) referente a era soviética. Foi um reator deste modelo que foi afetado pelo acidente de Chernobyl em 1986. Atualmente existem em operação 15 reatores (LWGR). (Santos, 2015)

Os reatores do tipo RBMK possuem uma média de 1900 tubos de pressão verticais, cada um contendo um par de elementos combustíveis ou de barra de controle. Os tubos de pressão são revestidos por uma camada de grafite que serve como moderador (moderador tem a função de moderar a energia dos nêutrons produzidos na fissão e também servem como refletores na periferia do núcleo do reator de forma a minimizar a fuga de nêutrons do núcleo) (Perrotta, 1999). A água que entra pelo fundo do vaso do reator passa através do interior dos tubos de pressão e vaporizam durante o processo de remoção de calor do combustível. O vapor gerado é utilizado em uma das duas turbinas. (Santos, 2015)

Figura 3 - Reator Refrigerado á Água Leve e Moderado a Grafite



Fonte: **(Santos, 2015)**

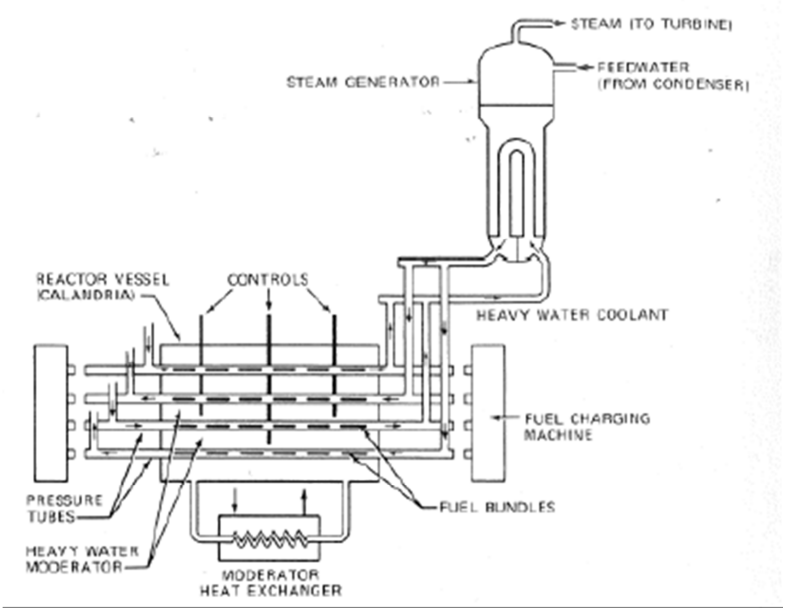
3.4.4 Reator a Água Pesada (HWR ou PHWR)

Este reator utiliza os mesmos princípios estruturais dos reatores PWR. O principal diferencial deste reator é a utilização de deutério como moderador ao invés de água leve como é utilizada nos reatores tipo PWR e BWR. Isso faz com que seja possível a utilização de urânio natural como combustível ao invés do enriquecido, tornando-o a principal tecnologia

nuclear para geração de eletricidade dos países que não dominam a tecnologia de enriquecimento de urânio. (Santos, 2015)

Este tipo de reator permite o reabastecimento de combustível com a usina em operação. Este procedimento é feito através de dois equipamentos localizados um em cada lado da calandria. Enquanto um é reabastecido de combustível novo no tubo de pressão, o outro equipamento do outro lado remove o combustível velho, como mostra a figura 8. (Santos, 2015)

Figura 4 - Reator a Água Pesada



Fonte: **(Santos, 2015)**

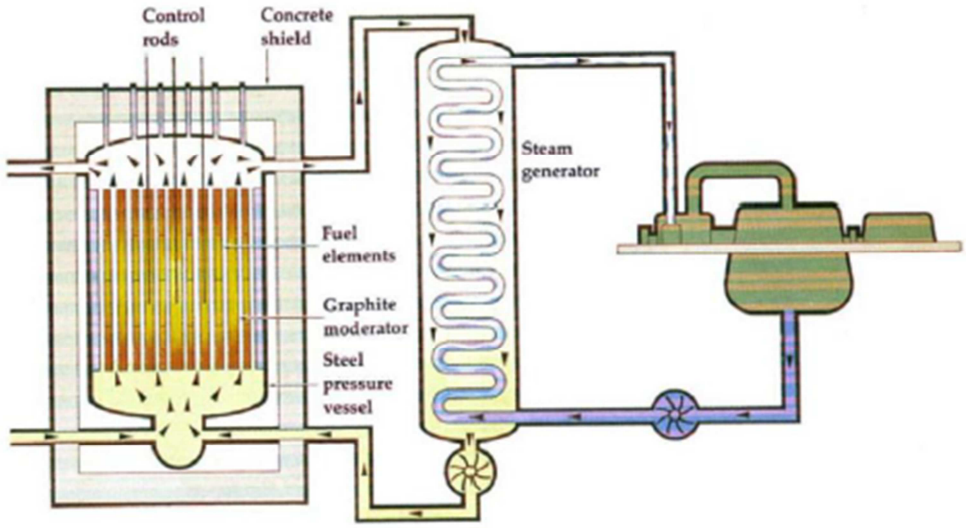
3.4.5 Reatores Refrigerados a Gás (GCR)

Os reatores a GCR tem com suas principais vantagens a utilização de urânio natural, reduzindo os custos com enriquecimento do mesmo, baixo custo devido a utilização de CO2 com gás refrigerante, maior facilidade e segurança no nauseio do gás refrigerante (CO2) e reator pode ser reabastecido com a usina em funcionamento. (Santos, 2015)

Porem, como o gás CO2 possui uma baixa eficiência na transferência de calor, é de extrema importância que o CO2 seja bombeado com altíssima pressão, necessitando de grandes compressores que consomem uma parte considerável da energia produzida. Outra característica relevante é o tamanho do reator que em função da utilização de urânio natural e grafite (Moderador) é relativamente grande.

Países como Reino Unido, na França, nos Estados Unidos e na Alemanha foram atraídos, pela ausência da necessidade do enriquecimento do urânio, á desenvolver esta tecnologia. Porem de um total de 26 reatores magnox que tiveram sua operação comercial no período de 1956 e 1971 apenas três permanecem em operação. A figura 9 apresenta o esquemático destes reatores. (Santos, 2015)

Figura 5 - Esquemático de um Reator Refrigerado a Gás.



Fonte: (Santos, 2015)

3.4.6 Reatores Hibridos.

Os reatores híbridos são reatores que permitem encurtar consideravelmente a meia-vida dos rejeitos de alta atividade. Esses reatores tem a capacidade de, gerar energia e "incinerar" os resíduos, transmutando o lixo radioativos para reduzir drasticamente o seu ciclo de vida.

Utilizando o conceito de um reator rápido acoplado a um acelerador de partículas, o sistema utiliza a tecnologia de transmutação, possibilitando reduzir de milhares para cerca de 250 anos o tempo de vida do lixo de alta atividade. "Com o aumento da idade média do ser humano, daqui a pouco esse tempo corresponderá a apenas três gerações, um prazo totalmente aceitável sob o ponto de vista do controle", afirma o presidente do INB, Aquilino Senra Martinez. (ABIDES, 2010)

3.5 VANTAGENS AMBIENTAIS

A falta de informação e conhecimento da energia nuclear gera grande preconceito do ponto de vista ambiental. Gerenciada adequadamente, a energia nuclear é uma energia limpa,

pois, não emite gás poluente para a atmosfera durante o processo de geração de energia. Utiliza um número reduzido de matérias primas em sua construção se comparada com a eólica e solar. Não contribui para o efeito estufa, pois não emite dióxido de carbono (CO2), ao contrário de outras fontes com carvão, petróleo e gás.

O rendimento de usina nuclear é muito superior se comparado com fontes que utilizam petróleo ou carvão como matéria prima. Segundo Dr James Lovelock "Um quilo de urânio produz aproximadamente 10 milhões de vezes mais energia que a mesma quantidade de carvão ou petróleo". Isso quantifica os verdadeiros benefícios ambientais dessa matriz energética. (MONTALVÃO, 2012)

Um outro argumento do cientista Dr James Lovelock ilustra bem quão pequena é a quantidade de rejeitos radioativos que uma usina produz: "O volume de lixo atômico de alto nível produzido pelas usinas nucleares do Reino Unido, em seus 50 anos de atividade, equivale a 10 metros cúbicos. É do tamanho de uma casa pequena. Se colocado numa caixa de concreto, esse lixo seria totalmente seguro e a perda de calor (do resíduo) ainda poderia ser aproveitada para aquecer minha casa". (MONTALVÃO, 2012)

Ente as fontes térmicas disponíveis para a geração de energia elétrica em grande escala, o urânio aparece como sendo a fonte que obtém o maior conteúdo energético por quilograma de material. Isso se resume a um menor custo de produção quando comparada aos custos de todas as outras fontes térmicas. Apenas as fontes que utilizam gás natural não seguem essa regra pois, os custos de produção se equivalem. A tabela1 relaciona o tipo de fonte térmica com o potencial calorifico que ela pode gerar. (MRS Estudos Ambientais Ltda, 2004)

Tabela 1 - Fonte térmica X Potencial calorifico

Combustível		Pode Produzir Cerca de
1Kg de madeira		2k Wh
1Kg de carvão		3 kWh
1Kg de óleo		4 kWh
1m³ de gás naural		6 kWh
1Kg de urânio natural	Usina nuclear com reator tipo PWR	60.000 kWh
	Usina nuclear com reator tipo FBR(*)	3.000.000 kWh

(*) Valores indicativos, visto que a área depende da topografia do local de implantação.
Fonte: (MRS Estudos Ambientais Ltda, 2004)

A Amazõnia é o local onde se encontra o maior potencial hídrico do país, com cerca de 43% do potencial hidrelétrico nacional. A grande desvantagem é que nesta região que abrange o norte e o Centro-Oeste do país, os rios são caudalosos e o terreno é bastante plano com pouca presença de deltas. O que significa que uma imensa área será inundada caso se contrua uma usina hidrelétrica nessas regiões. Com consequências inevitáveis como a desapropriação de grandes extensões de terras, o remanejamento dos nativos da região afetada e a perda ou até mesmo a extinção de riquezas biológicas que só existem na Amazônia. Assim, a formação de grandes reservatórios certamente traria fortes conseqüências negativas para o meio ambiente. (MRS Estudos Ambientais Ltda, 2004)

Quanto a esses aspectos, as usinas que utilizam fontes não renováveis são mais favoráveis, pois ocupam áreas muito menores, e podem ser implantadas em locais onde esses impactos sejam menores ou não ocorram, além da proximidade aos centros de consumo, com economia em termos de linhas de transmissão. A tabela2 mostra a relação entre os tipos de fonte de energia e a área física que cada uma ocupa em alqueire. (MRS Estudos Ambientais Ltda, 2004)

Tabela 2 - Fonte de energia X Área física ocupada por alqueire.

Fonte de energia	Tipo de usina	Área necessária(ha)
Renovável (*)	Hidrelétrica.	25.000
	Solar foto-voltaica, em local muito ensolarado.	5.000
	Eólica em local com muito vento.	10.000
	Biomassa plantada.	400.000
Não renovável	Óleo e carvão, indo estocagem de combustível.	100
	Nuclear e gás natural	50

(*)FBR – Fast Breeder Reactor.
Fonte: (MRS Estudos Ambientais Ltda, 2004)

Em comparação com uma usina termelétrica moderna a carvão e que utiliza técnicas avançadas de redução de emissão de poluentes. Uma usina nuclear como Angra 3 evitaria a emissão anual para a atmosfera de cerca de 2,3 mil toneladas de material particulado, 14 mil toneladas de dióxido de enxofre, 7 mil toneladas de óxidos de nitrogênio e 10 milhões de toneladas de dióxido de carbono. Em comparação com uma usina termelétrica a gás, as emissões anuais evitadas por uma usina nuclear do porte de Angra 3 seriam de cerca de 30

toneladas de dióxido de enxofre, 12,7 mil toneladas de óxidos de nitrogênio e 5 milhões de toneladas de dióxido de carbono. (MRS Estudos Ambientais Ltda, 2004)

4 CARACTERÍSTICAS ESTRATÉGICAS, RISCOS E PROBLEMAS DO PROCESSO DE EXPLORAÇÃO NÚCLEO-ENERGÉTICA.

Nos últimos 60 anos o Brasil investiu fortemente em hidroelétricas, elevando sua capacidade instalada de cerca de dois mil para noventa mil megawatts. Grande parte dessas construções foram construídas em locais onde a topografia era favorável pois se emcontravam em grandes vales e a maior parte do território que seria submerso já se encontrava desmatada em virtude da agropecuária. O que minimizou os impactos ambientais causados pela implantação dessa hidrelétricas.

O levantamento do potencial remanescente aponta que será possível dobrar a capacidade hidroelétrica, tratando com seriedade a questão do meio ambiente e preservando os recursos. Porem, isso significa , em termos de planejamento, seu provável esgotamento na segunda metade da década de 2020. (Pires, 2013)

Por decorrência das fortes restrições ambientais, o volume dos reservatórios das hidroelétricas tem se mantido constante desde a década de 1990, o que obrigou o Brasil a investir em bases térmicas para complementar a geração de base do país, de forma a garantir segurança na oferta de eletricidade. Nos últimos anos, essa contribuição tem oscilado entre 6% e 16%. Para garantir a segurança energética do país, ou seja, gerar energia firme na base do sistema, as termoelétricas que produzem eletricidade a menor preço são as nucleares e as que queimam carvão mineral. Gás natural e derivados de petróleo atendem à complementação. (Pires, 2013)

O consumo per capita de eletricidade no Brasil é de cerca de 2.000 kWh/ano, muito aquém do patamar que caracteriza os países desenvolvidos, que é de 4.000 kWh/ano, com Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) igual ou superior a 0,9. Note-se que o IDH brasileiro é inferior a 0,8. (Pires, 2013)

Esse indicador nacional de 2.000 kWh/ano se encontra abaixo da média mundial, e é inferior a menos da metade dos valores dos países que recentemente ascenderam ao desenvolvimento, como Portugal (4.500) e Espanha (5.600). Isso sem fazer comparações mais desfavoráveis, como Rússia (5.700), Coreia do Sul (6.400), França (7.200) e Japão (7.400).

Aproveitando todo o potencial hidroelétrico brasileiro, para atingir o patamar de 4.000 kWh/ano, e o correspondente IDH 0,9, seria necessário adicionar ao sistema elétrico nacional 15 usinas térmicas de 1.000 MW (Potencia elétrica bruta de Angra 1 é de 650MW, Angra 2 é de 1350MW e Angra 3 é de 1405MW). Se o Brasil almejar níveis comparáveis aos da Espanha, seriam necessárias cerca de 60 usinas do mesmo porte, e se o nível da França for a meta, cerca de 101.

4.1 CARACTERÍSTICAS DA EXPLORAÇÃO DO MINÉRIO.

Através das características geológicas do solo brasileiro (que teve apenas um terço do seu território prospectado em uma camada de 100 metros de profundidade) somente a Austrália poderia superar o Brasil em termos de reservas minerais de urânio. A Austrália detém cerca de um milhão de toneladas conhecidas de urânio, seu solo é semelhante ao do Brasil que detém cerca de 310 mil toneladas comprovadas, porem, que podem ser adicionadas pelo menos 800 mil toneladas, hoje ainda especulativas, mas com grande possibilidade de serem confirmadas. (Pires, 2013)

As reservas brasileiras comprovadas equivalem a 238 anos de abastecimento de gás Bolívia - Brasil (25 milhões de metros cúbicos por dia) ou a 46 anos de abastecimento de gás Rússia – Europa (130 milhões de metros cúbicos por dia), caso ele fosse completamente usado para geração de energia elétrica. Se adicionarmos as reservas brasileiras especuladas, os anos de abastecimento saltariam para 850 anos para o abastecimento Bolívia – Brasil e 164 anos para o abastecimento Rússia – Brasil. (Pires, 2013)

4.2 JAZIDAS DE URÂNIO.

No Brasil, as reservas de urânio são de 309.000 toneladas de urânio e compreendem as jazidas de Itataia, no Ceará, com 142.000 toneladas (onde o urânio está associado ao nfosfato), Lagoa Real, na Bahia, com 93.200 toneladas, e outras jazidas menores, como Gandarela, em Minas Gerais (onde há ouro associado ao urânio), Rio Cristalino, no Pará, e Figueira, no Paraná. A Jazida de Lagoa Real-Mina de Caetité tem reservas totais de 100.770 toneladas de urânio, quantidade suficiente para o suprimento das usinas de Angra 1, Angra 2,Angra 3 e mais quatro usinas (4.000 MW) durante toda a vida útil dessas usinas (Aproximadamente 40 anos).

Em Santa Quitéria (Ceará), com reservas totais de 142.500 toneladas de urânio associado ao fosfato, será implantado um complexo industrial para a exploração de fosfato uranífero. A jazida de Caldas, em Minas Gerais, tem reservas totais de 4.500 toneladas, enquanto a jazida da Cachoeira vai render, durante 15 anos, 300 toneladas anuais de urânio concentrado. A Tabela 3 ilustra as principais jazidas de urânio no território nacional.

Tabela 3 – Principais jazidas nacionais.

Depósito - jazida	Medidas e Indicadas			Inferidas	Total
	<US$ 40/kgU*	<US$ 80/kgU*	Subtotal	<US$ 80/kgU*	
	(Toneladas de Urânio)				
Caldas (MG)		500	500	4.000	4.500
Lagoa Real/Catité (BA)	24.200	69.800	94.000	6.770	100.770
Itataia/Santana Quitéria (CE)	42.000	41.000	83.000	59.500	142.500
Outras				61.600	61.600
Total	66.200	111.300	177.500	131.870	309.370

Fonte: (*) Valores referentes ao custo de produção do urânio.
Fonte: (Pires, 2013)

4.3 PROCESSAMENTO

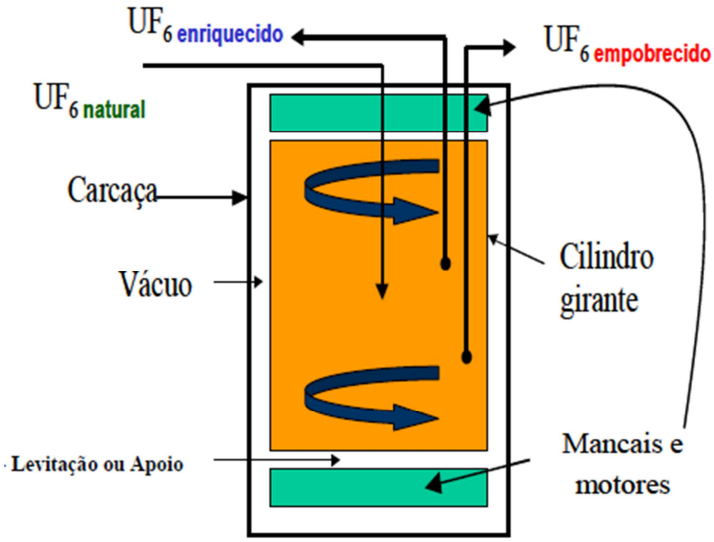
O minério de urânio é retirado da terra e triturado formando pilhas de roxas moídas. Sobre essas rochas é despejada uma solução acida para que o urânio se depare do minério, esse processo se chama lixiviação, que resulta em um liquido amarelo chamado cor de uranio. Depois de filtrado e decantado, esse liquido se transforma em um concentrado amarelo “yellocake”. Esse concentrado é embalado e transportado para o Canadá, iniciando a próxima etapa chamada de conversão, que é transformação do “yellocake” em gás hexa fluoreto de uranio (UF6).

4.3.1 ENRIQUECIMENTO DO URÂNIO.

Para que possa produzir energia, urânio 235 deve ser enriquecido, deve ter aumentada a quantidade de isótopos com teor mais elevado do que o nível encontrado na natureza, os quais devem ser separados dos demais para aumentar sua concentração e utilizá-lo como combustível. Isso ocorre através de ultra centrífugas instaladas em cascata. Dentro destes equipamentos o gás hexafluoreto de uranio gira em uma velocidade extremamente alta, separando os átomos mais leves (U235) dos mais pesados (U238), aumentando a concentração de urânio de 0,7% para 3,75%. É esse enriquecimento que permite o átomo de

urânio gerar calor e produzir energia. Todo processo de enriquecimento do Urânio ocorre na Europa, mais especificamente na Holanda. (Pires, 2013) A figura6 mostra o esquema de uma ultra centrifuga e a Tabela4 foi criado para comparar os níveis de enriquecimento de urânio que são utilizados para cada aplicação como na medicina e em armamentos bélicos.

Figura 6 – Esquema de uma Ultra Centrifuga



Fonte: (Othon Luiz Pinheiro da Silva, 2006)

Tabela 4 – Porcentagem de Urânio 235 para cara fim.

Fins	Porcentagem de Urânio 235
Geração de Energia	3% a 4%
Uso na medicina	20%
Bomba Nuclear	95%

Fonte: Próprio Autor

O urânio enriquecido ainda em forma de gás, recebe uma substancia para que possa voltar ao estado de pasta, que é filtrada e levada ao forno, transformando –se em pó. Este pó é prensado transforma-se em pastilhas no formato de cilindros com 1cm de altura e de diâmetro. Essas pastilhas são levadas ao forno de sinterização para tornarem-se mais resistentes e poderem ser testadas e retificadas, finalizando o processo de enriquecimento. (INB, 2014)

4.3.2 MONTAGEM DO ELEMENTO COMBUSTIVEL.

Para que as pastilhas de urânio produza energia, elas devem ser empilhadas dentro de cilindros feitos de uma liga de aço super-resistente chamada de zircaloy. Em cada um desses

cilindros são colocadas 335 pastilhas de urânio, um conjunto de 236 cilindros constituem um elemento combustível que pode chegar a 5m de altura. É esse elemento combustível que vai alimentar os reatores das usinas nucleares. (INB, 2014)

O elemento combustível é introduzido no reator dando inicio ao processo de fissão nuclear dentro das pastilhas. A fissão nuclear é a reação em cadeia que ocorre quando um nêutron atinge um átomo, dividindo-o em dois e liberando uma grande quantidade de energia. Cada átomo libera dois ou três nêutrons, que vão atingir e dividir outros átomos, criando uma reação em cadeia. Uma corrente de agua que passa pelo reator, capta o calor liberado durante a fissão nuclear, gerando vapor que gira as turbinas da usina nuclear. (INB, 2014)

4.3.3 TECNOLOGIA BRASILEIRA

Com as iniciativas do Almirante Álvaro Alberto de realizar pesquisas cientificas nucleares, durante os anos 50, o governo brasileiro decidiu investir recursos para que o Brasil dominasse todas as etapas de processamento do combustível nuclear. Esse investimento que começou no inicio dos anos 70, consistia em desenvolver a produção de reatores de pesquisa e de potência e o processamento de combustível nuclear utilizado nos reatores. Tais investimentos tinham como objetivo tornar a matriz energética brasileira mais robusta utilizando os recursos energéticos existentes como, minas de urânio e tório, cujas reservas estão entre as maiores no mundo. (Othon Luiz Pinheiro da Silva, 2006)

Com este objetivo em mente, em 1975, celebrou-se o Acordo Brasil-Alemanha de cooperação no setor nuclear, onde haveria a transferência de tecnologia alemã. Algumas instalações derivadas deste acordo são a fábrica de construção de reatores da NUCLEP (Nuclebrás Equipamentos Pesados, em Itaguaí) e a própria Usina Nuclear de Angra 2, ambos construídas no estado do Rio de Janeiro. No que se refere ao enriquecimento de Urânio, a tecnologia que seria transferida para o Brasil seria a tecnologia de enriquecimento por ultracentrifugação, tecnologia essa que os alemães já dominavam a muito tempo. Porem devia a pressões internacionais, essa transferência foi vetada, sendo apresentada alternativamente o enriquecimento via “jet-nozzle”, a qual ainda estava em fase laboratorial. O motivo de se enriquecer o urânio (aumento do teor de U235 em relação ao que se dispõe naturalmente) deve-se ao fato de que a probabilidade de ocorrer a fissão neste elemento químico ser muito maior do que em outros elementos químicos (da ordem de mil vezes). (Othon Luiz Pinheiro da Silva, 2006)

Com a negativa de importação da tecnologia de ultracentrifugação e com a transferência alemã de um método não eficaz em escala industrial, optou-se pelo desenvolvimento de uma tecnologia nacional de enriquecimento de urânio por ultra centrifugação pela Marinha e pela FAB, também no final dos anos 70. Dentre as atividades do ciclo do combustível, o enriquecimento de urânio é a que reúne a maior complexidade tecnológica, por lidar com exigências técnicas muito estritas, em termos de seleção e desenvolvimento de materiais, em controle de qualidade dimensional, diversos métodos e etapas de fabricação eletromecânica, entre outros aspectos. (Othon Luiz Pinheiro da Silva, 2006)

Atualmente o Brasil é um dos 6 países do mundo que domina todas as etapas de produção de ciclo de energia nuclear. O que o Brasil ainda não dispõe, devido a falta de investimentos, é a independência industrial em algumas etapas de produção. No Brasil o Urânio é minerado e transformado em "yellocake". Existe tecnologia nacional e uma planta piloto funcionando em SP, para que o "yellocake" seja transformado em hexa fluoreto de uranio (UF6), porem, essa etapa é feita no Canadá. (Othon Luiz Pinheiro da Silva, 2006)
Como já citado, o Brasil é um dos 6 países que domina a tecnologia de enriquecimento de Urânio, esta sendo produzindo uma usina industrial em Rezende, essa usina (dependendo do fluxo de investimentos) em um horizonte de 4 a 5 anos pode tornar o Brasil auto suficiente em enriquecimento de Urânio. Atualmente essa etapa é feita na Europa mais especificamente na Holanda. (Othon Luiz Pinheiro da Silva, 2006)

A próxima etapa que é transformar pó em pastilha é feita na unidade industrial que opera em Rezende. Se forem somados o patrimônio intelectual ao patrimônio natural, só existem outros 2 países no mundo que tem grandes reservas de Urânio e tecnologia para enriquecimento de do mesmo, que são os Estados Unidos e a Rússia.

4.3.3.1 TERMONUCLEAR ANGRA1.

Localizada na Praia de Itaorna em Angra dos Reis no Rio de Janeiro, ocupando uma área de 37.918,35m², a usina nuclear Angra1 foi a primeira usina nuclear brasileira que entrou em operação comercial em 1985. Opera com um reator de água pressurizada (PWR), o mais utilizado no mundo. Com 640 megawatts de potência, Angra 1 gera uma energia equivalente para suprir uma cidade de 1 milhão de habitantes, como Porto Alegre ou São Luís. Mais dados técnicos podem ser vistos no anexo A.1.

No inicio de sua operação, Angra 1 passou por alguns problemas com alguns equipamentos que prejudicaram o funcionamento da usina. Essas questões foram sanadas por volta da década de 1990, fazendo com que a unidade passasse a operar com padrões de desempenho compatíveis com a prática internacional. Em 2010, a usina bateu seu recorde de produção, fato que se repetiu novamente em 2011. (Eletrobras, 2015)

Angra1 foi adquirida da empresa americana Westinghouse sob a forma de "turn key", como um pacote fechado, sem a transferência de tecnologia por parte dos fornecedores. No entanto, a experiência acumulada pela Eletrobras Eletronuclear em todos esses anos de operação, com dados de eficiência que superam o de muitas usinas similares, permite que a empresa tenha, atualmente, a capacidade de promover um programa contínuo de melhoria tecnológica e incorporar os mais recentes avanços da indústria nuclear. Um exemplo disso foi a troca dos geradores de vapor – dois dos principais equipamentos da usina – realizada em 2009. Com esta substituição, a vida útil de Angra1 foi estendida, permitindo que a usina esteja apta a gerar energia para o Brasil por décadas. (Eletrobras, 2015)

4.3.3.2 TERMONUCLEAR ANGRA2.

Também localizada na Praia de Itaorna em Angra dos Reis no Rio de Janeiro, ocupando uma área de 93.802,74², a segunda usina nuclear brasileira, Amgra2, começou a operar comercialmente em 2001. Com potência de 1.350 megawatts, Angra 2 é capaz de atender ao consumo de uma cidade de 2 milhões de habitantes, potencia consumida por uma cidade como Belo Horizonte.

A usina conta com um reator de água pressurizada (PWR) de tecnologia alemã da Siemwns/KWU, fruto de acordo nuclear entre Brasil e Alemanha, assinado em 1975. Angra 2 começou a ser construída em 1981, mas teve o ritmo das obras desacelerado a partir de 1983, por consequência da crise econômica que assolava o país naquele momento, parando de vez em 1986. Sua construção foi retomada no final de 1994 e concluída em 2000. Mais dados técnicos podem ser vistos no anexo A.2. (Eletrobras, 2015)

Seu desempenho tem sido de extrema eficiência desde o início de sua operação. No final de 2000 e no início de 2001, sua entrada em operação permitiu a redução do consumo de água dos reservatórios das hidrelétricas brasileiras, diminuindo os impactos do racionamento de energia, especialmente na região Sudeste, maior centro de consumo do país.

Em 2009, a unidade ficou em 33ª terceira em produção de energia entre as 436 usinas nucleares em operação no mundo, segundo a publicação americana Nucleonics Week,

especializada em energia nuclear. Neste mesmo ano, ocupou a 21ª posição entre as 50 melhores usinas americanas, segundo a Associação Mundial de Operadores Nucleares.

A construção de Angra 2 propiciou a transferência de tecnologia para o Brasil, o que proporcionou para o país a um desenvolvimento tecnológico próprio, do qual resultou o domínio sobre todas as etapas de fabricação do combustível nuclear. Desse modo, a Eletrobras Eletronuclear e a indústria nuclear nacional reúnem, hoje, profissionais qualificados e sintonizados com o estado da arte do setor.

4.3.3.3 TERMONUCLEAR ANGRA3.

Angra3 será a terceira usina da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto (CNAAA), esta sendo construída na mesma área onde estão localizadas as usinas de Angra1 e Angra2. Com uma capacidade de geração de 1.405 megawatts, quando entrar em operação, Angra3 será capaz de gerar mais de 12 milhões de megawatts-hora por ano. Essa quantidade de energia é o equivalente a quantidade de energia que as cidades de Brasília e Belo Horizonte consomem no mesmo período. Com Angra 3, a energia nuclear passará a gerar o equivalente a 50% do consumo do Estado do Rio de Janeiro. (Eletrobras, 2015)

Ambas as usinas, Angra2 e Angra3, contam com tecnologia alemã Siemens/KWU. As etapas de construção da Unidade incluem as obras civis, a montagem eletromecânica, o comissionamento de equipamentos e sistemas e os testes operacionais.

Até o ano de 2015 foram executadas cerca 67,1% das obras. O progresso físico global do empreendimento, considerando todas as outras disciplinas envolvidas, é de 58,4%. Até setembro de 2015 já foram alocados ao empreendimento cerca de R$ 5,3 bilhões de um total de R$ 14,8 bilhões (base de junho de 2014), de custos diretos, que serão investidos, sendo que aproximadamente 75% desse valor serão investidos dentro do país. (Eletrobras, 2015)

Atualmente as obras se encontram suspensas devido á falta de verbas provenientes da Eletrobrás e as brigas judiciais contra as empreiteiras acusadas de corrupção. Para que a obra seja construída, se faz necessário um montante de 5bilhões de reais e uma nova empresa capaz de continuar o projeto. De todo dinheiro que ainda falta, cerca de 1bilhão precisa ser desembolsado pela própria estatal. Os outros 4bilhões virão de uma linha de crédito do BNDS. (costa, 2016)

5 RESÍDUOS RADIOATIVOS

Rejeitos radioativos são os materiais que são provenientes das sobras da utilização de material nuclear para a produção de eletricidade, diagnostico e tratamento de doenças e outras finalidades. Os resíduos radioativos são classificados em três categorias; resíduos de alta atividade, resíduos de média atividade e resíduos de baixa atividade (Santos, 2015).

Os rejeitos de baixa e média atividade são oriundos do processo de geração de energia termonuclear, da utilização da radiação na medicina, na indústria e em pesquisa. Esses rejeitos precisam ser mantidos segregados por prazo inferior a 200 anos. Entre os rejeitos de baixa e média atividade estão inclusos materiais que foram contaminados com material radioativo ou materiais que se tornaram radioativos através da exposição netrônica. Podem incluir itens contaminados radioativamente como roupas de proteção contra contaminação, ferramentas contaminadas, filtros, resíduos provenientes do tratamento do liquido refrigerante do reator, seringas, agulhas de injeção, etc. Para se ter uma ideia da ordem de grandeza do volume de resíduo radioativo de baixa atividade produzido, em 1998 nos Estados Unidos, o volume de resíduos de baixa atividade era de 1.419 m^3. Neste volume estavam englobados resíduos produzidos nos processos comerciais e na produção de energia elétrica, sendo que deste total apenas 14,8% eram provenientes das usinas nucleares (cerda de 75 usinas) (Santos, 2015).

5.1 TRATAMENTO E ARMAZENAMENTO DOS REJEITOS DE BAIXA E MÉDIA ATIVIDADE

Os rejeitos radioativos de baixa e média atividade são armazenados em barris que de acordo como seu nível de radioatividade, podem ser blindados com chumbo, concreto ou outro material, que isole a radiação que emana desses materiais, dos operários ou o público em geral. Em alguns casos estes rejeitos são armazenados, inicialmente, em depósitos dentro das próprias instalações das usinas nucleares que devem ter uma capacidade adicional de blindagem, como é o caso dos prédios de armazenamento existentes na Central Nuclear de Angra (Santos, 2015).

No que diz respeito ao armazenamento dos rejeitos de baixa e média atividade, já estão em funcionamento no mundo diversas soluções como depósitos localizados na superfície. Com tudo no Brasil ainda não há uma solução definitiva para o armazenamento dos resíduos de baixa e média atividade. (Santos, 2015)

Atualmente nos Estados Unidos, para os resíduos de baixa atividade, existem três depósitos que são utilizados para uso comercial, mas estes depósitos aceitam apenas resíduos

de alguns Estados e somente alguns tipos de resíduo de baixa atividade. O restante dos resíduos de baixa atividade que são produzidos são armazenados nas próprias instalações onde são produzidos, como hospitais, institutos de pesquisa e usinas nucleares. No Canadá planeja-se construir um depósito de armazenamento geológico em grandes profundades para os resíduos de baixa e média atividade. O custo estimado para que esse empreendimento seja viabilizado chega a um total 20 bilhões de dólares. A Alemanha possui dois depósitos de resíduos radioativos de baixa e média atividade, são eles, Morsleben e Konrad. Na Espanha, onde existe em operação desde a década de 1980 um depósito para rejeitos de média atividade denominado El Cabril. Na Finlândia, primeiro país no mundo que conseguiu aprovar a construção de um depósito profundo definitivo, os resíduos de baixa e média atividades são depositados em repositórios subterrâneos localizados no sítios das usinas de *Olkiluoto* e *Loviisa* (Santos, 2015).

5.2 TRATAMENTO E ARMAZENAMENTO DOS REJEITOS ALTA ATIVIDADE

É notório que o armazenamento de rejeitos radioativos de baixa e média atividade deve ser extremamente estudado devido a sua complexidade. Porem, o maior desafio tecnológico no que tange aos resíduos radiativos é sem dúvida o armazenamento definitivo dos rejeitos de alta atividade. Atualmente esses rejeitos têm sido armazenados temporariamente em meio úmido ou seco, em local próximo ao reator no qual foi utilizado ou distante do mesmo em alguma instalação específica (Santos, 2015).

Um método comumente utilizado para armazenar resíduos de alta atividade é o acondicionamento dos elementos combustíveis irradiados em piscinas localizadas nas instalações das próprias usinas nucleares onde foram utilizados. Esse método é utilizado na armazenagem dos elementos combustíveis utilizados nas Usinas de Angra 1 e de Angra 2. Esse tipo de armazenamento requer um dimensionamento das piscinas de forma que haja uma camada de água de pelos menos 7 metros acima do topo dos elementos combustível para simular uma blindagem contra a radiação para qualquer indivíduo que esteja próximo a piscina (Santos, 2015).

As piscinas foram projetadas para contemplar o armazenamento de um certo número de elementos combustíveis. Porem, por falta de planejamento e investimentos em novos locais de armazenamento desses resíduos, a capacidade de algumas piscinas foram ampliadas para

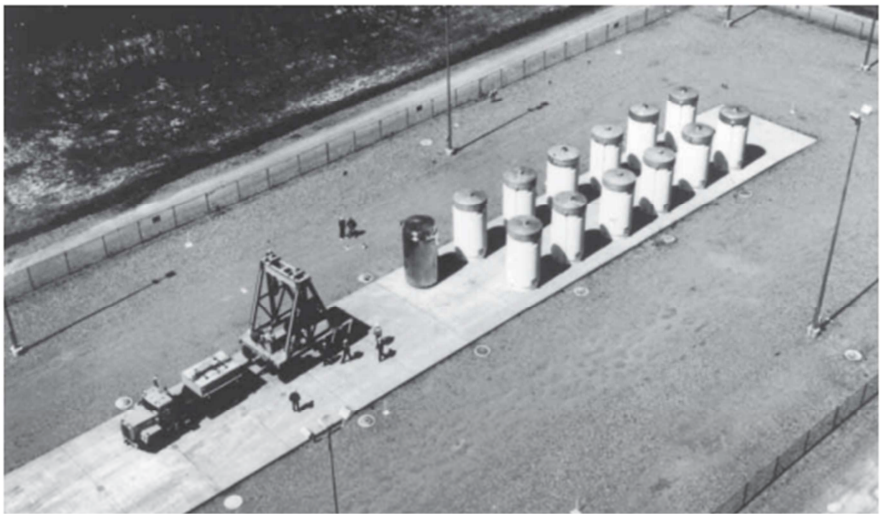
suportar o armazenamento de uma quantidade maior de resíduos. Este foi o caso da Usina de Angra 1 cuja piscina de combustível usado teve sua capacidade ampliada (Santos, 2015).

Uma vez a capacidade da piscina ter se esgotado, é possível optar-se para armazenamento a seco dos elementos combustíveis irradiados utilizando-se cascos para armazenamento a seco, como é ilustrado nas figura11 e figura12. Neste método o elemento combustível irradiado é colocado em um casco, que pode ser metálico ou feito de concreto, e que contem um gás inerte. Tais cascos podem ser utilizados tanto para armazenamento como para transporte. Como exemplo, nos Estados Unidos atualmente 17 usinas nucleares utilizam a opção do armazenamento a seco (Nuclear Regulatory Commission, 2002).

Figura 7 - Armazenamento horizontal em H.B. Robinson usina nuclear na Carolina do Sul

Fonte: **(Nuclear Regulatory Commission, 2002)**

Figura 8- Armazenamento vertical na usina nuclear Surry na Virgínia.



Fonte: **(Nuclear Regulatory Commission, 2002)**

Tanto o método de armazenamento úmido quanto o seco, são seguros, porem, apresentam diferenças significativas entre eles. O armazenamento úmido, que utiliza piscinas para armazenar elementos combustíveis, requer não apenas uma vigilância constante e controle por parte das organizações responsáveis pelo respectivo armazenamento como também a constante operabilidade dos equipamentos responsáveis pelo resfriamento da piscina como bombas, trocadores de calor etc. Já a estocagem a seco, por ser um método passivo, é mais simples, utiliza uma menor quantidade de sistemas de suporte e reduz a probabilidade de ocorrência de falhas seja ocasionado por erro humano ou por falha de equipamentos. A desvantagem da estocagem a seco é que ela não pode ser utilizada até que o combustível tenha sido retirado do reator já por alguns anos e a quantidade de calor gerado pelo decaimento radioativo tenha reduzido. Normalmente os elementos combustíveis, após terem sido removidos do núcleo do reator, são mantidos nas piscinas por um período entre 3 e 5 anos para que seu calor de decaimento seja reduzido, antes de transferi-lo para o armazenamento a seco, caso seja necessário. (Santos, 2015)

O método que internacionalmente aceito pelos especialistas em armazenamento de resíduos radioativos é confiná-los e isolá-los do meio ambiente a que normalmente têm acesso os seres humanos. Com isso, a melhor opção é armazenar os resíduos de alta atividade em altas profundidades no chamado “armazenamento geológico profundo”. Neste tipo de armazenagem definitiva, é assegurado que as gerações atuais e futuras estarão adequadamente

protegidas e que o meio ambiente estará devidamente preservado através de sistemas passivos como barreiras tecnológicas e barreiras naturais (Consejo de Seguridad Nuclear, 2008).

A característica fundamental que distingue o armazenamento definitivo do armazenamento temporário é que no armazenamento definitivo, não há a intenção de se recuperar o rejeito depositado e, ou não existe ou é mínima, a dependência dos controles ativos no longo prazo. Quando a instalação chega ao limite de sua capacidade, ela é fechada e selada. Podendo haver ou não na superfície indicação de que há tal instalação subterrânea. Em algumas instalações pode ser cogitado o possível adiamento do fechamento definitivo do depósito. Esse período pode ser de algumas décadas ou alguns séculos, para que se possa monitorar as instalações de armazenamento e o meio ambiente, podendo-se ainda, se desejado, projetar as instalações de forma a ser possível recuperar o material armazenado. Atualmente diversos países, dentre os quais a França, tem optado pela solução na qual os resíduos possam ser recuperados (BARRE, et al., 2007).

No que se refere a segurança dos rejeitos radioativos de alta atividade, o armazenamento temporário se mostra seguro por algumas décadas e é previsto que se mantenha seguro enquanto forem mantidas o monitoramento das instalações. Em contra partida, as instalações de armazenamento definitivo que se encontram no subsolo e em terrenos geológicos conhecidos, garantem uma segurança á longo prazo sem que seja necessária uma vigilância tão especifica (Santos, 2015).

A opinião publica é um fator que deve ser levado em consideração na hora de se optar entre instalações temporárias em instalações já existentes ou em se criar nosvas. A opção pelo armazenamento temporário em instalações existentes e nas quais já são realizadas atividades nucleares, gera menos oposição da opinião pública do que a criação de novas instalações. Agregado a isso, a expansão de uma instalação já existente exige um menor número de pontos de decisão se comparado com a criação de uma nova. A aceitação do armazenamento definitivo encontra resistências, pois, pode impossibilitar as gerações futuras em atuar na gestão do resíduo e ao risco associado ao transporte do material (Santos, 2015).

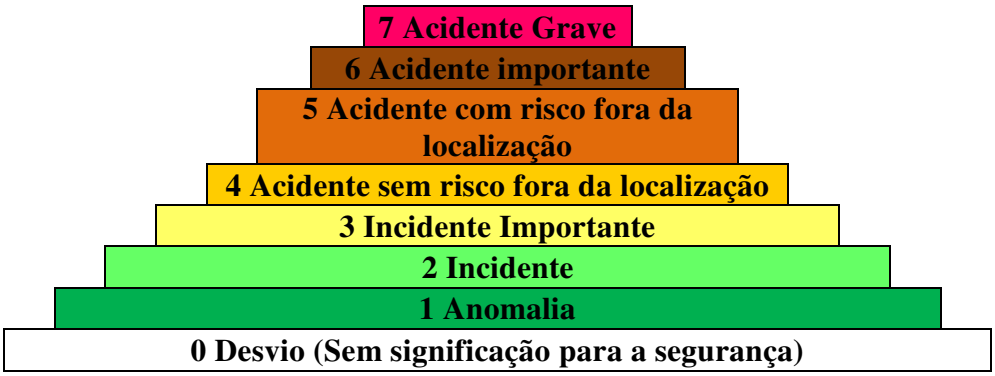
A transmissão de informações para as gerações futuras relativas ao resíduo armazenado nas instalações temporárias é outro fator que deve ser considerado ao se optar pelo armazenamento temporário. A necessidade de transferência de informação por longo prazo é potencialmente uma dificuldade importante para o armazenamento temporário em função do processo de comunicação a ser utilizado, o que já não acontece com o armazenamento definitivo onde se considera que o projeto e construção sejam tais que

eventuais perdas de comunicação não venham prejudicar a segurança das instalações (Consejo de Seguridad Nuclear, 2008)

6 GRANDES ACIDENTES

No que se fere a grandes acidentes nucleares, existe uma escala que é utilizada na medição da gravidade dos impactos ambientais provocado pelos mesmos. Essa escala é chamada de Escala Internacional de Acidentes Nucleares (INES – International Nuclear Event Scale) que foi introduzida pela AIEA (Agência Internacional de Energia Atômica) no ano de 1990. Nela, esta graduada uma escala de gravidade que inclui acidentes e incidentes nucleares. A escala é dividida em 7 níveis de gravidade, sendo que os 3 níveis iniciais são classificados como incidente e os 4 últimos são classificados como acidentes. Além dos 7 níveis, existe uma nível clamado de nível zero, onde nenhuma mudança na segurança é proporcionada, bem como consequências à população local. A figura 13 ilustra como é organizada a Escala Internacional de Acidentes Nucleares e a Tabela 5 descreve o tipo da gravidade que cada nível representa.

Figura 9 - Escala Internacional de Acidentes Nucleares



Fonte : (IAEA)

Tabela 5 – Interpretação das escalas.

Nível 7 - Acidente mais grave ou superior:
Liberação extensa de material radioativo com efeitos amplos sobre a saúde da população e do meio ambiente, com exigência de ações remediadoras planejadas pelas autoridades. Sendo reconhecido apenas o acidente de Chernobyl, na Ucrânia, como um exemplo de acidente de nível 7: afirma-se que a radioatividade média das proximidades do local de explosão do reator

era 400 vezes maior que a gerada pela bomba de Hiroshima.
Nível 6 – Acidente Grave:
Liberação em quantidade importante de materiais radioativos para o ambiente externo, passível de exigir aplicação de medidas remediadoras. O acidente de Fukushima I, no Japão, em março de 2011, é classificado pela Autoridade Francesa de Segurança Nuclear (ASN) como de tal nível; embora as autoridades japonesas afirmem que esse acidente seja de nível 4.
Nível 5 – Acidentes com consequências de longo alcance:
Liberação de quantidade limitada de materiais radioativos com várias mortes ou grande quantidade dentro de uma instalação. Nesses acidentes, há danos ao núcleo do reator, alta probabilidade de exposição à população. Geralmente são causados por incêndios ou acidentes graves. No Brasil, o acidente com o Césio-137, onde 4 pessoas morreram após contaminação em 1987, é classificado como nível 5.
Nível 4 – Acidente com consequências locais:
Liberação em pequena quantidade de materiais radioativos ao ambiente com pelo menos 1 morte ou em grande quantidade dentro de uma instalação. Há, também, fusão de combustível nuclear. Em Saint Laurent, na França, a proteção do combustível de um dos reatores foi danificada, representando, assim, um acidente deste nível.
Nível 3 – Incidente grave:
Exposição 10 vezes acima do limite anual pré-fixado para trabalhadores com consequências não-letais (queimaduras, por exemplo). E, agravamento de poluição em área não coberta. Em Yanango, no Peru, um soldador ficou diretamente exposto ao colocar uma amostra de irídio no bolso.
Nível 2 – Incidente:
Casos onde trabalhadores se expõem além do limite legal anual, população acima de 10 milisieverts, ou radiação acima de 50 milisieverts por hora em área operacional. Alguns acontecimentos desse nível foram noticiados nas usinas de Atucha, na Argentina, e Cadarache, na França.
Nível 1 – Anomalia:
Incidentes que não afetam a população ou o meio ambiente, além de quase sempre não comprometerem, ou comprometer em pequena escala, os mecanismos de segurança das instalações nucleares.

Fonte: (Lira)

6.1 THREE MILE ISLAND

No dia 28 de março de 1979, um erro operacional e uma falha num equipamento de refrigeração acarretaram na fusão parcial do núcleo da usina nuclear de Three Mile Island. A

manutenção preventiva havia sido prejudicada por cortes de custos e, consequentemente, materiais de qualidade inferior haviam sido usados. Mas a causa principal do acidente foram as manobras erradas tomadas por operadores despreparados. A temperatura do núcleo subiu excessivamente e a pressão aumentou. Uma válvula de redução de pressão atuou, mas não se fechou, ao contrário do que estava indicado. Oque levou a liberação de enorme quantidade de água radioativa no rio Susquehanna. Gases radioativos também foram lançados para a atmosfera. O Governador do estado da Pensilvânia, onde se encontra a usina, demorou dois dias para iniciar a evacuação em um raio de 8 km ao redor da instalação nuclear. (MONTALVÃO, 2012)

6.2 FUKUSHIMA

É uma usina de água fervente (BWR). Foi construída para suportar um terremoto de 8,1 na escala Richter, numa área suscetível a terremotos de grandes proporções. Foi dimensionada para suportar maremotos de até 5,7 metros de altura.

O maior terremoto da história do Japão, ocorrido em 11 de março de 2011, teve intensidade de 9,2 na escala Richter e gerou um maremoto de mais de 14 metros de altura. A usina de Fukushima, equivocadamente, não havia sido dimensionada para suportar desastres naturais dessa intensidade. O maremoto encobriu e inundou as instalações nucleares e provocou o desligamento do sistema de resfriamento do núcleo. Os reatores 1, 2 e 3 sofreram fusão parcial, com liberação de hidrogênio – gás altamente combustível – pela oxidação das varetas, seguida de implosão dos edifícios onde estão os reatores nucleares pela queima do hidrogênio. Houve vazamento de água radioativa para o mar e liberação de gás radioativo para a atmosfera. (MONTALVÃO, 2012)

6.3 CHERNOBYL

Na madrugada do dia 26 de abril de 1986, aproveitando um desligamento de rotina da usina de Chernobyl, foram realizados sucessivos testes para observar o funcionamento do reator a baixa energia. Os técnicos responsáveis por esses testes não seguiram as normas de segurança que são de vital importância neste tipo de usina. Principalmente quando o moderador de nêutrons é a base de grafite, pois, com este tipo de moderador o reator pode apresentar instabilidade em um curto prazo. E foi isso que aconteceu. Após o acidente, as

autoridades levaram 30 horas para alertar as pessoas sobre o ocorrido. Até então, tudo foi mantido em segredo. Apenas cinco trabalhadores da usina sobreviveram ao acidente.
Os fatos mostram que o acidente de Chernobyl, que alcançou o grau máximo de gravidade de acidente nuclear, ocorreu por uma conjugação de três eventos: falha humana, uma usina que utilizava tecnologia ultrapassada (tendo o grafite como moderador), e irresponsabilidade do Governo, que demorou um tempo extremamente excessivo para evacuar a população da região. Nas usinas modernas, esse acidente não seria possível. (MONTALVÃO, 2012)

7 COMPETITIVIDADE ENTRE FONTES GERADORAS

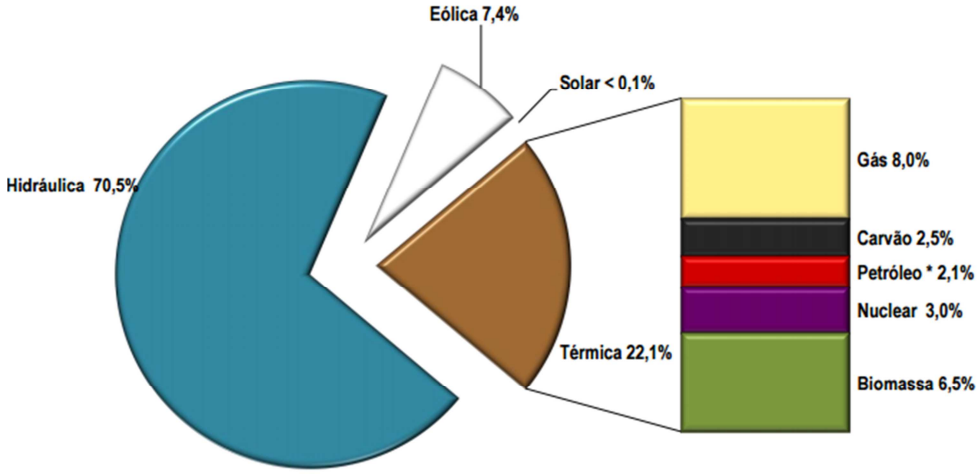
Para realizar as perspectivas da energia nuclear na matriz energética brasileira, faz-se necessário uma comparação com outras fontes de energia concorrentes, a fim de analisar sua viabilidade perante diversos aspectos. Deve-se ressalta que, quando se fala de grandes blocos de geração de energia como, grandes hidroelétricas, termonucleares ou usinas a gás natural, não é correto classifica-las simplesmente como fábricas de megawatt.

Esse tipo de classificação é errado, pois, fornecimento de energia elétrica, assim como educação, saúde e saneamento básico, são serviços públicos essenciais para que a sociedade possa sobreviver e a própria economia possa evoluir. Portanto, sua prestação leva um número enorme de externalidades, tanto positivas quanto negativas, que não são captadas pelo preço do mercado. Do mesmo modo que não se trata a educação e a saúde como uma simples commodity, não se pode tratar a energia elétrica como uma commodity também.

Através do gráfico5, percebe-se que no ultimo mês em que no Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico foi atualizado, 22,1% da matriz de produção de energia elétrica, foi proveniente das usinas térmicas, consideradas fontes confiáveis, ou seja, são produzidas independentemente dos fatores climáticos.

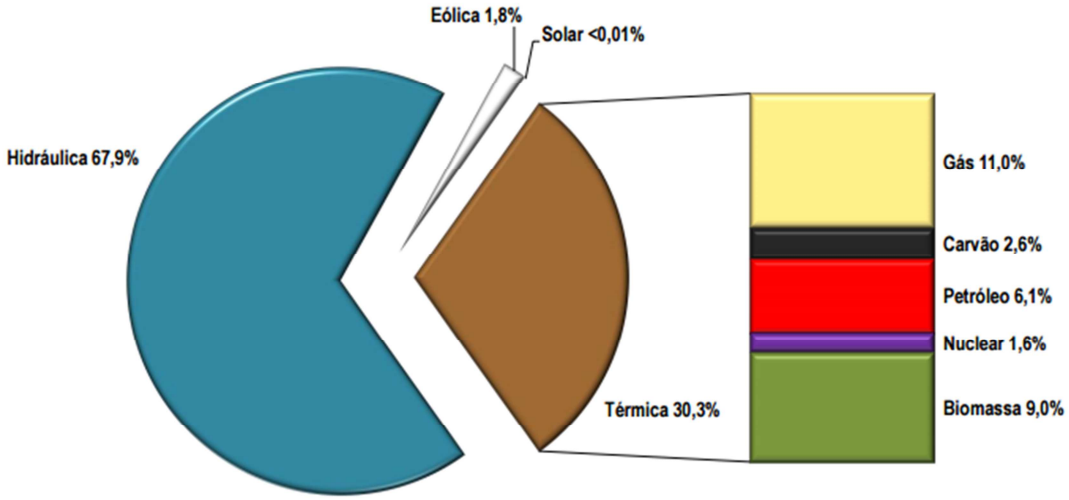
O comparativo entre matrizes energéticas foi focada nas matrizes que o universo dos 22,1% contemplava. Essa análise foi baseada na observação do gráfico6, que ilustra o quão importantes e exigidas são as fontes térmicas dentro do sistema elétrico nacional, principalmente em momentos de crise hídrica, chegando ter uma participação de 30,3% da matriz de produção de energia.

Gráfico 5 - Matriz de Produção de Energia Elétrica - Ago/2016



Fonte: (Ministério de Minas e Energia, 2016)

Gráfico 6 - Matriz de Capacidade Instalada de Geração de Energia Elétrica - Fev/2014



Fonte: (**Ministério de Minas e Energia, 2014**)

7.1 COMPETIVIDADE ECONÔMICA

O método mundialmente mais aceito, devido sua transparência, utilizado para comparar os custos entre as diferentes fontes de geração de energia elétrica é a chamada (LCOE – *Levelised Cost of Electricity*). Esse método calcula o custo nivelado da eletricidade que é calculado somando-se todos os custos incorridos com a usina ao longo de sua vida útil, descontado a valor presente, e dividindo pela quantidade de eletricidade produzida ajustada pelo valor econômico ao longo do tempo. (Santos, 2015)

O cálculo do custo nivelado de eletricidade é realizado dividindo-se a soma de todos os custos incorridos com a usina ao longo de sua vida útil, descontado a valor presente, pela quantidade de eletricidade produzida ajustada pelo valor econômico ao longo do tempo.

A dedução dos cálculos do LCOE pedem ser observados no anexo B, onde relaciona-se o montante produzido pela usina ao longo de sua vida útil e descontado o valor presente. Essa operação deve ser igual a todos os custos incorridos com a usina desde sua criação até seu descomissionamento. (Santos, 2015)

Para uma maior precisão, deve-se considerar nos cálculos algumas incertezas como os custos futuros do combustível e da emissão do gás carbônico. Se necessário deve ser considerado os custos de financiamento, os custos de construção, os custos de descomissionamento e a variação dos custos da eletricidade em si. No que se refere os custos de descomissionamento das termo nucleares, mesmo com a baixa experiência envolvendo custos, pode-se considerar desprezível o custo do descomissionamento trazido a valor presente. (Santos, 2015)

Para efeito de cálculos, foram adotados alguns valores como parâmetro de calculo. O dado foi o valor de 85% para o fator de capacidade das usinas nucleares e uma vida util de 60, 40, e 30 anos para as usinas nucleares, a carvão e gás, respectivamente. É importante frisar que o valor de 85% para o fator de capacidade para as usinas nucleares é totalmente plausível, devido ao fato de que Angra2 opera com fatores de capacidade na ordem de 90%. No âmbito internacional, as usinas americanas chegaram a um fator de capacidade da ordem de 92% em 2008, partindo de um valor menor que 60% em 1973. (Santos, 2015)

Os resultados mostram que, de forma geral, a produção de energia elétrica provenientes da energia nuclear e da queima de combustíveis fósseis como gás e carvão, são competitivas para a geração na base do sistema elétrico. Porem esse resultado é valido se as condições forem favoráveis para cada tipo de geração. A competitividade referente aos custos está ligada diretamente as características locais de cada mercado específico como custos de financiamento, assim como os custos de emissão de CO2 e o custo do combustível fóssil. Portanto, não há tecnologia que se destaque em termos de competitividade econômica, seja a nível local como a nível global. (Santos, 2015)

De modo geral, o método de nivelamento de custos indica uma pequena vantagem na utilização de termonucleares, sobre as térmicas á gás e a carvão, na geração de base para o sistema elétrico nacional. Essa ligeira vantagem da energia termonuclear se deve ao fato de, gerar grandes blocos de energia sem gerar grandes quantidades de carbono, e ao custo de produção baixo e estável ao longo do tempo. (Santos, 2015)

Pode –se destacar também a cotação da tonelada de urânio sob a forma de "yellowcake" no mercado à vista que, em meados de 2013, era de cerca de US$ 80 mil, valorizando as reservas brasileiras comprovadas em mais de US$30 bilhões. Considerando as reservas adicionais especulativas, essa valoração chegaria amais de US$ 100 bilhões. (Pires, 2013)

O Brasil tem uma reserva comprovada de urânio, equivalente a aproximadamente sete bilhões de barris de petróleo. Considerando também as reservas estimadas, esse volume salta para 25bilhões de barris. Como efeito comparativo, as reservas estimadas do pré – sal, variam de em torno de 19 bilhões de barris. Esse valor está considerando os campos de Tupi, Iara, e parque das Baleias, porem, estimasse que esse valor pode chegar á 50 bilhões de barris. Mostrando que as reservas de urânio brasileiras têm dimensões muito significativas. (Pires, 2013)

O grande atrativo econômico do carvão está associado ao seu baixo custo, principalmente se não considerarmos os custos ambientais, principalmente o custo do carbono. Sua vantagem econômica é mais evidente quando o carvão é mais barato e quando a usina é próximo as minas de extração como é o caso de regiões dos Estados Unidos, Austrália, África do Sul, Índia e China. Porem, esse atrativo econômico é afetado quando é necessário transportar o carvão ou quando se incluem custo de carbono. Com maiores restrições ambientais associadas a emissão de poluentes e a tendência da precificação de carbono, podem afetar significativamente a produção de carbono. (Santos, 2015)

A grande vantagem de usinas a gás natural é sua flexibilidade e uma menor emissão de CO2 quando comparado com usinas a carvão. O gás de xisto de baixo custo melhorou a competitividade do gás nos Estados Unidos onde o preço do gás atingiu valores na ordem de 50% daqueles indexados ao petróleo na Europa continental e nos países da OCDE da Ásia. (Santos, 2015)

7.2 USINAS Á GÁS NATURAL.

No Brasil, a geração termelétrica a gás natural desempenha o papel de complementação da geração hidrelétrica e das fontes renováveis como eólica e solar, além de proporcionar flexibilidade operacional ao Sistema Interligado Nacional. Essas usinas funcionam como sistemas de emergência que, em períodos de escassez hidrológica, ou nos períodos de indisponibilidade de geração a partir dos ventos e do sol, contribuem para a

garantia do suprimento de energia e reduzindo assim, o risco de déficit no sistema. (Tolmasquim, 2016)

Atualmente o Brasil possui tecnologia para localização de reservas, e também para extração, devido principalmente ao desenvolvimento da Petrobrás. O maior entrave para expansão do consumo de gás natural é reduzida rede de distribuição existente, que limita sua utilização para apenas termelétricas em determinadas localidades. Esse entrave diminui o interesse na sua extração, pois, não é comercialmente viável extrair gás natural sem um meio de transportá-lo. (DOS REIS, 2011)

7.2.1 INVESTIMENTO NA IMPLANTAÇÃO

Foram realizadas análises dos últimos leilões de energia, com o objetivo de quantificar os custos de implantação de uma usina termelétrica com fonte a gás natural. A tabela 6 mostra os principais dados de custos para a implantação de uma usina a gás.

Tabela 6 - Investimentos nas usinas termelétricas a gás natural.

Leilão	22°LEN 21/08/2015	23°LEN 29/04/2016
Empreendimentos negociados	1	1
Potência total instalada (MW)	28,023	5,54
Investimento total (R$)	93.306.000,00	16.899.000,00
Investimento médio (R$/MW)	3.329.622,10	3.050.361,01

Fonte: Próprio Autor

Analisando a Tabela 6, é possível notar que poucos empreendimentos termelétricos a gás natural foram negociados nos últimos leilões e a potência total instalada não foi tão alta. O que ocasionou um investimento médio alto.

7.2.2 PREÇO DO MWh

A Tabela 7 indica o preço do MWh negociado nos últimos leilões nos quais houve venda da fonte gás natural.

Tabela 7 - Tabela 5 – Preço do MWh das usinas termelétricas a gás natural.

Leilão	22°LEN 21/08/2015	23°LEN 29/04/2016
Empreendimentos negociados	1	1
Menor preço (R$/MWh)	214,25	258
Maior preço (R$/MWh)	214,25	258
Preço médio (R$/MWh)	214,25	258

Fonte: Próprio Autor

7.2.3 FATOR DE CAPACIDADE

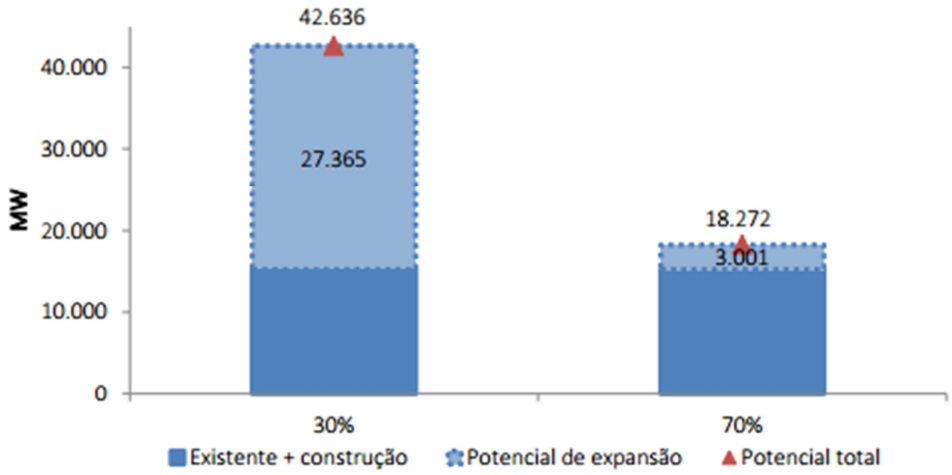
O fator de capacidade das usinas a gás varia entre 30% e 70%, essa grande variação se deve aos tipos de turbinas utilizadas nas usinas. As turbinas a gás de ciclo simples (TGCS) possuem um fator de capacidade de 30%, já as turbina a gás de ciclo combinado (TGCC) possuem um fator de capacidade de 70%. A Tabela 8 mostra as diferenças dos parâmetros técnico-econômicos entre as duas usinas, e o Gráfico 7 ilustra o fator de capacidade de cada tipo de turbina com a capacidade existente e em construção

Tabela 8 - Parâmetros técnico-econômicos de termelétricas a gás natural

		TGCS	TGCC
Consumo específico[1]	US$/kw	600 - 1000	900 - 1300
O&M fixo	US$/kw. ano	13	18
O&M variável	US$/MWh	40	6
Custo de combustivel	US$/MMBtu	10	10
Rendimento	%	35	55
Fator de capacidade	%	30	70
Vida útil	anos	30	30

Notas[1]: Refere-se ao custo específico de uma UTE completa (incluindo equipamentos, obras civis, conexão elétrica, montagem e comissionamento, dentre outros).
Fonte: **(Tolmasquim, 2016)**

Gráfico 7 - Fator de capacidade



Fonte: **(Tolmasquim, 2016)**

7.2.4 IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS

A utilização do gás natural possui vantagens ambientais significativas quando comparada a outros combustíveis fósseis, como petróleo, óleo diesel e carvão, pois apresenta uma menor taxa de emissão de óxidos de carbono, SO2 (dióxido de enxofre), óxidos de nitrogênio e de hidrocarbonetos, gases poluentes que contribuem significativamente para o efeito estufa. (SILVA, 2015)

Todavia, o gás natural, tem um impacto ambiental positivo somente quando inserido em uma matriz energética predominantemente de base térmica. No caso do Brasil, onde sua matriz energética é predominantemente composta por hidroelétricas, sendo consideráveis as emissões de gases provenientes da Usina térmica a gás natural.

Ressalta-se que a possibilidade de produção de gás natural a partir de recursos não convencionais (no caso do gás de Xisto) tem gerado diversas manifestações contrárias devido às preocupações com os impactos ambientais que pode ocasionar, especialmente aqueles relacionados aos recursos hídricos. (Tolmasquim, 2016)

7.3 GERAÇÃO TERMELÉTRICA A BIOMASSA

Outro combustível utilizado nas usinas termelétricas é a biomassa, que é proveniente de fonte orgânica como esterco, carvão vegetal, lenha, óleo vegetal e, principalmente, bagaço de cana. Sua participação tem sido crescente no cenário nacional, decorrente da pujante indústria de etanol e açúcar estabelecida em solo nacional. Uma das políticas de maior impacto para a

introdução dos biocombustíveis no mercado brasileiro foi o Programa Nacional de Álcool (Proálcool), em 1975. Com ele, a indústria sucroenergética nacional foi consolidada e ampliada, tornando-se referência internacional. (Tolmasquim, 2016)

7.3.1 DOMÍNIO DA TECNOLOGIA

Atualmente existem três técnicas utilizadas para obtenção de energia elétrica a partir da biomassa: gaseificação, fermentação e combustão, sendo que a combustão é o processo mais utilizado, no qual a combustão da biomassa gera calor para movimentar uma turbina térmica, que gera energia elétrica. Para efeito prático, será utilizado durante o estudo uma usina termelétrica que faz uso da combustão e como biomassa, o bagaço de cana. Esses parâmetros foram adotados, pois é a configuração mais negociada nos leilões de energia.

O Brasil tem larga experiência na produção de geradores e de turbinas de vapor a biomassa. Os fabricantes que existem no país têm condições de atender a maior parte da demanda potencial. Pode-se considerar a indústria nacional preparada para atender a demanda da energia elétrica proveniente da biomassa. (TOLMASQUIM, 2003)

7.3.2 INVESTIMENTO NA IMPLANTAÇÃO

Como visto anteriormente, foram analisados os últimos leilões. Os três leilões mais recentes nos quais a fonte biomassa (bagaço de cana) foi vendida foram o 21º, 22º e 23º LEN. A Tabela 9 mostra os valores investidos nesses leilões para a fonte em questão.

Tabela 9 - Investimentos nas termelétricas a biomassa (combustível bagaço de cana)

Leilão	21°LEN 30/04/2015	22°LEN 21/08/2015	23°LEN 29/04/2016
Empreendimentos negociados	2	1	3
Potência total instalada (MW)	41,4	28,5	82,5
Investimento total (R$)	266.095.200,00	70.000.000,00	146.330.660,00
Investimento médio (R$/MW)	6.427.420,29	2.456.140,35	1.773.704,97

Fonte: Próprio Autor

7.3.3 PREÇO DO MWh

A Tabela 10 apresenta o preço do MWh negociado para fonte biomassa nos últimos leilões de energia.

Tabela 10 - Preço do MWh das usinas termelétricas a biomassa

Leilão	21°LEN 30/04/2015	22°LEN 21/08/2015	23°LEN 29/04/2016
Empreendimentos negociados	2	1	3
Menor preço (R$/MWh)	272	210,73	181,25
Maior preço (R$/MWh)	278,5	210,73	245,2
Preço médio (R$/MWh)	275,25	210,73	162,62

Fonte: Próprio Autor

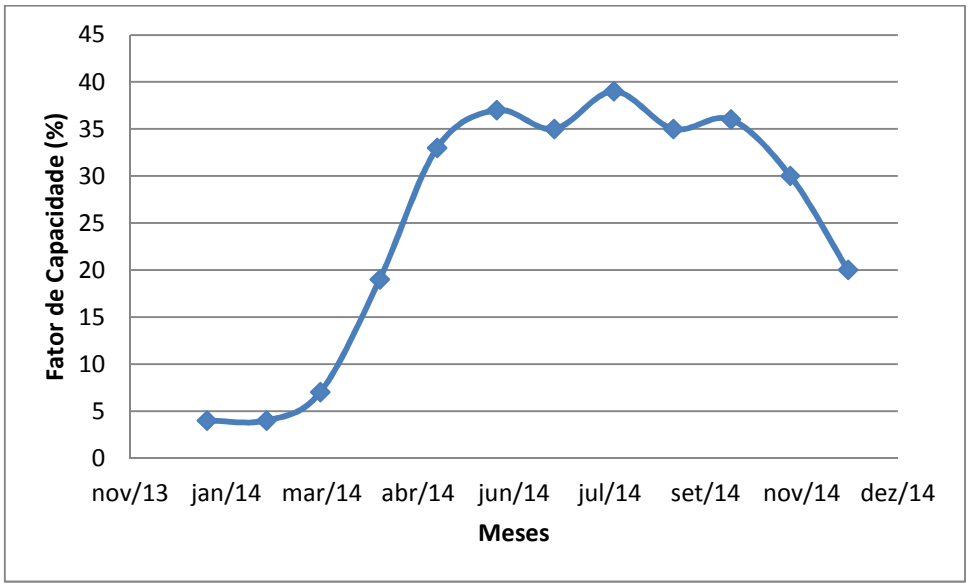
O preço médio do MWh nos últimos leilões foi de R$ 216,20.

7.3.4 FATOR DE CAPACIDADE

Ao contrário das termelétricas tradicionais, a biomassa não possui um controle tão grande da disponibilidade do combustível. O bagaço de cana é menos abundante nos períodos de entressafra. Isso faz com que a relação entre a energia gerada e a capacidade instalada de uma usina varie muito durante o ano. (SILVA, 2015)

No ano de 2014 a média do fator de capacidade foi de 24,91%, sendo que os piores fatores ocorreram nos meses de janeiro e fevereiro, com valores de 3%. Porem, os meses que obtiveram os melhores valores para o fator de capacidade, foram os meses de junho e agosto, com valores de 37% e 39% respectivamente. O gráfico 8 todas as variações, mês a mês, ao longo do ano de 2014.

Gráfico 8 - Fator de capacidade das termelétricas a biomassa em 2014



Fonte: Próprio Autor

7.3.5 IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS

Uma usina térmica a biomassa pode provocar um impacto no meio ambiente afetando a vegetação nativa, os ecossistemas sensíveis, diminuindo a disponibilidade hídrica, diminuindo o habitat e interferindo na fauna nativa, entre outros. Vale mencionar também o impacto sobre a paisagem, dependendo do local onde a usina for implantada. (Tolmasquim, 2016)

Outro ponto importante, diz respeito ao transporte biomassa, que pode gerar impactos sobre as rodovias devido ao intenso tráfego de veículos pesados, tanto na fase de construção, quanto de operação. A circulação de veículos pesados ainda gera a emissão de poluentes atmosféricos, ruídos e aumenta o risco de acidentes com a população e com a fauna. A poluição do ar e a sonora também provocam afugentamento da fauna local. (Tolmasquim, 2016)

Os recursos hídricos da região em que a usina térmica está instalada podem sofrer impactos como, a diminuição da disponibilidade para outros usos ou para a população local. Esse problema esta diretamente relacionado ao tipo de tecnologia de resfriamento adotada pela usina, que pode gerar uma consumo excessivo de água. (Tolmasquim, 2016)

Outro impacto a ser observado é a geração de efluentes líquidos, que nas usinas a biomassa são caracterizados pela água utilizada nos processos e pelo esgoto sanitário. A água

de processo, corresponde às purgas do sistema de resfriamento, arrefecimento e purgas de caldeiras. O descarte da água de processo e esgoto sanitário sem o devido tratamento pode alterar a integridade do solo e da água e, consequentemente, interferir na biota como um todo, especialmente na aquática. (Tolmasquim, 2016)

Em termelétricas a biomassa destacam-se as emissões de material particulado, que diminuem a qualidade do ar, provocando efeitos maléficos na saúde da população local. Atualmente existem tecnologias para controle de emissão de particulados que são capazes de atingem até 99,9% de eficiência, como os Precipitadores eletrostáticos e Filtros de manga. Entretanto, esses equipamentos são caros e não são comumente empregados nas termicas a biomassa. Os equipamentos mais utilizados são os coletores mecânicos e lavadores, que atingem eficiências menores. (Tolmasquim, 2016)

7.4 CARVÃO

O carvão fóssil é a rocha sedimentar combustível, formada a partir de restos vegetais que se encontram em diferentes estados de conservação, tendo sofrido soterramento, seguido de compactação. O carvão fóssil é impropriamente chamado de carvão mineral, já que o carvão mineral tem origem comercial, portanto, não científica, para diferenciar do carvão vegetal.

Segundo os dados da International Energy Agency (IEA), mais de 60% da demanda mundial de carvão é proveniente do setor energético, colocando-o como uma das principais fontes de geração de energia no mundo.

7.4.1 DOMÍNIO DA TECNOLOGIA

Nos ano 2015, o carvão mineral correspondeu por cerca de 3,2% da oferta de eletricidade. Com o provável esgotamento, a médio e a longo prazo, do potencial hidrelétrico no território nacional causado por fortes preções ambientais, o carvão torna-se uma opção importante no mix energético. Porem, para que sua geração seja potencializada, é necessário que sejam desenvolvidas tecnologias de geração térmica a carvão com emissões reduzidas de gases poluentes e particulados a preços mais competitivos. A Tabela 11 mostra as principais usinas térmicas do pais, suas capacidades, fator de potencia, ano de operação inicial e o estado em que estão localizadas.

As termelétricas a carvão no Brasil, com exceção de Candiota Fase C, são antigas e operam com rendimentos6 abaixo de 34%. Caso novas tecnologias fossem adquiridas como caldeiras supercríticas ou IGCC, poderiam proporcionar um rendimento acima de 40% e com menores índices de emissões de gases nocivos ao meio ambiente. Com a adoção de tecnologias de limpeza de gases, pode-se equiparar ou mesmo superar os níveis de emissões que combustíveis mais limpos como o gás natural, produzem. (Tolmasquim, 2016)

Tabela 11 - Centrais termelétricas a carvão mineral em operação no Brasil

Nome	Cpacidade (GW)	UF	Operação Inical	Fator de Capacidade (%)
Porto do Pecém I (Antiga MPX)	0,72	CE	2012/13	77
Presidente Médici A, B	0,446	RS	1974	13
Porto do Pecém II	0,365	CE	2013	91
Jorge Lacerda IV	0,363	SC	1997	76
Porto do Itaqui (Termomaranhão)	0,36	MA	2013	88
Candiota III	0,35	RS	2011	64
Jorge Lacerda III	0,262	SC	1979	58
Jorge Lacerda I e II	0,232	SC	1965	61
Outras	0,112	-	-	-
Brasil	**3,21**	**-**	**-**	**66**

Fonte: **(Tolmasquim, 2016)**

7.4.2 INVESTIMENTO NA IMPLANTAÇÃO.

Como já visto, foram analisados os últimos quatro leilões. Porem, o único leilão em que a fonte carvão mineral foi vendida foi o 20° LEN. A Tabela 12 mostra o valor investido nesse leilão para a fonte em questão.

Tabela 12 - Investimentos nas termelétricas a carvão

Leilão	20°LEN 28/11/2014
Empreendimentos negociados	1
Potência total instalada (MW)	340
Investimento total (R$)	2.058.506.160,00
Investimento médio (R$/MW)	6.054.429,88

Fonte: Próprio Autor

7.4.3 PREÇO DO MWh.

A Tabela 13 apresenta o preço do MWh negociado para fonte a carvão mineral no último leilõe de energia.

Tabela 13 - Preço do MWh das usinas termelétricas a carvão

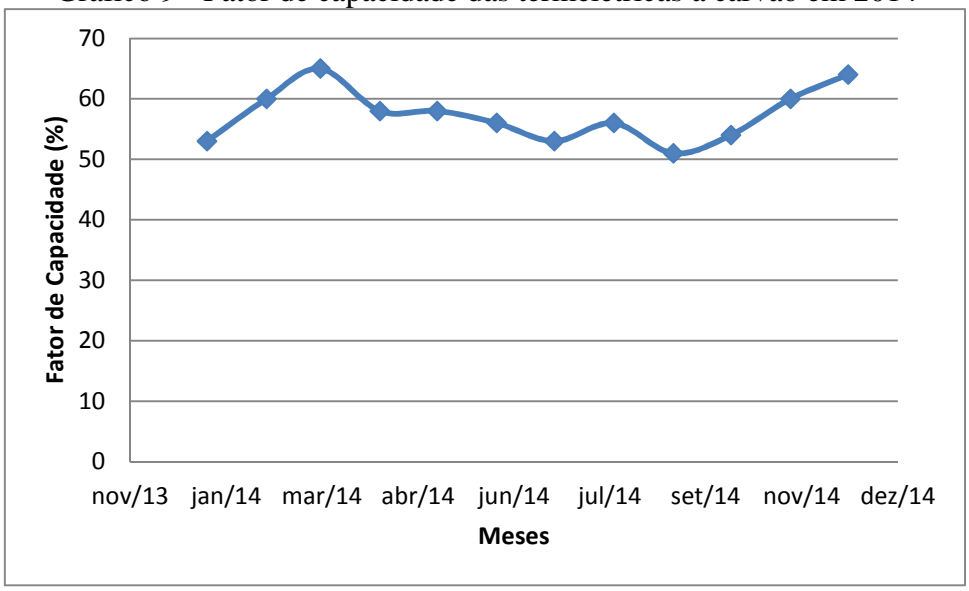
Leilão	20°LEN 28/11/2014
Empreendimentos negociados	1
Menor preço (R$/MWh)	201,98
Maior preço (R$/MWh)	201,98
Preço médio (R$/MWh)	201,98

Fonte: Próprio Autor

7.4.4 FATOR DE CAPACIDADE

Segundo (Tolmasquim, 2016), as interrupções da geração para manutenção programada e corretiva de seus equipamentos influenciam no fator de capacidade máximo, com valores típicos entre 88% e 91% para o parque nacional instalado. Porem os valores do fator de capacidade obtidos durante o ano de 2014, como ilustrado no Gráfico 9, ficaram bem abaixo, com uma média de 57,3%.

Gráfico 9 - Fator de capacidade das termelétricas a carvão em 2014



Fonte: Próprio Autor

7.4.5 IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS

No que diz respeito ao uso e exploração do solo, a implantação de usina termelétrica gera principalmente alteração na paisagem, alteração do utilização do solo e interferência na fauna e flora. Os recursos hídricos são muito importantes para as usinas termelétricas porque, dependendo da tecnologia, pode haver um consumo excessivo de agua durante o resfriamento de partes do processo, o que impacta na disponibilidade hídrica para outros usos. (Tolmasquim, 2016)

Uma das principais preocupações em relação aos impactos da geração termelétrica esta na emissão de poluentes atmosféricos. Para termelétricas a carvão destacam-se as emissões de óxidos de nitrogênio (NOx), óxidos de enxofre (SOx) e material particulado (MP). Essas emissões geram alteração da qualidade do ar, prejudicando a saúde da população local e acidificando a água das chuvas (SOx e NOx). (Tolmasquim, 2016)

A combustão também gera emissão de gases de efeito estufa, principalmente o CO2, contribuindo significativamente para o aumento da concentração desse gás na atmosfera e, consequentemente, para as mudanças climáticas globais. (Tolmasquim, 2016)

Dentre as termelétricas, as usinas a carvão são as que produzem maior quantidade de resíduos sólidos como cinzas leves ou secas, pesadas ou úmidas e lama do sistema de

dessulfurização de gases, quando esse é utilizado. Sedimentos provenientes do sistema de tratamento de efluentes líquidos e eventuais resíduos na preparação carvão compõem os resíduos sólidos em menor escala. Esses resíduos podem causar alteração da qualidade do solo e cursos d'água. (Tolmasquim, 2016)

8 CENÁRIO ATUAL DA ENERGIA NUCLEAR NO MUNDO

8.1 CANADA

A capacidade instalada nuclear do país até 2015 foi de 13.500 MW. As demais fontes são hidráulica, térmica, além de outras fontes como eólica, biomassa, biogás e solar. O Canadá tem um total de 19 usinas, sendo que um total de 17 estão localizadas no estado de Ontário. Todos os reatores utilizados nas usinas nucleares são do tipo PHWR – Pressurized Hevy Water Reactor. A Tabela 14 ilustra os dados citados acima. (Eletronuclear, 2016)

Tabela 14 – Características do setor nuclear do Canadá

País	Usinas em Operação	Capacidade atual (MW)	Usinas em Construção	Capacidade em Construção (MW)	Energia Gerada 2014 (TWH)	% do total Gerado em 2014
Canadá	19	13.500	0	0	100,921	16,8

Fonte: **(Eletronuclear, 2016)**

O Canadá é um dos maiores produtores de urânio no mundo, representando cerca de 22% da produção mundial, até 2009 foi o maior produtor de urânio do mundo, quando perdeu a liderança para a República do Cazaquistão. A produção vem principalmente da mina McArthur River na provincia de Saskatchewan, que é a maior do mundo. (Eletronuclear, 2016)

Com reservas de urânio comprovadas de 572.000 toneladas de U308 (485.000tu), bem como a exploração contínua, o Canadá exerce um papel significativo no futuro suprimento da demanda mundial. (Eletronuclear, 2016)

8.1.1 RESÍDUOS

O Canadá prevê para o futuro, depósitos geológicos profundos - Deep Geologic Repository (DGR), para o armazenamento de resíduos nucleares de baixa e média

radioatividade. Os trabalhos de preparação do solo, construção e operação estão propostos para a região de Tiverton próximo ao sítio da Central Bruce. Este depósito tem como objetivo atender a todas as usinas das centrais de Bruce, Pickering e Darlington. (Eletronuclear, 2016)

Em 2007, o governo Canadense decidiu que seu lixo radioativo seria armazenado em contêineres seguros e guardado em depósitos subterrâneos rochosos para possível uso no futuro. Essas instalações serão um mega projeto com gastos previstos na ordem de 20 bilhões de dólares, ocupando uma área de 10 hectares e galerias de 500 metros de profundidade. (Eletronuclear, 2016)

8.2 ESTADOS UNIDOS

Os Estados Unidos são proprietários do maior parque nuclear do mundo, com 100 usinas em operação onde, 65 reatores são do tipo PWR e 35 são do tipo BWR. Esses reatores estão distribuídos em 61 sítios distintos, que correspondiam a uma capacidade instalada de 99.081 MW e produziram, em 2014, cerca de 797067TWh. Este valor correspondeu a 19,5% da energia do país e aproximadamente 33,5% de toda energia nuclear no mundo em 2014. A Tabela 15 ilustra os dados citados acima. (Eletronuclear, 2016)

Tabela 15 - Características do setor nuclear dos Estados Unidos

País	Usinas em Operação	Capacidade atual (MW)	Usinas em Construção	Capacidade em Construção (MW)	Energia Gerada 2014 (TWH)	% do total Gerado em 2014
EUA	100	99.081	5	5.633	797,067	19,5

Fonte: **(Eletronuclear, 2016)**

Nos últimos anos, a capacidade instala dos Estados Unidos, sofreu um aumento considerável devido a ampliação da capacidade das usinas que chegou a 7.326MW, em 2015. Isso ocorreu mesmo sem que nenhuma usina fosse construída. Para efeito de comparação, esse acréscimo na capacidade das usinas, representa mais de 4 vezes a futura Angra 3 (1.405 MW) em construção no Brasil. Ainda estão pendentes de análise outras 14 solicitações (1.000 MW) e outras 3 poderão acrescentar 180 MW ao sistema até 2017. (Eletronuclear, 2016)

Outro fator de extrema relevância é o aumento de que a vida útil das usinas, que está sendo estendida para 60 anos. Atualmente já são 80 unidades com vida útil ampliada, que equivalem a mais de 70000MW funcionando por mais de 20 anos sem os custos de capital para a construção. A ampliação da vida útil dos reatores acrescentou, nos últimos 10 anos, um

capacidade equivalente a mais de 30 novos reatores grandes operando por 40 anos. (Eletronuclear, 2016)

Até 2020 o governo americano prevê um aumento da participação nuclear de 50MW na sua matriz energética. Isso deve gerar garantias de empréstimos no valor de US$ 54 bilhões, que se seguem ao compromisso assumido pelo presidente Obama que solicitou ao congresso que aprove uma ampla lei sobre geração de energia e mudança climática, com incentivos para que a energia limpa se torne lucrativa. O objetivo do governo é que as emissões de gases causadores do efeito estufa caiam 28% até 2020. (Eletronuclear, 2016)

O acidente de Fukushima não afetou muito o setor nuclear nos EUA. Pesquisas de opinião entre os residentes próximos a centrais indicam que eles continuam muito favoráveis a esta tecnologia (80% aprovam as atividades das centrais). A população americana em geral, aproximadamente 68%, dizem que a segurança das usinas nucleares do país é alta. (Eletronuclear, 2016)

A construção e a pré-construção para novos reatores estão em andamento em 5 sítios, aumentando a capacidade instalada de 101GW em 2010 para 109 GW em 2020. Segundo o presidente da consultoria Lacy Consulting Group as ameaças principais à energia nuclear nos EUA continuam sendo o tempo de construção, os custos de financiamento e o preço muito competitivo do gás, em especial, o gás xisto, mesmo com as restrições ambientais e os danos comprovados ao meio ambiente que esta tecnologia provoca. (Eletronuclear, 2016)

Marvin Fertel, presidente do Nuclear Energt Institute, divulgou estudos que afirmam a não perspectiva de aumento de custos para novas usinas nos Estados Unidos em razão de Fukushima, uma vez que medidas preventivas já haviam trazido consideráveis modificações na segurança para esta industria, motivado pelo ataque terrorista de 11 de setembro de 2001. Essas modificações consistem na construção de barreiras e modificações físicas nas instalações industriais. (Eletronuclear, 2016)

8.2.1 RESÍDUOS

Os Estados Unidos pretendem construir em Yucca Mountain, Nevada, um grande deposito definitivo de rejeitos radioativos de alta atividade, esse deposito armazenaria o lixo produzido por todas as usinas nucleares, submarinos nucleares, porta aviões e de qualquer instalação civil ou militar com reatores nucleares. Porem, esse projeto foi abandonado pela NRC devido a gastos de mais de 9 bilhões de dólares. Segundo a NRC, os resíduos podem ser

armazenados no próprio sítio das centrais por pelo menos mais 60 anos após o termino da vida útil da usina. (Eletronuclear, 2016)

8.3 FRANÇA

A França possui 58 usinas nicleares em operação, que estão distribuídas em 19 sítios diferentes. Essas usinas foram capazes de gerar, no ano de 2014, um total de 415.93 TWh líquidos, representando 76,93% da energia elétrica total do país nesse mesmo ano. A Tabela 16 ilustra os dados citados acima e a Figura10 mostra o mapa das instalações nucleares francesas.

Tabela 16 - Características do setor nuclear da França

País	Usinas em Operação	Capacidade atual (MW)	Usinas em Construção	Capacidade em Construção (MW)	Energia Gerada 2014 (TWH)	% do total Gerado em 2014
França	58	63.560	1	1.720	415,9	76,93

Fonte: (Eletronuclear, 2016)

Figura 10 - Mapa das instalações nucleares francesas

Fonte: (Eletronuclear, 2016)

Entre as 58 usinas francesas, 35 são da classe 900MW-PWR para as quais o regulador nacional do país ASN declarou que pode ser estendido o tempo de vida útil em mais 10 anos,

mediante rigorosa revisão. Isso significa que as usinas francesas terão uma previsão de operação de 40 anos. Tricastin-1 (915-Mw, PWR) foi o primeiro reator revisado e autorizado para que sua operação dure mais 10 anos. (Eletronuclear, 2016)

A França produz a energia mais barata da Europa, seu valor consegue ser a metade do valor da energia alemã. Sua emissão de CO2 também é a mais baixa da Europa, se mantendo na faixa de 70 e 80 gramas por KWh enquanto no resto da Europa esse valor fica em 350g de CO2/KWh. (Eletronuclear, 2016)

Segundo o operador do sistema francês, a França pode ter problemas de fornecimento de energia em momentos de picos de carga caso suas usinas não tenham sua vida útil ampliada, visto que seu parque gerador esta envelhecendo. Até 2022, 22 reatores sairão de operação por conta do seu envelhecimento e a França tem poucas opções para a geração de eletricidade que não sejam a ampliação de vida de suas usinas. (Eletronuclear, 2016)

Ségolène Royal, ministra de energia da França, declarou em 2015 que "uma construção de uma economia de baixo carbono, a energia nuclear é um trunfo e que o país deve pensar na aplicação da mesma no contexto de uma mistura inteligente de energia". Esse comentário a primeira posição oficial de um membro do governo em favor a de novos reatores de energia. (Eletronuclear, 2016)

Após o acidente de Fukushima, vários testes foram realizados para testar a eficiência do sistema de segurança das usinas nucleares. As margens de segurança para catástrofes naturais como terremotos, enchentes e perdas simultâneas de refrigeração foram verificadas e se mostraram bem eficientes. Porem mesmo após todos esses testes o operador do sistema apresentou um plano suplementar de melhorias. (Eletronuclear, 2016)

8.3.1 RESÍDUOS

A França reprocessa todo o seu combustível usado e reutiliza parte do combustível resultante em ouros reatores, além de ter também dois depósitos de rejeitos radioativos subterrâneos e laboratórios que estudam formas bem mais eficazes de armazenar rejeitos. A França é o único país europeu que ainda opera com usinas em ciclo fechado, operando com reatores de nêutrons rápidos e tecnologia de processamento avançado. (Eletronuclear, 2016)

8.4 JAPÃO

O país, como um todo, depende de fonte externas de energia primária em 96%. O Japão, detém 43 reatores com capacidade de 40.290 MW, em plena condição de operação. Nenhuma usina gerou energia no ano de 2014 pois, após o desastre de 2011 todas as instalações nucleares começaram a passar por testes de estress por toda sua estrutura. Caso as instalações passem por esses testes, será necessário ainda uma aprovação das prefeituras locais para o retorna da operação dos reatores. Certamente esse será um processo longo. A Tabela17 ilustra os dados citados. (Eletronuclear, 2016)

Essas medidas podem explicar porque o Japão sofre, pela primeira vez nos últimos anos, um déficit comercial. Essas medidas tomadas pelo governo japonês, só piora o alto nível de endividamento que sem duvida, levara a um reinicio das usinas nucleares.

Tabela 17 - Características do setor nuclear do Japão

País	Usinas em Operação	Capacidade atual (MW)	Usinas em Construção	Capacidade em Construção (MW)	Energia Gerada 2014 (TWH)	% do total Gerado em 2014
Japão	43	40.290	2	2.650	0	0

Fonte: (Eletronuclear, 2016)

O governo japonês está tentando desenvolver uma programa de energia que englobe vários tipos de fontes de energia na sua matriz energética. Esse programa deve ser concluído até 2030 e tem como objetivo 3 senário possíveis, onde a energia nuclear pode representar 0, 20 ou 25% da matriz energética japonesa. (Eletronuclear, 2016)

Estimativas feitas considerando a utilização de 20% de energia eólica na triz japonesa mostram que, a área que esses aero geradores ocupará, seria o equivalente a área de ilha de Kyushu (uma das 4 ilhas principais do Japão, com uma área de 42.191 Km²). O que causaria uma reação da população chamada de NMB – Not in My Beackyard – não no meu quintal, devido a alta densidade populacional e, com isso podendo gerar um desconforto da população perante essa tecnologia. (Eletronuclear, 2016)

Como consequência da paralização das usinas nucleares o Japão foi forçado no ano de 2012, a importar combustíveis como óleos, gás e carvão para geração elétrica, o que gerou um custo de 55 bilhões de dólares por ano e aumentou a liberação de gases do efeito estufa em

cerca de 1,2 gigatoneladas/ano como consequência direta ao desligamento das usinas nucleares. (Eletronuclear, 2016)

8.4.1 RESÍDUOS

O Japão reprocessa seus resíduos na França e na Inglaterra, mas está construindo sua própria central de reprocessamento comercial. A operação e testes dessa usina foi iniciada em 2006 e estava prevista para entrar em operação em 2009 porem foi adiada. Essa usina teria a capacidade de reprocessar 800 toneladas de urânio irradiado e produzir 4 toneladas de plutônio que com junto com mais urânio seria convertido em MOX para as usinas nucleares no país. (Eletronuclear, 2016)

O Japão não possui urânio em seu território. Hoje sua maior fonte de energia é o plutônio resultante do reprocessamento do resíduo nuclear das usinas existentes, estocadas desde 1999. Este tipo de reciclagem aumenta o rendimento das usinas e valoriza ao máximo, o urânio que é importado. (Eletronuclear, 2016)

8.6 COREA DO SUL

A Coréia do Sul possui 25 reatores em operação que proporcionam uma potencia instalada de 23.040MW. No ano de 2014 as usinas coreanos produziram 149,199TWh, isso representou cerca de 30,42% de toda energia consumida no país. As 3 usinas em construção representam um acrecimo de 4.200MW na matriz coreana. No futuro o país pretende aumentar a sua capacidade nuclear e atingir 37GW em 2030. A Tabela18 ilustra os dados citados acima. (Eletronuclear, 2016)

Tabela 18 - Características do setor nuclear da Coréia do Sul

País	Usinas em Operação	Capacidade atual (MW)	Usinas em Construção	Capacidade em Construção (MW)	Energia Gerada 2014 (TWH)	% do total Gerado em 2014
Coréia do Sul	25	23.040	3	6.370	149,165	30,42

Fonte: (Eletronuclear, 2016)

A politica energética do país privilegia as fontes nucleares de energia devido sua confiabilidade, segurança no suprimento de energia. Essa preferencia pela energia nuclear

existe pois, a Coréia do Sul não é detentora de grandes fontes energética em seu território. A atividade de pesquisa na Coréia atua na produção própria do combustível nuclear, mesmo não tendo enriquecimento de urânio em seu território e no gerenciamento de resíduos nucleares utilizando a própria tecnologia. (Eletronuclear, 2016)

8.6.1 RESÍDUOS

A Coréia do Sul ainda não tomou uma decisão sobre o que fazer com os resíduos radioativos produzidos no país, um reprocessamento é possível desde que seja negociado com os Estados Unidos pois, segundo acordo internacional, deve ser consultado. (Eletronuclear, 2016)

O desenvolvimento de uma tecnologia que não gera plutônio no seu processamento, chamada de “pyroprocessing”, esta em desenvolvimento e acredita-se que será a solução para a reutilização do combustível nuclear. A implantação deve ser tomada logo visto que os depósitos de combustível nuclear estarão completos até o final de 2016. (Eletronuclear, 2016)

9 COMCLUSÃO

Através da abordagem elaborada sobe o tema da energia nuclear no Brasil, foi possível constatar que, este fonte de energia tem um grande potencial de ser a principal entre as fontes térmicas na matriz energética brasileira. Verificou-se, também, que a prevalência da participação “hidráulica” na matriz brasileira, se mostra limitada em longo prazo devido as fortes pressões ecológicas e a falta de locais favoráveis para se implantar grandes usinas hidroelétricas.

O Brasil tem um grande potencial na área de energia nuclear, pois, possui a quarta maior reserva de urânio, domina todas as etapas de enriquecimento de urânio, não é atingido por grandes desastres naturais como maremotos e terremotos e possui mão de obra nacional de alto gral de especialização. O principal fator que impede a proliferação das usinas nucleares no Brasil é a falta de investimentos do governo que, garantido pela constituição, tem o monopólio total de todas as etapas deste setor. Assim como as hidroelétricas podem sofrer investimentos do setor privado através de emendas constitucionais, as termonucleares também poderiam sofrer investimentos do setor privado. Isso garantiria uma maior propagação desta tecnologia, proporcionaria um grande avanço tecnológico para a nação, diminuiria o preconceito que existe na população e reforçaria categoricamente a segurança energética nacional.

Sem duvida, a catástrofe que ocorreu em Fukushima comoveu o mundo e colocou em duvida a segurança das usinas nucleares porem, quando se estuda a fundo os motivos e consequências desta catástrofe nota-se que as usinas nucleares são extremamente seguram visto que, diante da grande tragédia causada pelo tsunami, nenhum funcionário das usinas afetadas morreu e, como visto neste trabalho, o acidente nas usinas só ocorreu pois a construção não previa uma tsunami daquela magnitude.

Pode-se concluir que as termonucleares são vantajosas para o Brasil devido à junção de mão de obra qualificada, jazidas e tecnologia. Deveria ser umas das tecnologia mais explorada pelo governo brasileiro, o que geraria centenas de empregos direto e indireto e principalmente um grande avanço tecnológico nesta área. Com tudo, não se pode deixar de investir em fontes renováveis como, eólica, solar e biomassa, devido sua importância no avanço tecnológico e no aproveitamento de todos os tipos fontes de energia presentes no Brasil.

Com essas constatações, pode-se considerar que o objetivo proposto neste trabalho foi atingido. A avaliação criteriosa da energia nuclear no país, elaborada pela metodologia

proposta, verificou-se congruente, assim como o recurso de comparação com outras fontes mais conhecidas e aceitas. É possível afirmar, o estudo mostrou-se eficiente em conduzir a tomada de decisão no campo da geração de energia, em sistemas nucleares atualmente, no Brasil.

10 BIBLIOGRAFIA

A CRISE DE GOVERNANCA DO SETOR ELETRICO BRASILEIRO PERSPECTIVAS E SOLUCOES. [s. L.]: Arnaldo Feitosa, 11 dez. 2015. Disponível em: </a-crise-de-governanca-do-setor-eletrico-brasileiro-perspectivas-e-solucoes>. Acesso em: 11 nov. 2016.

ABIDES - Associação Brasileira de Integração e Desenvolvimento. **O destino dos rejeitos radioativos.** 2010. Disponível em: <http://abides.org.br/nucleo/?p=16>. Acesso em: 29 set. 2016

AUSTRIA. IAEA - INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. . **International Atomic Energy Agency.** Disponível em: <http://www-ns.iaea.org/tech-areas/emergency/ines.asp>. Acesso em: 12 out. 2016.

Barre, B., Bauquis, P.R., 2007. Nuclear Power: Understanding the Future. Hirlé editions

BRASIL. ELETRONUCLEAR. . **Angra 1.** 2015. Disponível em: <http://www.eletronuclear.gov.br/>. Acesso em: 6 ago. 2016.

BRASIL. ELETRONUCLEAR. . **Panorama da Energia Nuclear no Mundo.**2016. ed. Brasilia: Eletronuclear, 2016. 207 p. Disponível em: <http://www.eletronuclear.gov.br/LinkClick.aspx?fileticket=SG_9CnL80wM=&tabid=406>. Acesso em: 25 set. 2016.

BRASILIA. ANELL - Agencia Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil.** 2008. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas3ed.pdf>. Acesso em: 15 set. 2016.

CICLO do Urânio. Produção de Inb - Indústrias Nucleares do Brasil. Rio de Janeiro: Inb, 2014. Color.

COSTA, Machado da (Ed.). Usina nuclear de Angra 3 procura verba e saídas para destravar obra. **Folha de São Paulo: Mercado.** São Paulo, p. 2-4. 01 jan. 2016. Disponível em: <http://www1.folha.uol.com.br/mercado/2016/01/1724879-usina-nuclear-angra-3-procura-verba-e-saidas-para-destravar-obra.shtml>. Acesso em: 23 jul. 2016.

DOS REIS, L. B. **Geração de Energia Elétrica.** 2. ed. rev. aum. Barueri, SP: Manole, 2011.

Edmundo Montalvão (Ed.). **ENERGIA NUCLEAR:** RISCO OU OPORTUNIDADE?. 108. ed. Brasília: Senado Federal, 2012. 19 p. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/publicacoes/estudos-legislativos/tipos-de-estudos/textos-para-discussao/td-108-energia-nuclear-risco-ou-oportunidade>. Acesso em: 07 jun. 2016.

ENRIQUECIMENTO DE URÂNIO NO BRASIL: Desenvolvimento da tecnologia por Ultracentrifugação. Rio de Janeiro: Ministério da Defesa, v. 20, 2011.

ESPANHA. CSN - CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR. . **El almazenamiento temporal a largo plazo de los residuos radiactivos: seguridad y sostenibilidad.** 2008. Disponível em: <https://www.csn.es/home>. Acesso em: 25 ago. 20016.

GARCIA, Gabriel (Ed.). Brasil enfrenta a pior crise energética da história. **O Globo.** Rio de Janeiro, 21 jan. 2015. p. 1-2. Disponível em: <http://noblat.oglobo.globo.com/geral/noticia/2015/01/brasil-enfrenta-pior-crise-energetica-da-historia.html>. Acesso em: 01 jul. 2016.

GUIMARÃES, Leonam dos Santos. **ENERGIA NUCLEAR NO BRASIL:**Vale a pena ter mais. Rio de Janeiro: Eletronuclear, 2011.

KURAMOTO, Renato Yoichi Ribeiro; APPOLONI, Carlos Roberto. **MA BREVE HISTÓRIA DA POLÍTICA NUCLEAR.** 2000. 14 f. Monografia (Especialização) - Curso de Física, Departamento de Física, Universidade Federal de Londrina, Londrina, 2000. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6612/6104>. Acesso em: 15 out. 2016.

LIRA, Júlio César Lima (Ed.). **Escala Internacional de Acidentes Nucleares.** Disponível em: <http://www.infoescola.com/radioatividade/escala-internacional-de-acidentes-nucleares/>. Acesso em: 26 jul. 2016.

Ministério de Minas e Energia. **Boletim Mensal de Monitoramento do sistema elétrico Brasileiro:** Janeiro - 2015. Brasília: Departamento de Monitoramento do Sistema Elétrico, 2015. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/10584/1256627/--+Boletim+de+ Monitoramento+do+Sistema+Elétrico+-+Janeiro-2015_/b6795ba5-2d05-4a27-aafe-cd671b963761>. Acesso em: 14 ago. 2016.

Ministério de Minas e Energia. **Boletim Mensal de Monitoramento do sistema elétrico Brasileiro:** Junho - 2016. Brasília: Departamento de Monitoramento do Sistema Elétrico, 2016. Disponível em: < http://www.mme.gov.br/documents/10584/3308684/Boletim+de+Monitoramento+do+Sistema+El%EF%BF%BDtrico+-+Junho-2016.pdf/792197a0-fa62-4108-99f3-282f4ebe0b96 >. Acesso em: 21 ago. 2016

Ministério de Minas e Energia. **Boletim Mensal de Monitoramento do sistema elétrico Brasileiro:** Fevereiro - 2014. Brasília: Departamento de Monitoramento do Sistema Elétrico, 2014. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/10584/1833441/Boletim_de_Monitoramento_do_Sistema_Elxtrico_-_Fevereiro-2014.pdf/78226b10-8568-4c58-9e9b-c1d02666b97c>. Acesso em: 28 ago. 2016.

Ministério de Minas e Energia. **Boletim Mensal de Monitoramento do sistema elétrico Brasileiro:** Setembro - 2016. Brasília: Departamento de Monitoramento do Sistema Elétrico, 2016. Disponível em: < http://www.mme.gov.br/documents/10584/3308684/Boletim+de+Monitoramento+do+Sistema+El%EF%BF%BDtrico+-+Setembro-2016.pdf/8b923e4c-5816-46d5-9bb1-e34099aa5258 >. Acesso em: 19 ago. 2016.

MRS ESTUDOS AMBIENTAIS LTDA (Ed.). **Relatório de Impacto Ambiental da Unidade 3 da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto.** Porto Alegre: Mrs Estudos Ambientais Ltda, 2004. Disponível em:

<http://memoria.cnen.gov.br/manut/ImprimeCrono.asp?Ano=2006&seq=1&unidade=CNEN>. Acesso em: 05 out. 2016.

NUCLEAR REGULATORY COMMISSION. **Radioactive Waste:**Production, Storage, Disposal. Estados Unidos: Nuclear Regulatory Commission, 2002. 40 p. Disponível em: <http://www.nrc.gov/docs/ML1512/ML15127A029.pdf>. Acesso em: 04 nov. 2016.

PERROTTA, José Augusto. **Curso de introdução à engenharia do núcleo de reatores.** 1999. 73 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 1999. Disponível em: <https://www.ipen.br/portal_por/conteudo/posgraduacao/arquivos/200906040956360-apperrotta.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2016.

PINTO, Tales dos Santos. "O apagão energético de 2001"; *Brasil Escola*. Disponível em <http://brasilescola.uol.com.br/historiab/apagao.htm>. Acesso em 30 de novembro de 2016.

SANTOS, Ricardo Luís Pereira dos. **A ENERGIA NUCLEAR NO SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO.** 2014. 168 f. Tese (Doutorado) - Curso de Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <http://www.ppe.ufrj.br/ppe/production/tesis/luis_pereira.pdf>. Acesso em: 16 abr. 2016.

SILVA, ThomÁs de Matos da. **PERSPECTIVAS DA GERAÇÃO EÓLICA NO BRASIL FACE AOS INVESTIMENTOS INSTITUCIONAIS:** ASPECTOS TÉCNICOS, SOCIOECONÔMICOS E AMBIENTAIS. 2015. 132 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2015.

TOLMASQUIM, M. T. **Fontes Renováveis de Energia no Brasil.** 1. Ed. Rio de Janeiro, RJ: Interciência, 2003.

TOLMASQUIM, Mauricio T.. **Energia Termelétrica:** Gás Natural, Biomassa, Carvão, Nuclear. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética, 2016. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/Documents/Energia Termelétrica - Online 13maio2016.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2016.

URÂNIO NO BRASIL: geologia, jazidas e ocorrências. Rio de Janeiro: Eletronuclear, 2013. Disponível em: <http://www.academia.edu/7828249/Urânio_no_Brasil_Geologia_Jazidas_e_Ocorrências>. Acesso em: 22 set. 2016.

ANEXO A – DADOS TÉCNICOS DAS USINAS NUCLEARES BRASILEIRAS.

A.1 ANGRA1

.

Tabela 19 - Dados técnico de Angra1.

SITUAÇÃO ATUAL / *CURRENT STATUS*	EM OPERAÇÃO / *IN OPERATION*
1. GERAL / *GENERAL*	
NOME DA USINA / *STATION NAME*	ANGRA 1
REGIÃO / *REGION*	ANGRA DOS REIS
ESTADO / *STATE*	RIO DE JANEIRO
COORDENADAS / *COORDINATES*	
LATITUDE(Graus, Min., Seg.) / *LATITUDE (Deg., Min., Sec.)*	23º 00’ 30" ” SUL
LONGITUDE (Graus, Min., Seg.) / *LONGIT. (Deg., Min., Sec.)*	44º 28’ 26” OESTE
TIPO DE REATOR / *TYPE OF REACTOR*	ÁGUA PRESSURIZADA / PWR
FORNECEDOR DO SISTEMA / *REACTOR SYSTEM SUPPLIER*	WESTINGHOUSE
PROPRIETÁRIO / *OWNER*	ELETROBRAS ELETRONUCLEAR
OPERADOR / *OPERATOR*	ELETROBRAS ELETRONUCLEAR
2. POTÊNCIA DO REATOR / *OUTPUT PERREACTOR UNIT*	
TÉRMICA / *NUCLEAR THERMAL(NSSS: 1876+6)*	NOMINAL / *CURRENT*: 1.882 MWt
ELÉTRICA (BRUTA) / *GROSS ELECTRICAL (*)*	NOMINAL / *CURRENT*: 640 MWe

ELÉTRICA (LÍQUIDA) / *NET ELECTRICAL (*)*	NOMINAL / *CURRENT*: 609 MWe
FAIXA OPERACIONAL CONTÍNUA / CONTINUOUS OPERATIONAL RANGE	80% -100%
RENDIMENTO TÉRMICO / *THERMAL EFFICIENCY*	34.2 % (Temp. água do mar 27˚C)
3. CARACTERÍSTICAS DO NÚCLEO DO REATOR /REACTOR CORE CHARACTERISTICS	
MATERIAL COMBUSTÍVEL / *FUEL MATERIAL*	URÂNIO ENRIQUECIDO-UO^2 / ENRICHED URANIUM
N^O. DE ELEMENTOS COMBUSTÍVEIS /*NUMBER OF FUEL ELEMENTS*	121
QUANTIDADE DE VARETAS COMBUSTÍVEISPOR ELEMENTO COMBUSTÍVEL / *NUMBER OF FUEL RODS PER ASSEMBLY*	235
ENRIQUECIMENTO INICIAL DO COMBUSTÍVEL (MÉDIA) / INITIAL FUEL ENRICHMENT (MEAN)	2.6 (WT%)
ENRIQUECIMENTO DO COMBUSTÍVEL NO RECARREGAMENTO / AVERAGE RELOAD FUEL ENRICHMENT	4.0 (WT%) (ATUAL/PRESENT)
MATERIAL DO REVESTIMENTO / *CLADDING MATERIAL*	ZIRLO™
ESPESSURA / *THICKNESS*	0.535 mm
INVENTÁRIO DE URÂNIO / *FUEL LOADING*	49,5 t U
DENSIDADE MÉDIA DE POTÊNCIA DOCOMBUSTÍVEL/ *MEAN POWER DENSITY INFUEL*	37,9 (kW/kg U)
DENSIDADE MÉDIA DE POTÊNCIA DO NÚCLEODO REATOR / *MEAN POWER DENSITY IN CORE*	106,25 (W/cm^3)
POTÊNCIA LINEAR MÉDIA NOMINAL DASVARETAS / *MEAN LINEAR POWER DENSITY*	17.6 (kW/m)

IRRADIAÇÃO FINAL / *DISCHARGE BURN-UP*	55.000 (MWd/t) (MÁXIMA média)
4. MÉTODO DE CARREGAMENTO / *METHOD OF REFUELING:*	
FREQUÊNCIA DE CARREGAMENTO (PROJETO) / DESIGN FREQUENCY OF REFUELING	APROX. 12 MESES/ *APROX. 12 MONTHS*
PARTES DO NÚCLEO RETIRADAS / *PARTS OFCORE WITHDRAWN* (Elem. Combustíveis / Fuel Rods)	APROX. 33%
MEIOS DE CONTROLE DE RADIOATIVIDADE / *MEANS OF REACTIVITY CONTROL*	CONTROL, BURNABLE POISON=BORO SILICATO, CHEMICAL SYSTEM
BARRAS DE CONTROLE / *CONTROL BARS*	33
5. SISTEMAS DA USINA / *PLANT SYSTEMS*	
VASO DO REATOR (MATERIAL BÁSICO) /*REACTOR VESSEL (BASIC MATERIAL)*	SA 533 GRAU A CLASSE 2, SA 508 CLASSE 2
MATERIAL DO REVESTIMENTO / *CLADDING MATERIAL*	AISI 304 / INCONEL
DESCRIÇÃO DO SISTEMA PRIMÁRIO /*PRIMARY SYSTEM DESCRIPTION*	2 "LOOPS'
NO. DE BOMBAS DO PRIMÁRIO / *Nr. OF PRIMARY PUMPS*	2
PRESSÃO DO PRIMÁRIO / *PRIMARY PRESSURE*	157.1 (kg/cm^2)
REFRIGERANTE / *COOLANT*	H2O
VAZÃO ATRAVÉS DO NÚCLEO / *MASS FLOW THROUGH CORE*	35.958 (t/h)
TEMPERATURA MÉDIA / OUTLET TEMPERATURY (*AVERAGE).*	302.7 (^oC)

6. GERADOR DE VAPOR / *STEAM GENERATOR*	2
TIPO / *TYPE* (Substituição concluída em Junho de 2009) / (*Substitution concluded in June 2009)*	VERTICAL, TUBOS EM "U" COM ANEL DE ALIMENTAÇÃO / *vertical "U" - tube with feed-ring*
FABRICANTE / *MANUFACTURER*	AREVA (NUCLEP)
MODELO / *MODEL*	SG 72W / D3
MATERIAL	SA-508 GRAU 3 CLASSE 2
TUBOS / *TUBES*	INCONEL 690 TT
7. TURBINAS: / *TURBINES*	1
ESTÁGIOS / *RATING*	1AP, 2BP / *1 HP, 2 LP*
RPM	1.800
8. CONDIÇÕES DO VAPOR NA ENTRADA DATURBINA / *STEAM CONDITIONS AT TURBINE INLET*	
TEMPERATURA / *TEMPERATURE*	315 (^{o}C)
PRESSÃO / *PRESSURE*	80 (kg/cm^2)
UMIDADE / *MOISTURE CONTENT*	0.1 (%)
VAZÃO / *FLOW*	3.704 (t/h)
9. TIPO DE REFRIGERAÇÃO DO CONDENSADOR / TYPE OF CONDENSER COOLING	*SEAWATER COOLING*
VAZÃO NA CAPTAÇÃO / *SEAWATER FLOW*	38,53 (m^3/s)
MATERIAL /*MATERIAL*	ASTM A-285 C
TUBOS / *TUBES*	TITANIO / *TITANIUM – (ASME B-338 GR. 02*)
10. CONTENÇÃO DO SISTEMA DO REATOR:/*REACTOR SYSTEM CONTAINMENT*	ENVOLTÓRIO DE CONTENÇÃO DE AÇO C/ ENVOLTÓRIO ADICIONAL DE CONCRETO /*steel containment vessel with reinforced concrete shield*

MATERIAL / *MATERIAL*	ASTM A516 GR. 70
13. GERADOR ELÉTRICO / *ELECTRIC GENERATOR*	1
FABRICANTE / *MANUFACTURER*	WESTINGHOUSE / SIEMENS
TIPO / *TYPE*:	HORIZONTAL, RESFRIADO A H2/*HORIZONTAL, H2 COOLED*
POTÊNCIA (A 75 psig H2) / *POWER (AT* 75 psig H2)	760 MVA
TENSÃO DE SAÍDA / *OUTLET TENSION*	19 kV
NÚMERO DE FASES / *NUMBER OF PHASES*	3
FREQUÊNCIA / *FREQUENCY*	60 Hz
FATOR DE POTÊNCIA / *POWER FACTOR*	0.9
CLASSE DE ISOLAMENTO / *INSULATION CLASS*	B
RPM	1.800
11. GERADOR DIESEL DE EMERGÊNCIA /*EMERGENCY DIESEL GENERATOR*	
DG-1A / DG-1B (Originais)	2 UNIDADES / *2 UNITS*
FABRICANTE / *MANUFACTURER*	*FAIRBANKS MORSE (COLT INDUSTRIES)*
POTÊNCIA NOMINAL P/ CADA ONJUNTO /*NOMINAL POWER (EACH SET)*	2.850 kW - 4.063 kVA
FATOR DE POTÊNCIA / *POWER FACTOR*	1 - 0.8
FREQUENCIA / *FREQUENCY*	60Hz
RPM	900
DG-3 / DG-4 (Transferidos de Angra 2)	2 UNIDADES / *2 UNITS*
FABRICANTE / *MANUFACTURER*	KHD / SIEMENS
POTÊNCIA NOMINAL P/ CADA CONJUNTO / *NOMINAL POWER (EACH SET)*	5.400 kW - 6.600 kVA
FATOR DE POTÊNCIA / *POWER FACTOR*	1 - 0.8
FREQUENCIA / *FREQUENCY*	60Hz

RPM	900

Fonte: **(Eletrobras, 2015)**

A.2 ANGRA2

Tabela 20 - Dados técnico de Angra2

SITUAÇÃO ATUAL / *CURRENT STATUS*	EM OPERAÇÃO / *IN OPERATION*
1. GERAL / *GENERAL*	
NOME DA USINA / *STATION NAME*	ANGRA 2
REGIÃO / *REGION*	ANGRA DOS REIS
ESTADO / *STATE*	RIO DE JANEIRO
COORDENADAS GEOGRÁFICAS / *GEOGRAPHIC COORDINATES*	LATITUDE -23o 00’ 30 ” SUL LONGITUDE -44o 28’ 26” OESTE
TIPO DE REATOR / *TYPE OF REACTOR*	ÁGUA PRESSURIZADA / PWR
FORNECEDOR DO SISTEMA / *REACTOR SYSTEM SUPPLIER*	SIEMENS/KWU
PROPRIETÁRIO / *OWNER*	ELETROBRAS ELETRONUCLEAR
OPERADOR / *OPERATOR*	ELETRONUCLEAR
2. POTÊNCIA DO REATOR / *OUTPUT PERREACTOR UNIT*	
TÉRMICA / *NUCLEAR THERMAL*	NOMINAL / *CURRENT*: 3.771 MWt
ELÉTRICA (BRUTA) / *GROSS ELECTRICAL*	NOMINAL / *CURRENT*: 1.350 MWe
ELÉTRICA (LÍQUIDA) / *NET ELECTRICAL*	NOMINAL / *CURRENT*: 1.280 MWe
FAIXA OPERACIONAL CONTÍNUA / CONTINUOUS OPERATIONAL RANGE	80% -100%
RENDIMENTO TÉRMICO / *THERMAL YELD*	35.8 % (Temp. água do mar 27˚C)
3. CARACTERÍSTICAS DO NÚCLEO DO REATOR /REACTOR CORE CHARACTERISTICS	

MATERIAL COMBUSTÍVEL / *FUEL MATERIAL*	URÂNIO ENRIQUECIDO / ENRICHED URANIUM -UO2
NO. DE ELEMENTOS COMBUSTÍVEIS / *Nr. OF FUEL ELEMENTS*	193
QUANTIDADE DE VARETAS COMBUSTÍVEIS POR ELEMENTO COMBUSTÍVEL / *Nr. OF FUEL RODS PER ASSEMBLY*	236
ENRIQUECIMENTO INICIAL DO COMBUSTÍVEL / INITIAL FUEL ENRICHMENT	Regiões: 1 (69EC-1.9%); 2 (68EC-2.5%); 3 (60EC-3.2%)
CARREGAMENTOS / *AVERAGE RELOAD FUEL ENRICHMENT*	3.6 % (INICIAL -2P1); 4.0 % (ATUAL -2P6)
MATERIAL DO REVESTIMENTO / *CLADDING MATERIAL*	ZIRCALOY 4 (Zr)
ESPESSURA / *THICKNESS*	0.72 mm
INVENTÁRIO DE URÂNIO / *FUEL LOADING*	103 t U
DENSIDADE MÉDIA DE POTÊNCIA DOCOMBUSTÍVEL/ *MEAN POWER DENSITY IN FUEL*	36.4 (kW/kg U)
DENSIDADE MÉDIA DE POTÊNCIA DO NÚCLEODO REATOR / *MEAN POWER DENSITY IN CORE*	93.2 (kW/l)
POTÊNCIA LINEAR MÉDIA NOMINAL DASVARETAS / *MEAN LINEAR POWER DENSITY*	20.7 (kW/m)
IRRADIAÇÃO FINAL / *DISCHARGE BURN-UP*	50.000 (MWd/t) (MÁXIMA)
4. MÉTODO DE CARREGAMENTO / *METHOD OF REFUELING:*	
FREQUÊNCIA DE CARREGAMENTO (PROJETO) / DESIGN FREQUENCY OF REFUELING	APROX. 13 MESES/ *APROX. 13 MONTHS*
PARTES DO NÚCLEO RETIRADAS / *PARTS OFCORE WITHDRAWN* (E. Combustíveis / Fuel Rods)	APROX. 33%

MEIOS DE CONTROLE DE RADIOATIVIDADE /*MEANS OF REACTIVITY CONTROL*	CR, BP (Gd), CS1
No. BARRAS DE CONTROLE / *CONTROL BARS Nr*	61
5. SISTEMAS DA USINA / *PLANT SYSTEMS*	
VASO DO REATOR (MATERIAL BÁSICO) /*REACTOR VESSEL (BASIC MATERIAL)*	20 Mn Mo Ni 55
MATERIAL DO REVESTIMENTO / *CLADDING MATERIAL*	DIN 1.4550 (AISI 316L)
DESCRIÇÃO DO SISTEMA PRIMÁRIO / *PRIMARY SYSTEM DESCRIPTION*	4 “LOOPS” (4 *LOOPS*)
NO. DE BOMBAS DO PRIMÁRIO (BRR) / *Nr. OF PUMPS OF THE PRIMARY SYSTEM*	4
PRESSÃO DO PRIMÁRIO / *PRIM. SYS. PRESSURE*	157.0 (kg/cm2)
REFRIGERANTE / *COOLANT*	H2O
VAZÃO ATRAVÉS DO NÚCLEO / *MASS FLOW THROUGH CORE*	67.680 (t/h)
TEMPERATURA MÉDIA / *AVERAGE TEMP.*	308,6 (oC)
6. GERADOR DE VAPOR / *STEAM GENERATOR*	4
TIPO / *TYPE*	VERTICAL, TUBOS EM “U” COMREAQUECEDOR E SEPARADOR DE UMIDADE / vertical u -tubes w/integral moisture separator reheater
FABRICANTE / *MANUFACTURER*	SIEMENS
MATERIAL / *MATERIAL*	20 Mn Mo Ni 55
TUBOS / *TUBES*	INCOLOY 800
7. TURBINAS: / *TURBINES*	1
FABRICANTE / *MANUFACTURER*	SIEMENS
ESTÁGIOS / *RATING*	1AP, 3BP / *1 HP, 3 LP*

RPM	1.800
8. CONDIÇÕES DO VAPOR NA ENTRADA DA TURBINA / *STEAM CONDITIONS AT TURBINE INLET*	
TEMPERATURA / *TEMPERATURE*	280 (oC)
PRESSÃO / *PRESSURE*	64.2 (kg/cm2)
UMIDADE / *MOISTURE CONTENT*	0.25 (%)
VAZÃO / *FLOW*	7.398 (t/h)
9. TIPO DE REFRIGERAÇÃO DO CONDENSADOR / TYPE OF CONDENSER COOLING	ÁGUA DO MAR / *SEAWATER COOLING*
VAZÃO NA CAPTAÇÃO / *SEAWATER FLOW*	74.4 (m3/s)
MATERIAL /*MATERIAL*	ASTM A-36
TUBOS / *TUBES*	TITANIO / *TITANIUM* – (TIPO II)
10. CONTENÇÃO DO SISTEMA DO REATOR:/ *REACTOR SYSTEM CONTAINMENT*	VASO DE CONTENÇÃO DE AÇO C/ ENVOLTÓRIO ADICIONAL DE CONCRETO / *steel containment vessel with reinforced concrete shield*
MATERIAL / *MATERIAL*	WSTE 51
11. GERADOR ELÉTRICO / *ELECTRIC GENERATOR*	1
FABRICANTE / *MANUFACTURER*	SIEMENS
TIPO / *TYPE*: THFF 180/64-18	HORIZONTAL, RESFRIADO A H2/*horizontal, H2 cooled*
POTÊNCIA (A 75 psig H2) / *POWER (AT* 75 psig H2)	1.458 MVA
TENSÃO DE SAÍDA / *OUTLET TENSION*	25 (+ 7.5; -10) kv
NÚMERO DE FASES / *NUMBER OF PHASES*	3
FREQUÊNCIA / *FREQUENCY*	60 Hz
FATOR DE POTÊNCIA / *POWER FACTOR*	COS φ= 0.9

CLASSE DE ISOLAMENTO / *INSULATION CLASS*	B
RPM	1.800
12. EXCITATRIZ`PRINCIPAL / *MAIN EXCITER*	1
FABRICANTE / *MANUFACTURER*	SIEMENS
TIPO / *TYPE*:	ELP 115/88-18/12-40
TENSÃO & CORRENTE / VOLTAGE & CURRENT	480V & 12 200A
CLASSE DE ISOLAMENTO / *INSULATION CLASS*	B/F
13. EXCITATRIZ PILOTO / *PILOT EXCITER*	1
FABRICANTE / *MANUFACTURER*	SIEMENS
TIPO / *TYPE*:	ELP 100/35-18/28
TENSÃO / *VOLTAGE*	220V ± 10%
FATOR DE POTÊNCIA / *POWER FACTOR*	COS φ= 0.6/0.95
CLASSE DE ISOLAMENTO / *INSULATION CLASS*	B
14. GERADOR DIESEL DE EMERGÊNCIA / EMERGENCY DIESEL GENERATOR	
SISTEMA 1 / *SYSTEM 1*: 1 -4XKA	4 UNIDADES / 4 *UNITS*
FABRICANTE / *MANUFACTURER*	KHD / SIEMENS
POTÊNCIA NOMINAL / *NOMINAL POWER*	5.400 kW -6.600 kVA
FATOR DE POTÊNCIA / *POWER FACTOR*	1 – 0.8
FREQUÊNCIA / *FREQUENCY*	60 Hz
RPM	900
SISTEMA 2 / *SYSTEM 2*: 5 -8XKA	4 UNIDADES / 4 *UNITS*
FABRICANTE / *MANUFACTURER*	KHD / SIEMENS

POTÊNCIA NOMINAL / *NOMINAL POWER*	860 kW -1.050 kVA
FATOR DE POTÊNCIA / *POWER FACTOR*	1 -0.8
FREQUÊNCIA / *FREQUENCY*	60 Hz
RPM	1.800

Fonte: **(Eletrobras, 2015)**

ANEXO B – DEDUÇÃO DOS CÁLCULOS DO LCOE.

$Eletricicity_t$: The amount of eletricity producity in year "t";

$P_{Eletricity}$: The constant price of the eletricity;

$(1 + r)^{-t}$: The discount factor for year "t";

$Investment_t$: Investment cost in year "t";

$O\&M_t$: Operations and maintenance costs in year "t";

$Fuel_t$: Fuel costs in year "t";

$Carbon_t$: Carbon costs in year "t";

$Decommissioning_t$: Decommissioning costs in year "t".

$$\sum_t \left(Eletricity_t * P_{eletricity} * (1 + r)^{-t}\right) =$$

$$\sum_t ((Investment_t + O\&M_t + Fuel_t + Carbon_t + Decommissioning_t) * (1 + r)^{-t})$$

$$P_{Eletricity} = \sum_t \left((Investment_t + O\&M_t + Fuel_t + Carbon_t + Decommissioning_t) * (1 + r)^{-t}\right) / \left(\sum_t \left(P_{eletricity} * (1 + r)^{-t}\right)\right)$$

E consequentemente tem-se a equação para determinação do custo nivelado de eletricidade conforme equação abaixo:

$$LCOE = P_{Eletricity}$$

$$P_{Eletricity} = \sum_t \left((Investment_t + O\&M_t + Fuel_t + Carbon_t + Decommissioning_t) * (1 + r)^{-t}\right) / \left(\sum_t \left(P_{eletricity} * (1 + r)^{-t}\right)\right)$$

Fonte: (Santos, 2015)