

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA  
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**GUSTAVO RIBEIRO DE ANDRÉA  
LEONE MACIEL DE CASTRO**

**POTENCIAL DE EXPANSÃO TERMONUCLEAR NA MATRIZ  
ELÉTRICA DO BRASIL**

**VOLTA REDONDA  
2020**

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA  
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**POTENCIAL DE EXPANSÃO TERMONUCLEAR NA MATRIZ  
ELÉTRICA DO BRASIL**

Monografia apresentada ao  
Curso de Engenharia Elétrica do  
UniFOA como requisito à obtenção do  
título de bacharel em Engenharia  
Elétrica.

Alunos:

Gustavo Ribeiro de Andréa

Leone Maciel de Castro

Orientador:

Prof. Msc. Adílson Gustavo do  
Espírito Santo

**VOLTA REDONDA**

**2020**

## FOLHA DE APROVAÇÃO

Alunos:

Gustavo Ribeiro de Andréa

Leone Maciel de Castro

Título da monografia: Potencial de expansão termonuclear  
na matriz elétrica do Brasil

Orientador: Prof. Msc. Adilson Gustavo Do Espírito Santo

Banca Examinadora:

---

Prof. Msc. Adilson Gustavo Do Espírito Santo

---

Prof. Esp. Bruno Moreira da Silva

---

Prof. Msc. Cláudio Márcio de Freitas da Silva

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus por nos ter ajudado durante nossa trajetória neste curso superior, aos nossos pais por acreditarem em nossos esforços, e ao Professor Mestre Adilson Gustavo do Espírito Santo que este sempre pronto a auxiliar na elaboração deste trabalho.

## RESUMO

As usinas nucleares estão presentes na matriz elétrica do Brasil, representadas pelas unidades de Angra 1 e 2, juntamente com outras usinas termelétricas responsáveis por garantir segurança ao SIN (Sistema Interligado Nacional). Este estudo demonstra inicialmente a importância das termelétricas para suprir a demanda nacional, passando pelas crises energética do sistema hídrico por razão da escassez de chuvas em determinados períodos, bem como a crise financeira do país que dificulta investimentos em grandes empreendimentos de geração de energia. A matriz elétrica brasileira é diversificada e apresenta grande parte da sua produção oriunda de energias renováveis, tais como usinas hidrelétricas, solares e eólicas. Serão demonstrados aspectos importantes relacionados a sua expansão, tais como a construção de usinas, infraestrutura e regulamentações por parte dos órgãos governamentais. O estudo de caso vem na sequência apresentando custos e receitas de uma usina a gás, uma usina à carvão e uma usina nuclear para fins de comparação, destacando os pontos positivos e os negativos de cada unidade geradora, com ênfase nos aspectos econômicos apresentados. No final foi possível concluir que as usinas termonucleares se destacam no quesito produção energética com um intermediário custo de produção, bem como no ponto de vista ambiental, mesma não emite gases poluentes durante sua produção energética. Porém, as termonucleares apresentam pontos negativos, principalmente com relação ao seu elevado custo de construção, muito superior as demais usinas analisadas, aliado aos rejeitos radioativos que são uma contrapartida aos aspectos favoráveis ambientais citados anteriormente.

**Palavras-chave:** Aspectos econômicos, termelétricas, produção energética, custo de produção

# SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
1.1 Objetivo Geral .....	12
1.2 Objetivo Específico.....	12
1.3 Metodologia.....	12
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	12
2.1 O Cenário atual do Sistema Elétrico Brasileiro .....	13
2.2 Importância da Diversificação da Matriz Elétrica Brasileira.....	15
2.3 Situação Econômica Atual e Reflexos no Cenário Energético.....	17
2.4 Matriz Elétrica em Expansão e seus Desafios .....	20
2.5 Energias renováveis.....	22
2.5.1 Energia Eólica.....	23
2.5.2 Energia Fotovoltaica .....	24
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	26
3.1 Termelétricas: Considerações Gerais .....	26
3.2 Energia Termelétrica a Gás Natural .....	28
3.3 Energia Termelétrica à Carvão.....	31
3.4 Energia Termelétrica à Biomassa .....	35
3.5 – Termelétricas à Óleo Diesel e Óleo Combustível.....	37
3.6 Energia Termonuclear.....	40
3.6.1 Cenário Mundial Atual .....	40
3.6.2 Geração Nuclear no Brasil .....	43
3.6.3 Reservas Brasileiras de Urânio e Ciclo do Elemento Combustível ....	46
3.6.4 Princípio do Funcionamento e Tecnologias .....	49
3.6.5 Questões Econômicas e Ambientais.....	52
4 ESTUDO DE CASO.....	57

4.1 Usina de Araucária.....	58
4.2 Usina Pampa Sul.....	59
4.3 Usina Angra 1 .....	60
5 RESULTADO E DISCUSSÕES .....	63
5.1 Análise Comparativa de Custos .....	63
5.2 Análise Custo Produção x Capacidade Produtiva .....	65
5.3 Análise de Receita Anual x Capacidade Produtiva .....	66
6 CONCLUSÃO .....	67
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	70

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - SIN. Projeção do consumo de energia elétrica na rede (GWh), 2019-2024.....	21
Tabela 2 - Principais estados brasileiros em produção de energia eólica no Brasil.....	23
Tabela 3 - Reservas provadas globais de gás natural .....	29
Tabela 4 - Centrais termelétricas a carvão mineral em operação no Brasil.....	32
Tabela 5 - Biomassa – Principais combustíveis utilizados para a operação no Brasil.....	35
Tabela 6 - Principais estados em capacidade instalada de biomassa .....	37
Tabela 7 - Usinas Termelétricas à Óleo Combustível e Óleo Diesel no Brasil.....	39
Tabela 8 - Reservas de Urânio no Brasil e seus Depósitos.....	47
Tabela 9 - Porcentagem do EPC por Custos em Construção de Novos Reatores.....	54
Tabela 10 - Custos para Análise – Usina Araucária.....	59
Tabela 11 - Produção Energética e CVU – Usina Araucária.....	59
Tabela 12 - Custos para Análise – Usina Pampa Sul.....	60
Tabela 13 - Produção Energética e CVU – Usina Pampa Sul.....	60
Tabela 14 - Aspectos gerais das obras e das usinas nucleares no Brasil.....	61
Tabela 15 - Custos para Análise – Usina Angra 1.....	62
Tabela 16 - Produção Energética e CVU – Usina Angra 1.....	62
Tabela 17 - Comparação de Custos por Usina.....	63
Tabela 18 - Comparação entre Energia Produzida e Custo de Produção.....	65
Tabela 19 - Relação entre Receita e Energia Produzida.....	66
Tabela 20 - Resultados Obtidos em Receita por MWh.....	67
Tabela 21 - Compilação dos Resultados Obtidos.....	68

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Infraestrutura existente e em construção de oferta e transporte de gás natural.....	30
Figura 2 - Esquema simplificado de uma planta termelétrica.....	34
Figura 3 - Reatores em Operação no Mundo em 2015.....	41
Figura 4 - Capacidade Instalada de Energia Nuclear Cenário Global em 2015 (MW).....	42
Figura 5 - Agentes do Setor Nuclear Brasileiro.....	44
Figura 6 - Usinas Angra 2 (à esquerda) e Angra 1 (à direita); os reatores, onde a energia nuclear é gerada, ficam dentro das estruturas brancas.....	45
Figura 7 - Minério de Urânio extraído em Caetité BA.....	48
Figura 8 - Reatores em operação no mundo por tipo.....	51
Figura 9 - Representação esquemática da geração nuclear – PWR.....	52
Figura 10 - Fator de Capacidade Médio das Usinas Nucleares.....	53
Figura 11 - Piscina Destinada à Rejeitos de Alta Atividade em Angra 2.....	56

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Capacidade instalada no SIN em 2020.....	<b>13</b>
Gráfico 2 - O crescimento do PIB brasileiro no período entre 2010 a 2019.....	<b>18</b>
Gráfico 3 - Evolução da capacidade instalada no SIN 2014-2024.....	<b>19</b>
Gráfico 4 - Evolução da população brasileira por regiões geográficas.....	<b>20</b>
Gráfico 5 - Potência instalada acumulada (MW) da fonte solar fotovoltaica no Brasil e projeção para 2020.....	<b>25</b>
Gráfico 6 - Potência e CVU das térmicas no SIN.....	<b>27</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil possui uma consolidada matriz energética, cuja geração de energia elétrica é baseada em grande parte na utilização de hidrelétricas. Estas usinas possuem um grande potencial de geração e ao mesmo tempo não emitem gases poluentes em seu processo de produção energética, ou seja, a poluição atmosférica é praticamente nula em todo o processo de geração, assim como o valor do combustível utilizado (água), é renovável e não gera poluição ou resíduos para sua utilização.

Porém, é de grande importância para o país o investimento em energias alternativas para suprir possíveis carências nessa geração. Pode-se citar períodos de grande estiagem que acabam por diminuir o nível dos reservatórios e provocam uma carência na geração ou mesmo um possível colapso. São instalados por esta razão inúmeras usinas termelétricas no país que ficam responsáveis por devolver este equilíbrio na produção energética. De acordo com Sato (2016), devido ao fato das energias eólica, solar e biomassa não serem adequadas para assumir um protagonismo na carência das usinas hidrelétricas devido ao baixo potencial gerado e de possuir baixa segurança energética, ou seja, são em grande parte apenas fontes complementares, é necessário o despacho das termelétricas para complementar a geração de energia elétrica.

A energia termonuclear se destaca entre as demais usinas térmicas, segundo FGV Energia (2017), pois possui um baixo índice de poluição gerado em comparação com as usinas que utilizam combustíveis fósseis, além de sua produção ter um custo de geração (medido em R\$/MWh) menos elevado que as demais usinas térmicas. Ainda segundo FGV Energia (2017), é importante ressaltar que apesar do baixo custo da produção da energia elétrica através de usinas nucleares, há um elevado custo da instalação de uma central termonuclear, pois estes envolvem projetos muito grandes, sendo necessário um financiamento muito maior do que para outras tecnologias. O país possui, conforme Pires (2013), uma quantidade considerável de reservas de urânio disponíveis em seu território, além de dominar o ciclo de enriquecimento desta matéria prima.

Este trabalho apresenta pontos importantes referentes a matriz elétrica brasileira e sua expansão, as termelétricas e fontes alternativas de energia presentes no sistema interligado nacional (SIN), com destaque para a energia termonuclear que é a parte essencial para a conclusão do documento.

### **1.1 Objetivo Geral**

Este estudo visa discutir a viabilidade econômica da expansão do setor termonuclear no Brasil, com todos os benefícios que pode agregar, ressaltando seus pontos negativos.

### **1.2 Objetivo Específico**

- Comparar gastos de uma Termonuclear desde sua construção e operação com outras duas usinas (Carvão, Gás).
- Verificar aspectos econômicos como produção de energia x combustível utilizado, gastos em construção, operação e manutenção.

### **1.3 Metodologia**

Para a elaboração deste projeto foi realizada uma pesquisa descritiva, que de acordo com Metzger (2018), este modelo de pesquisa é direcionado a partir da leitura de artigos e relatórios acadêmicos, destacando análises de dados de agências e órgãos competentes com foco em revisão bibliográfica nos locais citados em pesquisa. Deste modo não foram realizados testes em laboratório ou mesmo entrevistados os autores e coautores dos materiais pesquisados.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

## 2.1 O Cenário atual do Sistema Elétrico Brasileiro

O Brasil é um país que dispõe de dimensões continentais, segundo o IBGE (2012), totalizando 8.515.767,049 km<sup>2</sup> de extensão territorial. Este vasto território, de acordo com Tércio (2016) conta com uma grande quantidade de jazidas e recursos naturais propícios para abastecer sua cadeia de produção, de forma a facilitar seu desenvolvimento econômico. Conforme EPE (2018), um dos pilares desse desenvolvimento passa pela Matriz Energética, que é o conjunto de fontes de energia disponíveis supracitado, dividida entre fontes renováveis e não renováveis de recursos naturais, onde incluímos o petróleo e seus derivados com papel importante, o carvão e o gás natural, além dos derivados da cana-de-açúcar entre outros.

Parte importante de todas essas fontes de energia, destaca-se a Matriz Elétrica, montante que se refere à produção de energia elétrica. Segundo dados do ONS (2020), a capacidade total instalada no Brasil, que está ilustrado no gráfico 1, gira em torno de 166.758 MW, subdividido em 108.623 MW (65,1%) oriundos das Hidrelétricas, e complementando essa totalidade: as Termelétricas com cerca de 23.879 MW (14,4%), Eólicas 16.807 MW (10,1%), Biomassa 13.754 MW (8,2%) e Solar 3.054 MW (1,8%).

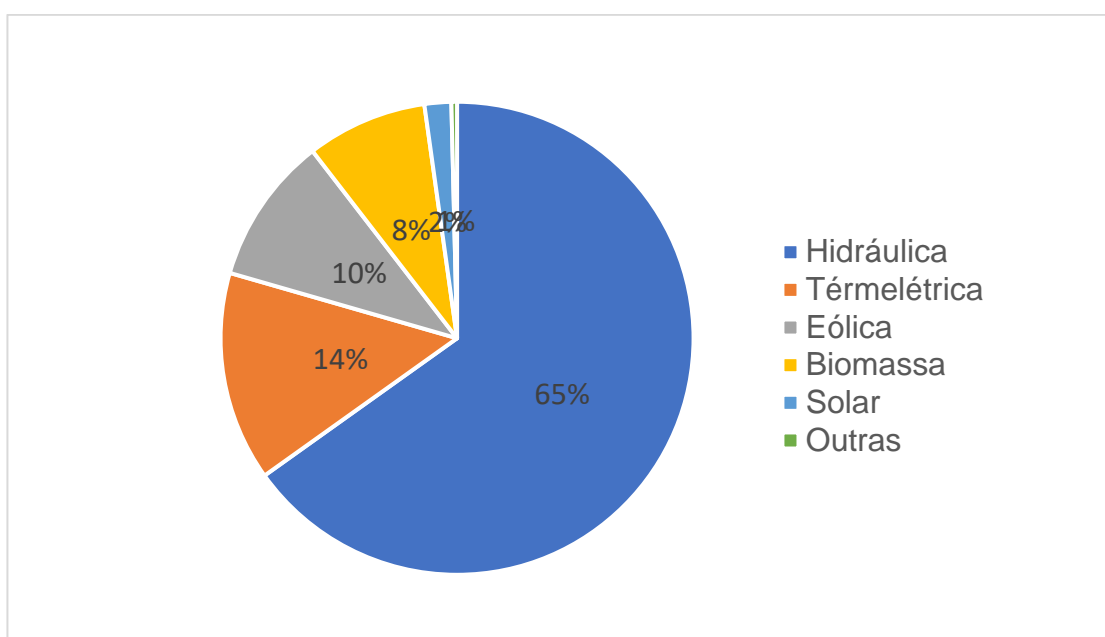


Gráfico 1. - Capacidade instalada no SIN em 2020

Fonte: ONS (2020) EDITADA

Em janeiro de 2020, de acordo com EPE (2020), relacionado ao consumo de energia elétrica, as regiões Sudeste e Sul lideram com cerca de 20,1 MW/h e 7,7 MW/h respectivamente, seguidas pelas regiões: Nordeste (7,1 MW/h), Centro Oeste (3,2 MW/h) e por último Norte (2,9 MW/h). Segundo ONS (2020), para levar energia a todos esses consumidores o sistema dispõe de uma rede básica de transmissão com uma extensão total de 141.756 km, transportados em alta tensão variando entre 230 e 750 KV em corrente alternada, além de 800 KV transportado em corrente contínua.

O setor elétrico necessita receber constantes investimentos, conforme Tudeschini (2012), para atender a demanda crescente impulsionada pelos setores da indústria, comércio, setor público e residências. E no cenário atual de predominância da energia hidráulica é de suma importância a integração do sistema, segundo Tolmasquim (2016), pois quando existe uma variação de um reservatório, ou seja, uma usina regulariza na bacia, ou seja, possui um reservatório com nível suficiente de água, a usina poderá produzir uma quantidade maior de energia à passo que uma outra usina com menor nível de armazenamento em seus reservatórios poderá utilizar de uma menor produção, beneficiando-se dessa comunicação todo o sistema elétrico e otimizando o mesmo.

Para se ter um maior controle de todas variáveis em 1998, de acordo com a ANEEL (2004), houve a criação do ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico) subordinado a ANEEL que é o órgão responsável pela administração e controle das instalações de geração e linhas de transmissão do SIN (Sistema Interligado Nacional). Alguns dos objetivos atribuídos ao órgão são: otimização energética e segurança do sistema elétrico. Conforme Tolmasquim (2016), no tocante a otimização do sistema, o órgão realiza uma gestão dos reservatórios de água verificando os níveis de armazenamento das usinas hidrelétricas e por meio deste realiza o despacho de utilização das termelétricas.

Analisando os pontos da operação energética do setor feito pelo ONS (2020), podemos dividir em etapas que são: Pré-Operação, Operação em Tempo Real e Pós Operação. A etapa de Pré-Operação visa parâmetros importantes como: a programação diária, e a inclusão ou modificação de dados no programa de intervenções, restrições operacionais das instalações tanto de geração quanto de transmissão, previsão de carga atualizada e condições previstas para operação dos reservatórios, além de não menos importante a programação do Controle Automático

de Geração (CAG). Ainda de acordo com ONS (2020), dando sequência tem a etapa de Operação em Tempo Real, que fica responsável por coordenar, supervisionar, e efetuar o controle do funcionamento operacional da rede em condições normais e em condições de contingência, e o funcionamento das instalações do SIN. E por último a etapa de Pós Operação que engloba a apuração dos dados da operação realizada, análise de quaisquer ocorrências ou perturbações e a divulgação dos resultados para os órgãos governamentais, agentes do setor e fiscalizadores, e sociedade.

## **2.2 Importância da Diversificação da Matriz Elétrica Brasileira**

Nesse cenário a predominância de fontes renováveis na Matriz Elétrica é representativo e elogiável, segundo Castro (2008), com custos competitivos e uma desejada sustentabilidade ambiental. De acordo com ONS (2020), grande parte dessa produção refere-se as usinas hidrelétricas, com importante parcela na capacidade total instalada. O país possui a terceira maior quantidade de recurso hídrico disponível entre todos os países do mundo atrás apenas de China e Estados Unidos respectivamente, além de ocupar também a terceira posição no quesito de potencial hídrico tecnicamente aproveitável, segundo dados da EPE (2006). Existe, no entanto, um problema a ser abordado nesse cenário no que se refere à confiabilidade no fornecimento de energia ocasionado por fatores que podemos citar:

- **Sazonalidade:** As centrais hidrelétricas estão sujeitas ao ciclo hidrológico estritamente ligados aos seus níveis de reservatório que irão propulsionar as turbinas para produção de energia, segundo Olma (2017). Ao passo que as principais se localizam geograficamente em regiões com períodos de chuvas semelhantes. De acordo com o MME (2015), em alguns anos houve estações de seca muito intensa, mais recentemente no período compreendido entre 2013 e 2015 onde ocorreu uma diminuição rigorosa no volume de chuvas, constatado como uma das piores médias pluviométricas anuais já medidas. Tomando como exemplo o mês de janeiro de 2015 no auge da estiagem, choveu apenas 25% do esperado na bacia do Rio São Francisco, 30% na bacia do Rio Parnaíba, 35% na bacia do Rio Grande e 45% na bacia do Rio Tocantins. Neste período configurou-se necessário por meio do ONS o despacho da

utilização de cerca de 16,3 MW médios gerados por Termelétricas para equilibrar a demanda nacional. Soma-se a este fato parte majoritária das usinas viabilizadas recentemente se enquadra na categoria fio d'água, conforme Tolmasquim (2016), estas que possuem capacidade reduzida de armazenamento de água em seus reservatórios e suficiente para alguns dias apenas, não podendo contribuir eficientemente com um incremento de energia armazenável.

- Restrições Legais e Impactos Gerais: De acordo com Castro (2008), uma central hidrelétrica de grandes reservatórios possui uma dificuldade ou muitas vezes incapacidade geográfica acerca de sua construção. Ainda nesse cenário, conforme Alisson (2018), é sabido que necessita uma grande área posteriormente inundada gerando impactos ambientais. Podemos citar como exemplo a diminuição nas espécies de peixes que habitam no rio a jusante, afetando a pesca local, e parte da fauna é obrigada a fugir daquele habitat para regiões de terras secas. Além da necessidade de deslocamento da população ribeirinha, causando prejuízos econômicos aos mesmos. Outro ponto a ser discutido é a dificuldade a qual é imposta a construção dessas centrais em relação à própria legislação ambiental de forma justificada pelos itens expostos anteriormente.

Segundo Tudeschini (2012), estudos comprovam a necessidade da diversificação da Matriz Elétrica, reforçando que um sistema com grande dependência de uma fonte toma forma de um indicador de vulnerabilidade energética e conseqüente fragilidade. Apesar dos fatores apontados, além do crescimento de mercado ser muito maior que a energia armazenada disponível, de acordo com Tolmasquim (2016), não é possível afirmar que a segurança do sistema está declinando num cenário decenal. Pelo motivo que as demais fontes de energia contribuem de forma significativa para o atendimento à demanda, e com as características e participação de cada uma destas, pode-se elevar o nível de confiabilidade do sistema.

Dadas as características, conforme Castro (2008), é importante que a expansão da matriz elétrica brasileira ocorra de forma a aproveitar da melhor maneira as fontes disponíveis economicamente e ambientalmente. Ainda prevendo um cenário

de crescimento econômico nos próximos anos, segundo Moraes (2018), pode-se esperar uma demanda proporcionalmente maior no consumo de energia elétrica, reforçando a hipótese de diversificação da matriz elétrica atual para evitar um desnecessário cenário de crise energética, bem como um inesperado aumento nos custos devido a uma falta de planejamento do setor.

### **2.3 Situação Econômica Atual e Reflexos no Cenário Energético**

O crescimento econômico acarreta uma maior demanda de consumo energético, conforme Madeira (2019), ao passo que o contrário desse cenário uma retração econômica diminui a demanda por energia. De acordo com Feitosa (2015), para acompanhar o desenvolvimento econômico se faz necessário o investimento de responsabilidade estatal no setor elétrico. De acordo com a legislação vigente atual é papel do Estado regular, promover e fiscalizar o setor energético. Fica responsável também por promover leilões públicos fundamentados para contratação de novas instalações que irão suprir a expansão da carga dos consumidores cativos.

No período de 2014 a 2017, o país passou por uma grave crise econômica oriunda de uma má gestão política, segundo Filho (2017), podendo-se citar a corrupção generalizada aliada a uma baixa internacional no preço de commodities que são a principal base de exportações resultante no crescimento do PIB e arrecadação. Além da intervenção governamental e incentivos fiscais, o cenário acarretou numa deterioração nas contas públicas.

Houve nesse período uma diminuição na renda per capita da população, um aumento no índice de desemprego e uma baixa na atividade econômica em todo o país, conforme Garcia (2016). Por razões referentes a essa crise, de acordo com Aalok (2018), o orçamento comprometido acarretou numa maior dificuldade por parte dos órgãos do governo de investir em obras de infraestrutura, incluindo-se neste pacote o que se refere à construção de estradas e logística, obras de saneamento básico e matriz energética.

Em 2017 tiveram medidas tomadas para conter os gastos públicos estabelecendo-se um teto para estes. Segundo Filho (2017), após a implementação

de tal medida somada a outros esforços por parte do governo para controlar os gastos e o crescimento da dívida houve uma melhora na perspectiva de crescimento da economia para os próximos anos.

Em 2019, segundo o Ministério da Economia (2020), o país teve um crescimento do PIB em torno 1,14%, uma taxa que ficou abaixo das expectativas, porém pode-se destacar o aumento nos investimentos (2,2%) e no consumo das famílias (1,8%), além de uma redução no gasto do governo (-0,4%), fatores estes que reforçam essa tendência de crescimento econômico, cenário importante para que haja um investimento tanto público quanto privado nos diversos setores da economia. O gráfico 2 mostra o crescimento do PIB no Brasil dos últimos 10 anos.

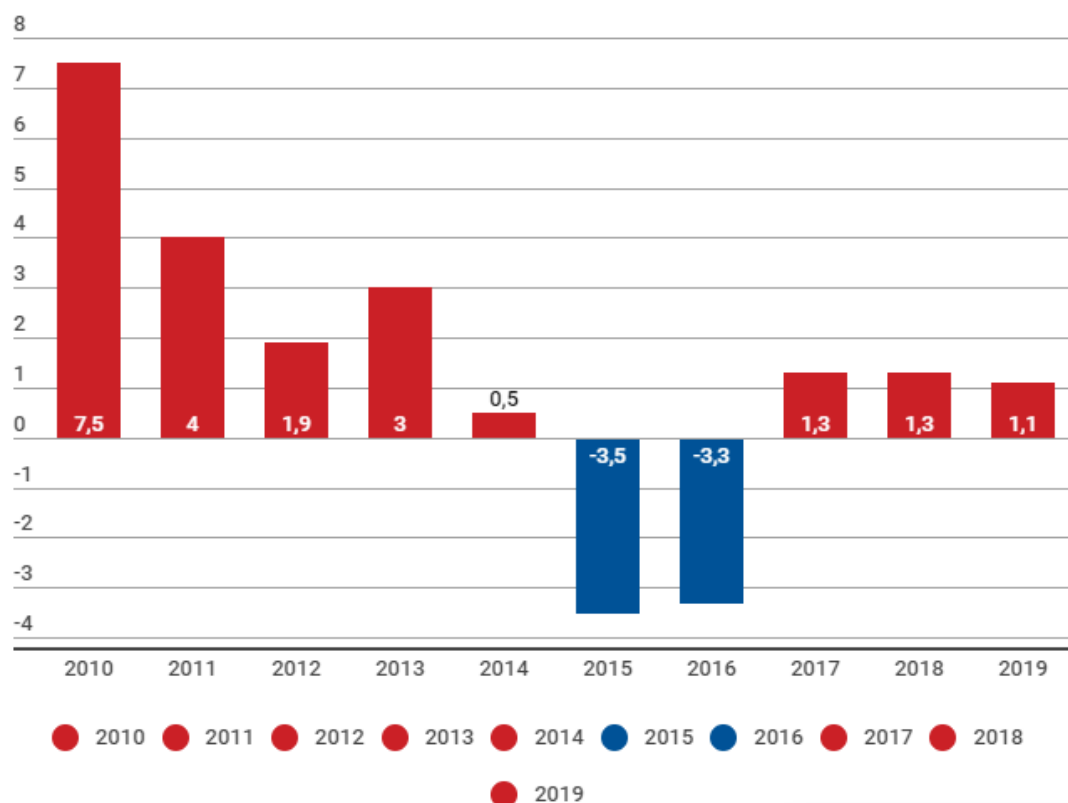


Gráfico 2. – O crescimento do PIB brasileiro no período entre 2010 a 2019.

Fonte: IBGE (2020)

Com o objetivo de expandir a geração de maneira a suprir a carga instalada, em conformidade com EPE (2019), são necessários a construção de usinas ou plantas de geração, além de investimento nas linhas de transmissão e subestações. Para tanto essas novas instalações requerem um considerável investimento e capital em

construção e operação, o que visa seu controle os planos decenais de expansão de demanda energética para estimar o crescimento populacional e apontar para investimentos no setor energético de modo a reduzir tais custos, ou seja, utilizar o mesmo da forma mais adequada.

O Ministério de Minas e Energia estima que o setor elétrico irá demandar em investimentos um valor acerca de R\$ 450 bilhões até 2029, em novas plantas de geração e transmissão de energia, de acordo com Campos (2019). Para que isso ocorra é necessário um trabalho árduo, atrair investimentos e identificar os custos e benefícios das fontes de geração de energia, bem como na diversificação da matriz energética. Ainda segundo Campos (2019), uma das maneiras a promover tal desenvolvimento é por meio de investimentos privados, nacionais e estrangeiros, impulsionando o setor elétrico e a economia brasileira.

O Plano Decenal de Expansão (PDE), segundo Tolmasquim (2016), apontou para a priorização da utilização de fontes renováveis como uma de suas diretrizes na missão de atender o crescimento do consumo de energia elétrica em um prazo de dez anos, tornando compatível tal participação dessas fontes para atender de forma segura os consumidores. A capacidade instalada no SIN deverá se expandir em 55% num período de dez anos segundo o PDE 2024, com preponderância de geração hidrelétrica, como mostra o gráfico 3.

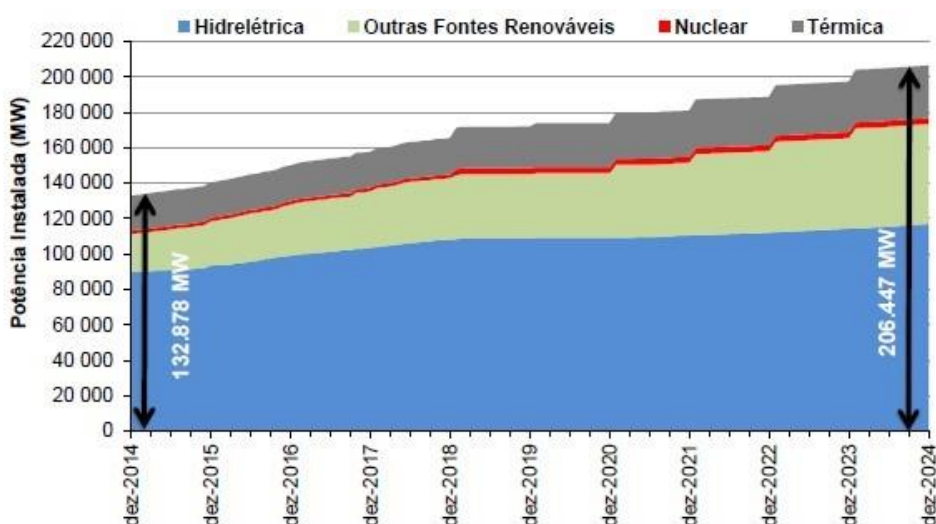


Gráfico 3. - Evolução da capacidade instalada no SIN 2014-2024

Fonte: EPE (2015)

## 2.4 Matriz Elétrica em Expansão e seus Desafios

No cenário brasileiro, de acordo com EPE (2019), a matriz elétrica deve ser uma grande preocupação, pois com o crescimento populacional, cada vez mais a dependência da energia elétrica para diversas atividades e a renda média maior para cada pessoa no país, faz com que o consumo se eleve a cada ano. Para isso, é necessário estudos para descobrir formas de expandir a quantidade de energia gerada e que tenha um custo o mais baixo possível.

“Com relação ao crescimento populacional, a empresa de pesquisa energética faz uma projeção que para os próximos dez anos, estima-se que a população brasileira cresça a uma taxa média de 0,6% a.a., alcançando 224 milhões de habitantes.” (EPE, 2020)

Dividindo o aumento da população por regiões, é possível notar que se destacam as regiões com maior crescimento no país de 2018-2029, a Norte com o crescimento de cerca de 8,7% para 9,3% e a Centro-Oeste de 7,7 para 8,2%, como é demonstrado no gráfico 4.

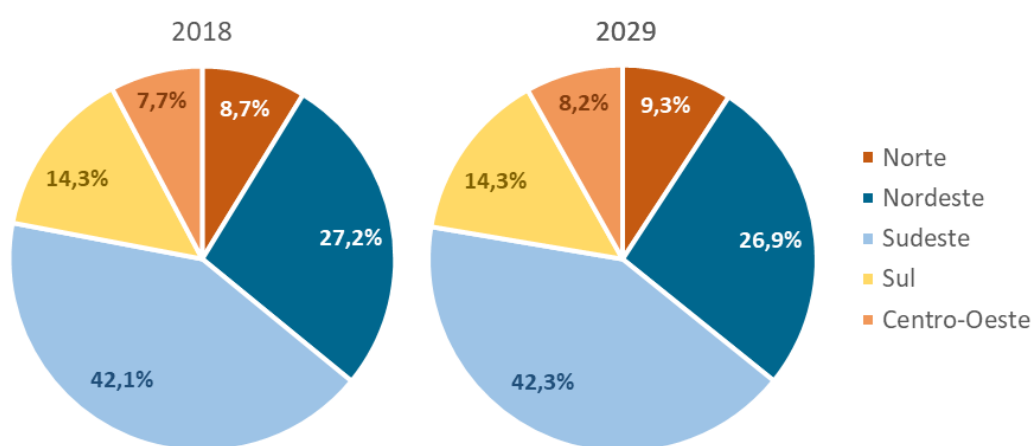


Gráfico 4. - Evolução da população brasileira por regiões geográficas

Fonte: Elaboração EPE, com base em IBGE (2018).

Para ser analisado a expansão das fontes geradoras, deve-se atentar com a demanda de energia elétrica necessária e uma projeção para abastecer todo o país,

conforme EPE (2016). Com isso, é preciso observar a capacidade de expansão do SIN e dos sistemas isolados.

Com projeção até 2024, de acordo com ONS (2020), estima-se que a capacidade de energia instalada por meio do SIN cresça de 166.758 MW para 175.991 MW e a extensão da rede básica de transmissão irá aumentar de 141.756 km para 181.528 km.

Com relação ao consumo, tem-se a projeção de um aumento de 3,8 % ao ano, segundo EPE (2015), como é apresentado na tabela 1, explica por setor e por região a projeção do consumo de energia elétrica até 2024.

CONSUMO	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Δ% ao ano
<b>TOTAL</b>	<b>478.369</b>	<b>498.751</b>	<b>517.029</b>	<b>536.167</b>	<b>555.823</b>	<b>576.371</b>	<b>3,8%</b>
<i>Projeção por classe de consumo</i>							
Residencial	139.652	145.038	150.956	157.000	163.133	169.494	3,9%
Industrial	168.374	176.557	181.515	186.817	192.169	197.683	3,3%
Comercial	91.146	94.670	98.512	102.562	106.813	111.331	4,1%
Outras classes	79.196	82.486	86.046	89.788	93.708	97.863	4,3%
<i>Projeção por subsistema interligado</i>							
Norte	33.334	37.227	38.565	40.064	41.342	42.997	5,2%
Nordeste	75.484	79.289	82.897	86.524	90.242	94.187	4,5%
Sudeste/CO	281.595	291.248	301.256	311.734	322.827	333.987	3,5%
Sul	87.956	90.987	94.310	97.844	101.411	105.199	3,6%

Tabela 1. SIN. Projeção do consumo de energia elétrica na rede (GWh), 2019-2024

FONTE: EPE/ONS/CCEE.

Com relação ao tempo médio de construção das usinas, pode-se notar que as usinas hidroelétricas são de 45 meses, as termelétricas de 24 meses, as eólicas de 18 meses, e as fotovoltaicas de 12 meses, de acordo com ANEEL (2018). As usinas nucleares, conforme Unicamp (2020), possuíam um prazo de construção de cerca de 6 anos e atualmente este prazo aumentou para aproximadamente 12 anos.

Para a expansão do setor elétrico, é necessário que seja investido capital e construção de novas instalações geradoras, que irão permitir fornecer energia suficiente para uma crescente demanda. É importante para tanto que se utilize de uma modalidade de licitação que é o caso do leilão. Conforme ANEEL (2019), este método permite a concorrência entre agentes de compra e venda, sendo o vencedor do leilão, o que possuir a demanda de menor preço.

Os leilões de energia existem de diversos tipos, como: leilões de venda, de fontes alternativas, excedentes, estruturante, energia reserva, energia nova, energia existente e de compra. Segundo CCEE (2019), entre eles o principal a ser estudado é o de energia nova, pois nela são construídas as novas usinas, que é feita por meio de projeções, como o exemplo da A-3, onde são usinas que entram em operação comercial em até três anos.

De acordo com NovaCana (2019), e uma projeção feita pela Empresa de pesquisa de energia para leilão A-4, aponta para a contratação de cerca de 1.581 projetos no qual é equivalente a cerca de 51,2 GW de capacidade instalada total, sendo que 26,25 GW dessa energia seja apenas de usinas solares, que são os meios de geração mais investidos.

## **2.5 Energias renováveis**

As energias renováveis possuem enorme importância no fator ambiental, pois além de fontes praticamente inesgotáveis, também são pouco poluentes, tornando assim um meio mais sustentável de geração de energia.

Entretanto, no mundo, as energias mais usadas na matriz energética para a geração são as não renováveis, de acordo com EPE (2018), pois em sua matriz energética, possuem o petróleo e o gás natural como principais matérias primas e combustível para a produção da energia. Com relação as fontes renováveis, correspondem a apenas 14% da energia gerada no âmbito mundial.

No Brasil em comparação ao mundo, segundo EPE (2018) utiliza-se mais de suas fontes de energias renováveis ou sustentáveis, pois em sua matriz energética corresponde a cerca de 43,5% da energia. Um dos motivos para essa diferença, é que no país, possuem fatores climáticos mais favoráveis que viabilizam o uso de fontes renováveis. As fontes sustentáveis no país são predominantemente geradas por usinas hidroelétricas, porém a energia de maior crescimento nos últimos anos são as eólicas.

### 2.5.1 Energia Eólica

A energia eólica no Brasil é a segunda maior produção de energia renovável, que surge como uma forma de diversificar as fontes energéticas do país e que gere menos impactos ao meio ambiente, como o caso de diminuir as emissões de gases do efeito estufa, de acordo com BlueSol (2017), onde esses gases, em grande quantidade, causam o aumento da temperatura no planeta. Outro fator importante é que o crescimento do uso de energia eólica se dá pela grande capacidade de geração em apenas uma turbina, gerando em torno de 3 MW.

Com relação a capacidade de produção de energia eólica, segundo Mundo Educação (2018), o Brasil conta atualmente com 534 parques eólicos, podemos notar a região nordeste sendo o principal destaque nesse quesito, pois nessa região tem-se grande número de usinas, além de possuir ótima quantidade e qualidade nos ventos, gerando cerca de 75 GW. Em comparação a outras regiões, o país possui a segunda maior sendo a sudeste, que gera 29,7 GW. A tabela 2 mostra os estados com maior capacidade de geração de energia eólica.

Estado	Capacidade eólica instalada em 2013 (MW)	Potencial energético em 2018 (MW)
Rio Grande do Norte	1339,2	3654,2
Ceará	661	2325
Bahia	587,6	1978,9
Rio Grande do Sul	460	1978,9
Santa Catarina	236,4	236,4

Tabela 2.- Principais estados brasileiros em produção de energia eólica no Brasil

FONTE: Associação Brasileira de Energia Eólica (EDITADA)

Para a geração dessa energia são necessários parques eólicos, que são locais onde são instalados diversas turbinas eólicas, conforme Vinci Energies (2012), no qual cada turbina possui dimensões de 10 a 120 metros de altura e 5 a 90 metros de

comprimento. Um dos problemas acerca da alocação das turbinas é que exigem uma grande área para que possam ser criados os parques eólicos.

O funcionamento da eólica é basicamente através da transformação da energia cinética dos ventos em energia elétrica nos terminais do gerador. Com isso, de acordo com Vinci Energies (2012), o vento faz o rotor girar, sendo transmitido para o gerador que converte a energia mecânica em elétrica. O transformador que fica dentro da torre, aumenta a tensão de geração para que a energia possa ser transmitida pelas linhas de média tensão da rede.

No entanto, o outro problema a ser mencionado, segundo Portal Energia (2019), é em momentos que os ventos nas turbinas são soprados com menos intensidade, sem ter capacidade de gerar energia naquele instante. Além do impacto sonoro, ou seja, o vento ao girar o rotor causa um grande ruído, sendo necessário o afastamento das zonas residenciais em no mínimo 200 metros do local.

Com relação a parte econômica, pode-se usar como exemplo o caso da usina de Osório, segundo Canal Energia (2019), o valor investido para a criação da usina foi de cerca de R\$ 4,46 milhões por MW instalado. A previsão de acordo com a EPE, é de que já foram registrados cerca de 751 projetos eólicos, ou 23,1 GW.

### **2.5.2 Energia Fotovoltaica**

A energia solar fotovoltaica é outro exemplo de energia renovável, pois depende simplesmente do sol para que por meio das placas tenha a transformação da energia solar em energia elétrica. Essa forma de energia é muito utilizada em residências, comércios, indústrias, entre outros. Onde tem como objetivo reduzir os gastos com energia em sistemas elétricos e nos impactos ao meio ambiente.

O uso da energia solar se divide em apenas para aquecimento, como a térmica, ou para geração de energia elétrica, como é o caso da fotovoltaicas. Porém, no país o uso de energia fotovoltaica, de acordo com BlueSol (2019), é muito pouco, pois tem um alto valor de compra e instalação das placas, seja em telhados ou no nível do solo.

A energia solar fotovoltaica, no entanto, está iniciando uma curva de crescimento no país, onde utiliza cerca de 1,2% da matriz energética brasileira,

conforme Portal Solar (2019). Outro fator que é importante destacar é que no país, a geração de eletricidade por placas fotovoltaicas atingiu um valor de aproximadamente R\$ 30 mil, sendo separadas entre empresas e casas.

Segundo estudos feitos pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), os estados que mais se destacam são: em primeiro Minas Gerais com 35,5 MW de potência instalada, seguido de Ceará com 20,6 MW, e do Rio Grande do Sul com 19,2 MW.

Porém, segundo o Portal Solar (2019), assim como a energia eólica e hidroelétrica, a fotovoltaica também possui períodos de baixa ou nenhuma produtividade, como são os casos de dias com pouca incidência de raios solares ou mesmo durante a noite, e também períodos de alta produtividade, como em momentos secos durante grande parte dos dias ensolarados. Com isso, o Brasil possui grande potencial para a energia fotovoltaica, por ser um país cuja incidência de raios solares é relativamente alta em grande parte do ano.

Como pode-se observar no gráfico 5, a potência instalada tende a crescer no ano de 2020 da mesma forma que nos anos anteriores.

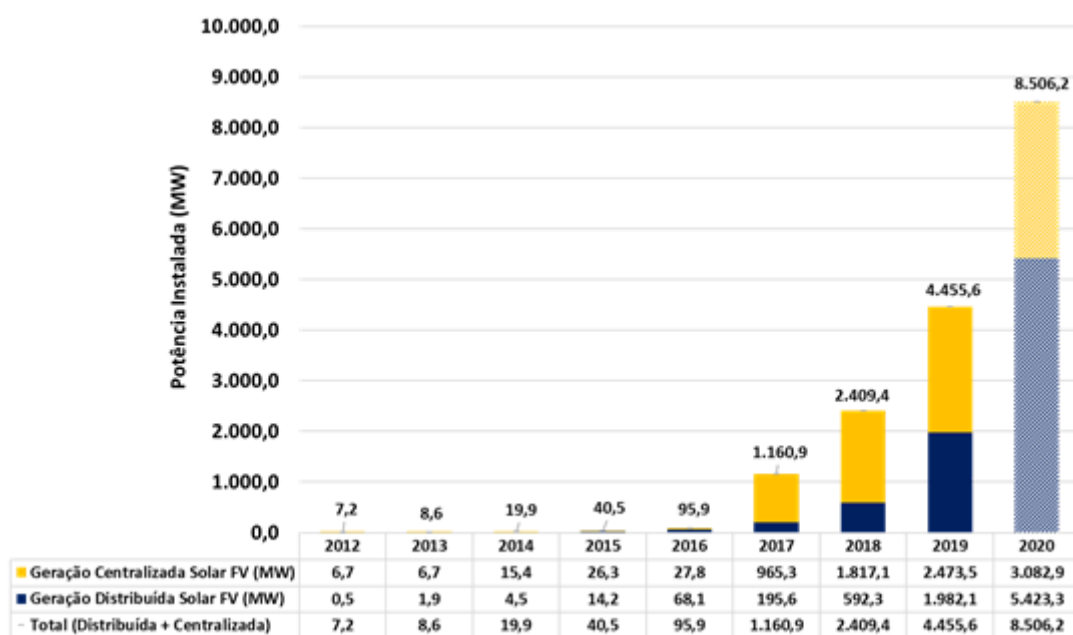


Gráfico 5. – Potência instalada acumulada (MW) da fonte solar fotovoltaica no Brasil e projeção para 2020

Fonte: ABSOLAR, 2019. Última atualização 21/01/2020.

De acordo com ABSOLAR (2020), os novos investimentos privados no setor podem passar do valor de R\$ 19,7 bilhões em 2020, e deste valor investido, a produção de energia distribuída será igual a R\$16,4 bilhões.

O país possui atualmente uma geração de 4,4 GW de capacidade instalada, ainda segundo ABSOLAR (2020), e com o adicional desse valor investido, irá acrescentar uma potência em torno de 4 GW, fará com que a capacidade de geração seja quase o dobro do gerado atualmente.

### **3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

#### **3.1 Termelétricas: Considerações Gerais**

As energias não renováveis utilizam uma matéria prima esgotável como combustível para a geração. Conforme Tolmasquim (2016), os principais combustíveis são: carvão mineral, a nafta, o petróleo, o gás natural e a biomassa. As Usinas Termelétricas são instalações responsáveis por, a partir do calor gerado em combustão, produzir energia elétrica. O combustível utilizado por estas, de acordo com Mundo da Elétrica (2020) é oriundo de fósseis, fissão nuclear, ou mesmo outros produtos como o bagaço de diversas plantas e restos de madeira.

O princípio básico de funcionamento das termelétricas ocorre por meio da conversão de energia térmica em energia mecânica, conforme USP (2020), e por último em energia elétrica. Iniciando-se com o aquecimento de um fluido, este que irá se expandir no interior de uma caldeira fazendo com que a pressão do vapor movimente a turbina do gerador na extremidade do processo. A termelétricas convencionais são divididas em:

a) Combustão Externa: modelo no qual o fluido a ser deslocado não entra em contato direto com o combustível utilizado, sendo característico das usinas a vapor para produzir trabalho mecânico.

b) Combustão Interna: a combustão ocorre por meio da mistura de ar e combustível, onde o fluido de trabalho será resultante da própria combustão dos produtos. Este modelo é utilizado nas máquinas a pistão (geradores a diesel) e nas turbinas a gás.

O custo econômico das termelétricas, segundo FGV Energia (2017), é obtido através de alguns fatores tais como: valor do combustível utilizado, o valor gasto na implantação da unidade e gastos operacionais referentes ao funcionamento da planta. Parâmetros que variam de acordo com a fonte utilizada, dependendo ainda da infraestrutura local existente e da concepção do projeto. Segundo ANEEL (2019), um item econômico importante a ser observado é o CVU (Custo Variável Unitário), que é o valor descrito como Reais por Megawatt-hora (R\$/MWh) responsável por compreender todos os custos de um empreendimento termelétrico. O gráfico 6 mostra a distribuição das usinas com a relação ao custo variável unitário e da potência instalada.

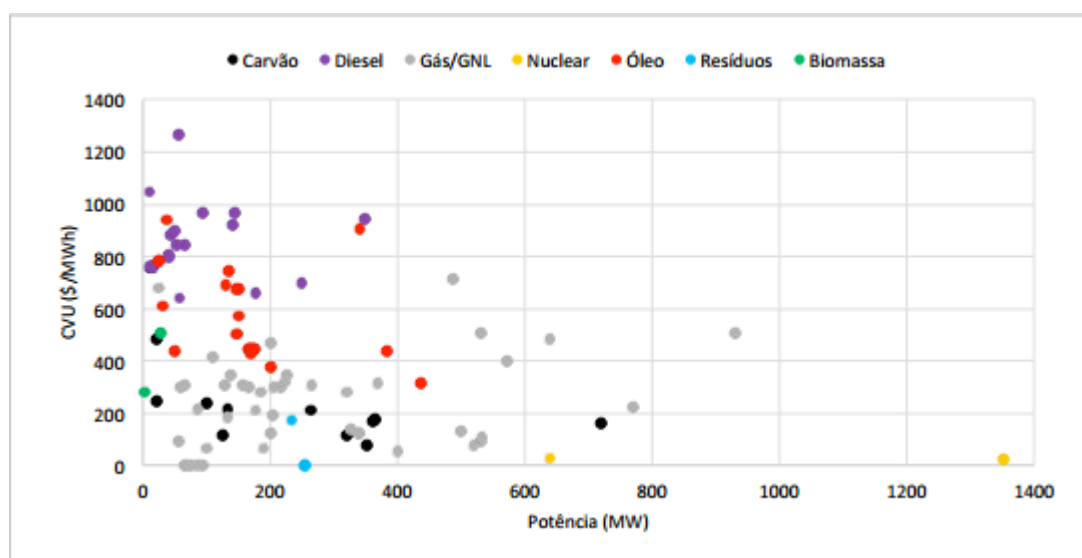


Gráfico 6 - Potência e CVU das térmicas no SIN

Fonte: FGV- Fundação Getúlio Vargas (2018).

Analisando o gráfico 6, é possível destacar na parte inferior, com baixo CVU, as usinas nucleares que apresentam elevada capacidade de geração em Megawatts (MW). Na sequência encontram-se as térmicas à carvão com também baixo CVU porém baixa potência de geração. As térmicas à óleo diesel vem na sequência com

um elevado CVU e baixo potencial, juntamente com as térmicas à óleo combustível. Já as térmicas a Gás possuem uma maior dispersão no gráfico, por possuírem tecnologias diferentes disponíveis, o que reflete em grande variação tanto em potência gerada quanto no custo variável. De acordo com ONS (2020), em sua totalidade, incluídas as usinas à Biomassa nesta porção, as termelétricas têm a capacidade de geração em cerca de 37.633 MW. Segundo FGV Energia (2017), são consideradas confiáveis do ponto de vista de segurança energética, porém possuem um alto custo do ponto de vista econômico.

O impacto ambiental acarretado pelas termelétricas é outro fator importante a ser considerado. Conforme Naime (2014), os gases expelidos durante o processo, agentes que contribuem para o efeito estufa, tais como o dióxido e monóxido de carbono e óxidos de enxofre. Além de fuligem expelida por grandes chaminés que as usinas no geral possuem e pode ser prejudicial à saúde humana, existe ainda o impacto térmico causado pelo processo de resfriamento em troca de calor com rios ou o mar que se localizam próximos à parcela significativa dessas centrais. O calor gerado poderá interferir na fauna e flora existente na região limitando a reprodução de espécies.

### **3.2 Energia Termelétrica a Gás Natural**

As energias termelétricas a gás natural, tem grande importância na economia de um país, segundo ANEEL (2017), pois em momentos críticos tem um objetivo de manter a demanda de energia, sem que tenha apagões e ajuda na diminuição das perdas na transmissão, além de ter uma energia mais segura, sem depender de fatores climáticos como as energias renováveis, como citado anteriormente.

O combustível a ser utilizado para a geração dessa energia termelétrica é o gás natural, onde no panorama mundial tem cerca de 187 trilhões de metros cúbicos em reservas por todo o mundo, de acordo com Tolmasquim (2016). A tabela 3 mostra a distribuição da porcentagem da quantidade de energia termelétrica de gás natural que cada país gera.

Posição	País	Gás natural - reservas provadas (bilhões de metros cúbicos)
1º	Rússia	47.800
2º	Irã	33.720
3º	Catar	24.070
4º	Arábia Saudita	8.619
5º	Turquemenistão	7.504
6º	Emirados Árabes Unidos	6.091
7º	Venezuela	5.739
8º	Nigéria	5.475
9º	China	5.440
10º	Argélia	4.504
34º	Brasil	377

Tabela 3. – Reservas provadas globais de gás natural

Fonte: CIA World Factbook (ADAPTADO)

Segundo a tabela 3, podemos destacar o Brasil ocupando a trigésima quarta posição do ranking com cerca de 337,4 bilhões de metros cúbicos de reservas de gás natural, sendo o terceiro sul americano com mais reservas, apenas atrás da Venezuela que ocupa no quadro geral a sétima posição com 5,739 trilhões de metros cúbicos e do Perú com 455,9 bilhões de metros cúbicos estando na trigésima segunda posição no ranking.

No cenário brasileiro, de acordo com Tolmasquim (2016), o gás natural é principalmente proveniente da Petrobrás que é a maior concessionária do país, onde produz cerca de 86% do petróleo e 82% do gás natural. Grande parte dessas reservas de gás natural, está diretamente ligada ao mar, sendo a região sudeste possui a maior reserva em todo o país.

Com relação a geração termelétrica, o tempo é menor para a implementação da tecnologia comparado com as outras formas de geração, em conformidade com EPE (2019), além de ter ótima flexibilidade para atender as cargas de ponta. O prazo estimado para a criação de uma usina é de até 3 anos, dependendo da capacidade instalada e a tecnologia implementada.

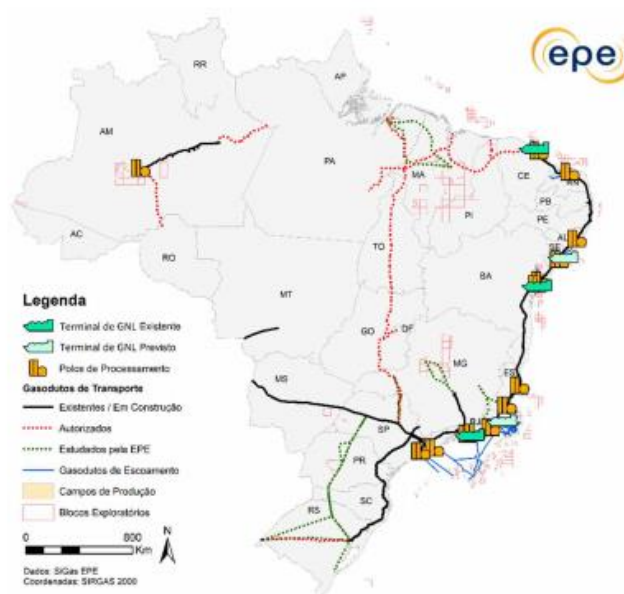
O funcionamento da termelétrica a gás natural, segundo Tolmasquim (2016), se dá basicamente pela queima do combustível, que faz com que a água no

reservatório se aqueça, criando um vapor de água, no qual esse vapor é direcionado para as turbinas do gerador, fazendo assim que gere a eletricidade.

Um fator de grande importância nacional é com relação a projeção do potencial da produção líquida do gás natural que aumentará de 83 milhões de m<sup>3</sup>/dia em 2020 para 138 milhões de m<sup>3</sup>/dia em 2029, de acordo com EPE (2019). Porém, com a previsão de investimentos ligados ao aumento da oferta são de cerca de R\$ 33 bilhões, sendo R\$ 9 bilhões em projetos previstos e R\$ 24 bilhões em projetos indicativos.

Com esse aumento na produção nacional, fará com que o país utilize menos do volume da importação vindo da Bolívia, conforme Tolmasquim (2016), fazendo assim com que seja menos dependente do gás natural vindo de outros países, valorizando assim principalmente o mercado nacional.

A infraestrutura do país para que tenha o transporte do gás natural, segundo FGV Energia (2014), é feita por meio de gasodutos de transporte que são ligados em várias regiões no país, sendo utilizada do gás natural em sua forma liquefeita, por meio dos terminais de regaseificação. A figura 1 mostra a infraestrutura do transporte de gás natural feita por todo o país.



**Figura 1.** - Infraestrutura existente e em construção de oferta e transporte de gás natural

Fonte: Elaboração EPE

A oferta de gás natural no país, de acordo com a Petrobrás (2015), é baseada em três tipos: o gás produzido nacionalmente, o gás importado por meio de gasodutos internacionais e gás natural importado na forma de GNL em terminais de regaseificação. Ainda segundo Petrobrás (2015), o fornecimento médio distribuído para as termelétricas, indústrias, casas e postos é de cerca de 76,6 milhões de m<sup>3</sup>/dia de gás natural.

### **3.3 Energia Termelétrica à Carvão**

O carvão mineral, conforme EPE (2007), é um combustível fóssil oriundo da mistura de hidrocarbonetos, decorrentes da decomposição de matéria orgânica durante milhões de anos, de acordo com determinada temperatura e pressão. Segundo dados do International Energy Outlook (2005), este combustível fóssil é o que possui maior disponibilidade no mundo, totalizando suas reservas em cerca de 1 trilhão de toneladas, o suficiente para suprir o consumo a níveis atuais por 190 anos.

Os recursos carboníferos no cenário nacional giram em torno de 32 bilhões de toneladas, de acordo com Tolmasquim (2016), o país dispõe de um total de 26 minas, variando entre pequeno, médio e grande porte, distribuídos com uma concentração maior principalmente nos estados da região Sul ao longo da Bacia do Rio Paraná, além de outras jazidas encontradas nos estados do Maranhão, São Paulo, Amazonas, Pará e Pernambuco. De acordo com MME (2020), o órgão responsável pela fiscalização, por promover as pesquisas geológicas necessárias à exploração, e o planejamento e aproveitamento das jazidas de carvão, além dos demais minérios difundidos em todo o território nacional, é a Agência Nacional de Mineração (ANM), que é subordinada ao Ministério de Minas e Energia (MME).

No Brasil o carvão mineral é responsável por 1,8% da oferta interna de eletricidade, totalizando cerca de 3.017 MW, segundo dados do ONS (2020). Este é um recurso abundante, o que torna seu preço estável e relativamente baixo, conforme Tolmasquim (2016). É importante salientar que o investimento necessário para promover a extração de carvão, de acordo com EPE (2007), é aproximadamente 5 vezes inferior ao investimento necessário para a extração de gás natural. Com relação ao transporte o carvão possui ainda a vantagem de não necessitar a construção ou

utilização de dutos de alta pressão, nem mesmo rotas dedicadas ou qualquer proteção adicional, aumentando sua competitividade na disputa com outros energéticos.

Em 2020 o país possui 10 usinas termelétricas à carvão em funcionamento, de acordo com CCEE (2020), sendo o maior complexo representado pelas unidades da Usina Presidente Médici (A, B e C) localizado em Candiota RS, com potência nominal de 796 MW, conforme Tolmasquim (2016). Existe ainda a previsão para a construção de ao mínimo 4 unidades geradoras, que aguardam atualmente a realização de leilões públicos, para contratação da energia proveniente destes empreendimentos, segundo Jornal Minuano (2019). A mais recente usina entrou em operação em junho de 2019, de acordo com Engie Brasil (2020), denominada Usina Termelétrica Pampa Sul, fica localizada também no município de Candiota e recebeu um investimento de mais de 2 bilhões de reais durante sua construção. Com a capacidade máxima de geração em torno de 345 MW, a unidade consegue entregar energia suficiente para atender cerca de 1,3 milhões de pessoas. A tabela 4 mostra as centrais termelétricas à carvão em funcionamento no Brasil, com exceção da mais recente Usina Termelétrica Pampa Sul, destacando a localização e a potência nominal instalada de cada unidade.

Usina	Potência Nominal (MW)	Localização
Charqueadas	72	Charqueadas (RS)
Presidente Medici (A,B e C)	796	Candiota (RS)
Figueira	20	Figueira (PR)
Jorge Lacerda A	232	Capivari de Baixo (SC)
Jorge Lacerda B	262	Capivari de Baixo (SC)
Jorge Lacerda C	363	Capivari de Baixo (SC)
São Jerônimo	20	São Jerônimo (RS)
Porto do Pecém I	720	São Gonçalo do Amarante (CE)
Porto do Pecém II	365	São Gonçalo do Amarante (CE)
Porto do Itaqui	360	São Luis (MA)
<b>Total</b>	<b>3,2 GW</b>	

**Tabela 4.** - Centrais termelétricas a carvão mineral em operação no Brasil

Fonte: ANEEL (BIG, 2016)

Os custos de investimento nos projetos de termelétricas à carvão, como em diversas avaliações econômicas, está dividido em custos diretos e indiretos. De acordo com Tolmasquim (2016), os custos diretos neste caso serão representados pelo valor do terreno, equipamento, obra civil, montagem e subestação. Já os custos diretos estão relacionados ao canteiro de obras e custos de administração. Um fator importante a ser observado é o risco cambial, devido ao fato de grande parcela dos equipamentos utilizados é importado. Outro ponto a ser citado são os custos de operação e manutenção dessas usinas. Num cenário global, de acordo com IEA/OECD (2015) os custos de operação e manutenção giram em torno de US\$ 4,07 a US\$ 18,52 / MWh, variando de acordo com a mão de obra de cada país e totalizam cerca de 15% do capital investido em cada unidade, valor este que pode ser comparado com os supracitados custos de investimento com a fatia de 50%, e o restante fica por conta dos custos com combustível que gira em torno de 35% do total de investimentos realizados na planta. Na maioria das vezes a construção de uma usina termelétrica a carvão leva entre 4 e 5 anos, e os maiores aportes financeiros, cerca de 60%, acontecem entre o segundo e o terceiro ano de obras, conforme Tolmasquim (2016).

O ciclo básico de funcionamento de uma termelétrica à carvão, segundo EPE (2007), pode ser dividido em algumas etapas. Primeiramente o carvão é extraído do solo e é transportado até as usinas onde é empilhado, fragmentado e armazenado. Na sequência ele é levado através de correias transportadoras até a etapa de preparação de combustível, onde ocorre a trituração preliminar e pulverização. O carvão é então armazenado em silos para posteriormente ser enviado à fornalha da caldeira. O calor liberado é então transferido para a água que circula em tubos que envolvem a fornalha, superaquecendo-a. O vapor proveniente deste processo movimentará a turbina do gerador, transformando seu processo giratório em energia elétrica. Para completar o ciclo, conforme Oliveira (2008), o vapor é condensado por meio de água para resfriamento oriunda de uma fonte fria, e por último o condensado irá retornar para a caldeira, reiniciando assim o processo. A figura 2 mostra o esquema simplificado de uma planta termelétrica.

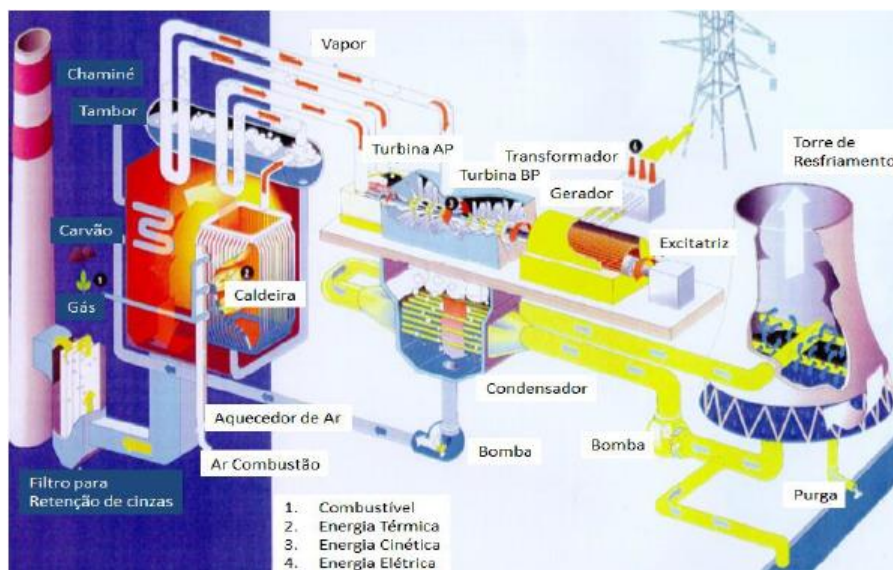


Figura 2. – Esquema simplificado de uma planta termelétrica

Fonte: Tractebel (2015)

Segundo Tolmasquim (2016), as tecnologias utilizadas no processo de combustão irão influenciar em sua eficiência de acordo com a variação de temperatura e pressão na câmara de combustão. No Brasil, com exceção da unidade de Candiota C e a mais recente unidade de Pampa Sul, as demais são antigas e operam com rendimentos abaixo de 34%. Com a adoção de novas tecnologias poderá proporcionar um rendimento acima de 40 %, diminuindo também a emissão de gases poluentes.

O carvão embora importante para a matriz energética de diversos países, não possui uma boa reputação junto aos ambientalistas, de acordo com Pires (2020), sendo considerado uma opção de geração de energia incorreta. A emissão de gases poluentes, dentre eles principalmente o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), contribui para o chamado efeito-estufa e para o aquecimento do planeta, constituindo um dano irreparável ao meio ambiente. Ainda segundo Tolmasquim (2016), dentre outros impactos ambientais de menor escala ocasionados por uma planta termelétrica a carvão, é possível apontar a alteração no solo, fauna e flora da região, o que acaba sendo atenuado por razão de a planta ocupar uma área relativamente pequena e não representa impactos de elevada magnitude nestes aspectos. Além do consumo de recurso hídrico no processo de resfriamento, que varia conforme a tecnologia adotada, e poderá ser expressivo diminuindo a disponibilidade de água para outras utilizações

na região. Existe ainda a geração de efluentes como o esgoto sanitário, que se não obtiverem o devido tratamento poderão poluir o solo e cursos d'água nos arredores.

### 3.4 Energia Termelétrica à Biomassa

A Biomassa é uma fonte de geração de energia que, segundo Gesel (2019), diferentemente dos combustíveis fósseis como o carvão mineral e gás natural, é considerada um recurso natural renovável. No país, a política estratégica tende a aumentar o apoio a desenvolvimento de energias geradas de forma sustentável, para ter assim um equilíbrio maior uso de recursos não renováveis.

Esta fonte utiliza como combustível a matéria de origem vegetal e mineral, como a cana de açúcar, restos de alimentos, cascas de frutas e madeiras, conforme CBIE (2019). Dentre as citadas, segundo Autossustentável (2017), a mais utilizada na geração é a cana de açúcar, sendo importante tanto na matriz elétrica quanto na energética, pois o bagaço da cana é utilizado como combustível para a geração de energia elétrica e o açúcar para a produção do etanol.

A seguir a tabela 5 demonstra como a potência total gerada de biomassa no país está dividida por diferentes combustíveis.

<b>Combustível</b>	<b>Quantidade de empreendimentos</b>	<b>Potência (kW)</b>	<b>Porcentagem (%)</b>
Bagaço de Cana de Açúcar	407	11.577.702	77,83
Licor Negro	18	2.530.719	17,01
Resíduos de Madeira	60	461.317	3,1
Biogás	21	168.509	1,13
Casca de Arroz	13	53.333	0,36
Carvão Vegetal	8	48.197	0,32
Capim Elefante	2	31.700	0,21
Óleo de Palmiste	2	4.350	0,03
<b>Total</b>	<b>531</b>	<b>14.875.827</b>	<b>100</b>

Tabela 5. - Biomassa – Principais combustíveis utilizados para a operação no Brasil

Fonte: ANEEL (2020)

De acordo com a tabela 5, nota-se que possuem um total de 531 empreendimentos para a fonte à Biomassa atualmente, sendo a maior parte feito por meio do combustível bagaço de cana de açúcar, com 407 empreendimentos.

Com relação ao funcionamento, segundo Tradener (2018), são disponíveis várias formas de geração de energia à biomassa, sendo a mais comum a conversão térmica, onde a queima da biomassa é feita a partir de elevadas temperaturas vindo do amplo volume de oxigênio, sendo criado um vapor com alta pressão, onde o mesmo é normalmente utilizado para acionar as turbinas e produzir a eletricidade.

Os custos de investimentos para a geração com cana de açúcar na indústria sucroalcooleira foram de US\$ 337/kW à US\$ 2.002/kW, conforme Tolmasquim (2016). Esta diferença nos valores se dá pela enorme diversidade de tecnologia e de operação, pois podem ser utilizadas por meio de unidades individuais, sendo só para etanol ou só açúcar, ou conjuntas, que produz ambos.

O crescimento da termelétrica à biomassa no país, segundo o Canal Energia (2020), aumentou 3% em 2019 em relação ao ano anterior, e a potência produzida chegou a 3.108,6 MW médios, ultrapassando o valor de 2018 com 3.007,1 MW médios. Subdividindo as produções por estados, São Paulo se destaca como maior produtor dessa energia com 1.391 MW médios no período, aumento de 5%, seguido do Mato Grosso do Sul com 514,9 MW médios, e Minas Gerais, com 390,4 MW médios.

Ainda segundo Canal Energia (2020), a capacidade instalada também se elevou com cerca de 2%, totalizando 13,09 GW em 2019, sendo os estados de maior potência: São Paulo somando 5.444,86 MW, seguido pelo Mato Grosso do Sul com 1.941,87 MW, Minas Gerais com 1.379,57 MW, Goiás com 1.115,05 MW e o Paraná com 727, 89 MW de capacidade. A tabela 6 mostra pelos estados, a diferença entre a capacidade instalada no ano de 2018 e 2019.

	2019	2018	Dif.
SP	5.444,86	5.344,56	1,9%
MS	1.941,87	1.943,77	-0,1%
MG	1.379,57	1.326,75	4,0%
GO	1.115,05	1.110,05	0,5%
PR	727,89	726,29	0,2%
BA	529,80	529,80	0,0%
RS	315,88	315,88	0,0%
ES	279,90	279,90	0,0%
MA	277,04	285,04	-2,8%
MT	248,70	192,40	29,3%
PE	206,38	193,52	6,6%
AL	200,20	200,20	0,0%
TO	80,00	80,00	0,0%
PB	72,28	68,00	6,3%
RJ	60,93	44,00	38,5%
SE	58,50	58,50	0,0%
RN	57,00	57,00	0,0%
SC	33,07	33,07	0,0%
RO	24,00	0,00	****
PA	20,00	20,00	0,0%
PI	18,00	18,00	0,0%

Tabela 6. – Principais estados em capacidade instalada de biomassa

Fonte: CCEE (2020)

### 3.5 – Termelétricas à Óleo Diesel e Óleo Combustível

O petróleo tem origem na decomposição de matéria orgânica ocasionada por bactérias em meio à baixo teor de oxigênio, conforme Kondo (2007). Ao longo de milhões de anos este produto se acumula no fundo de oceanos, mares ou lagos, e de acordo com a pressão exercida pela crosta terrestre se torna uma substância líquida oleosa. O petróleo será responsável pela criação de inúmeros derivados, tais como a gasolina, o óleo combustível e o óleo diesel, sendo os dois últimos utilizados para a geração térmica de energia elétrica.

Dados da Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP), foram consumidos cerca de 98,82 milhões de barris de petróleo por dia no ano de 2018, com projeção de aumento para os próximos anos. Ainda segundo este estudo, o Brasil ocupa a decima quinta posição na lista dos países com as maiores reservas de petróleo no mundo, o que gira em torno de 12,7 bilhões de barris, em lista encabeçada

pela Venezuela com cerca de 300,9 bilhões de barris, seguida pela Arábia Saudita com 266,5 bilhões de barris e Canadá com cerca de 169,7 bilhões de barris, segundo BBC (2019).

Em 2020 na matriz elétrica brasileira, de acordo com ONS (2020), cerca de 4.404 MW são provenientes de usinas que utilizam o óleo combustível e óleo diesel como fonte de energia, com 26 unidades distribuídas pelo país. Entre elas, a usina com maior capacidade de geração corresponde à termelétrica de Suape II, conforme Suape Energia (2020), que utiliza o óleo combustível como fonte de combustão. Inaugurada em 2013, com a potência nominal de 381 MW, segundo Gesel (2015), a unidade é capaz de fornecer energia para cerca de 2 milhões de pessoas. A tabela 7 mostra todas as termelétricas em funcionamento no Brasil e suas respectivas capacidades de geração em MW.

<b>Usina</b>	<b>Combustível Utilizado</b>	<b>Capacidade (MW)</b>
Igarapé	Óleo Combustível	131
Camaçari Muricy I	Óleo Combustível	147
Camaçari Polo de Apoio I	Óleo Combustível	150
Global II	Óleo Combustível	149
Pau Ferro I	Óleo Diesel	94
Termocabo	Óleo Diesel	50
Suape II	Óleo Combustível	381
Petrolina	Óleo Combustível	136
Termoparaíba	Óleo Combustível	162
Campina Grande	Óleo Combustível	169
Potiguar III	Óleo Diesel	55
Maracanaú I	Óleo Combustível	163
Geramar I 4LEN10	Óleo Combustível	159
Termonorte II	Óleo Diesel	320
Rio Acre	Óleo Diesel	45
UTE Santana + UTE Santana II	Óleo Diesel	58
Santarém	Óleo Diesel	0

UTE Emergencial Araguaia	Óleo Combustível	23
Brasília	Óleo Diesel	10
Palmeiras de Goiás	Óleo Diesel	140
Goiânia II	Óleo Diesel	140
Xavantes Aruanã	Óleo Diesel	54
Daia	Óleo Diesel	38
US. Carioba	Óleo Combustível	36
Oswaldo Aranha	Óleo Combustível	66
Nutepa	Óleo Combustível	24

Tabela 7. – Usinas Termelétricas à Óleo Combustível e Óleo Diesel no Brasil.

Fonte: ONS (2020) EDITADA

No cenário dos próximos anos, de acordo com Rio (2015), está prevista a gradativa redução do percentual de contribuição das termelétricas no processo de expansão da matriz elétrica brasileira. O leilão de 2020 exclusivo para usinas termelétricas reforça essa tese, pelo qual deverão ser substituídas usinas com contrato vigente até 2023 e 2025. Um dos principais motivos para tal decisão é o alto custo variável unitário (CVU) que estas usinas apresentam em seu funcionamento, o mais elevado entre as termelétricas. Ainda segundo FGV Energia (2017), os leilões ocorridos após a crise de racionamento em 2001 foram responsáveis pela expansão das térmicas à diesel e óleo combustível, na época acreditava-se que tais usinas seriam utilizadas apenas para suprir uma rara carência na geração hídrica, com a expectativa de serem acionadas poucas vezes. As térmicas a óleo diesel e óleo combustível possuem um custo fixo baixo, o que acabou contribuindo por serem vencedoras nos leilões, no entanto o que se provou nos anos seguintes foi o contrário: por questões ambientais relacionadas à expansão da geração hídrica, aliadas à escassez de recursos aplicados na construção das mesmas, e ainda por conta de reformulações feitas no setor elétrico, cada vez mais estas termelétricas foram necessárias para garantir a segurança do setor, e com uma demanda regular anual e CVU alto acabam impactando no preço final das contas de energia. Outro fato que corrobora para a diminuição no percentual de participação destas usinas, é o fato de que também na época em que foram vencedoras dos leilões, não havia um setor de

gás natural com bom desenvolvimento e infraestrutura para fornecer insumos, fonte esta que atualmente é cotada para assumir um protagonismo maior na base do sistema.

O funcionamento das termelétricas à óleo diesel e óleo combustível segue basicamente os modelos das demais termelétricas à vapor, conforme Leão (2020). Neste caso o combustível é transportado da área de armazenamento, pré-aquecido e injetado na fornalha por meio de queimadores (maçaricos), aquecendo assim as paredes da fornalha, recoberta de tubos de água que irá evaporar em alta pressão com o calor produzido. O vapor produzido irá ser transportado até a turbina do gerador, e quando se expande, irá movimentar esta turbina, completando o ciclo de conversão de energia térmica em energia mecânica e por último em energia elétrica.

Entre os impactos ambientais provocados por centrais termelétricas à diesel e óleo combustível, segundo Colossi (2012), é possível destacar: a acidificação terrestre provocada pela produção dos gases dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>) e dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) que são gases tóxicos expelidos na etapa de geração de energia, a diminuição da vazão de água nos rios utilizados para o processo de refrigeração das caldeiras e tubulação, a eco toxicidade ambiental durante a produção de óleo combustível com a emissão de fósforo e metais pesados para o ambiente e que também pode ser considerado tóxico para os seres humanos, além da emissão de CO<sub>2</sub> durante o processo de geração que é um gás do efeito estufa, e segundo muitos estudiosos, um agravante do fenômeno do aquecimento global.

### **3.6 Energia Termonuclear**

#### **3.6.1 Cenário Mundial Atual**

A energia termonuclear é proveniente da reação atômica em alguns elementos químicos, de acordo com Eletrobrás Eletronuclear (2020), esta reação é capaz de transformar massa em energia num princípio demonstrado pelo físico teórico alemão Albert Einstein. O processo é obtido de maneira espontânea em alguns elementos, porém é necessário ser provocado em outros através de técnicas específicas. Ainda

segundo Eletrobrás Eletronuclear (2020), a fissão do átomo de urânio é a técnica mais utilizada para geração de eletricidade em usinas termonucleares. Esta técnica é responsável pelo funcionamento de mais de 400 centrais nucleares em 30 países ao redor do mundo, de acordo com IAEA (2016), o parque gerador é concentrado principalmente na Europa (34%), América do Norte (31%) e Ásia (22%). A figura 3 apresenta os reatores em operação divididos por países.

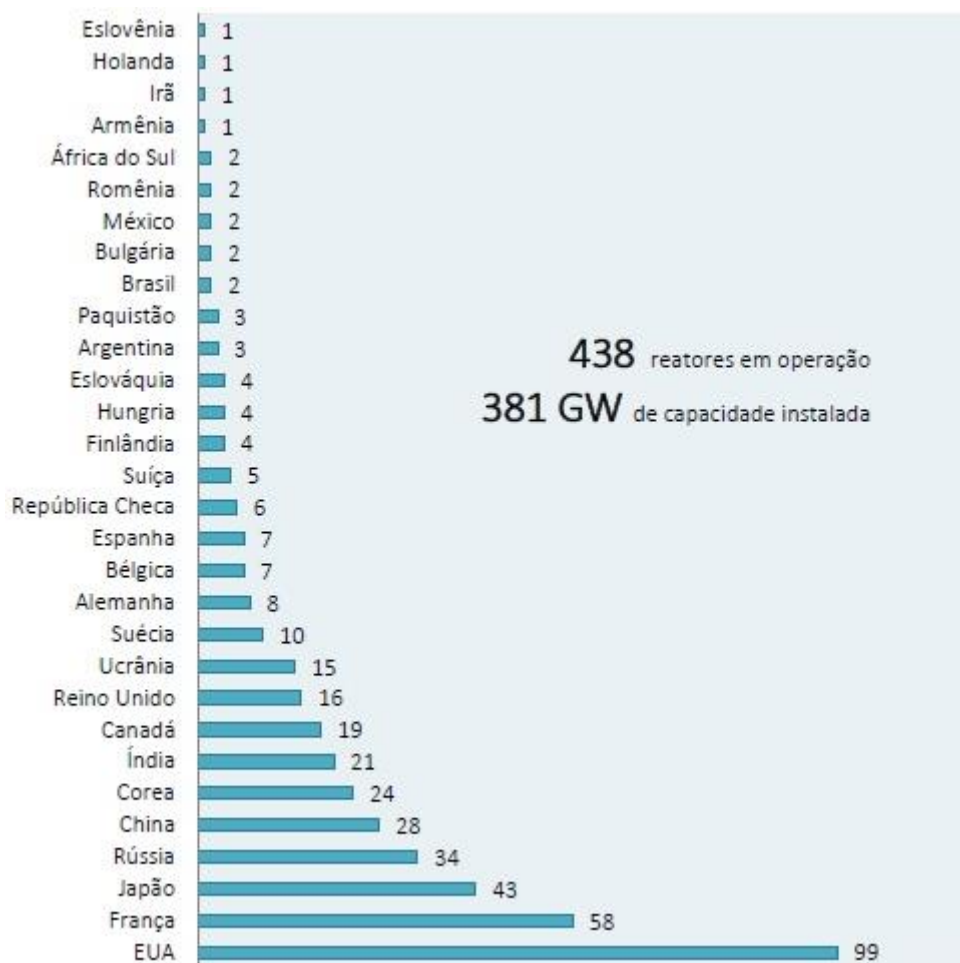


Figura 3 – Reatores em Operação no Mundo em 2015

Fonte: Adaptado de IAEA–International Atomic Energy Agency – PRIS (2016)

Os Estados Unidos é o país que apresenta a maior utilização da tecnologia nuclear para geração de energia elétrica, dispondo, segundo Tolmasquim (2016), de um total de 99 reatores em operação e entregando cerca de 98.708 MW no ano de 2015, o que corresponde a 19,5% do total gerado no país. A França é outro país que se destaca no cenário da utilização de energia nuclear, ainda de acordo com Tolmasquim (2016), sendo o maior exportador de energia em todo o mundo. O país

conta com 63.130 MW de carga instalada, e sua população gira em torno de 65 milhões de habitantes, de acordo com Countrymatters (2020), o que torna o país o maior utilizador de energia nuclear per capita no mundo, entregando quase 1 GW por milhão de habitantes. A figura 4 mostra a capacidade instalada da fonte nuclear dividido por países no ano de 2015.

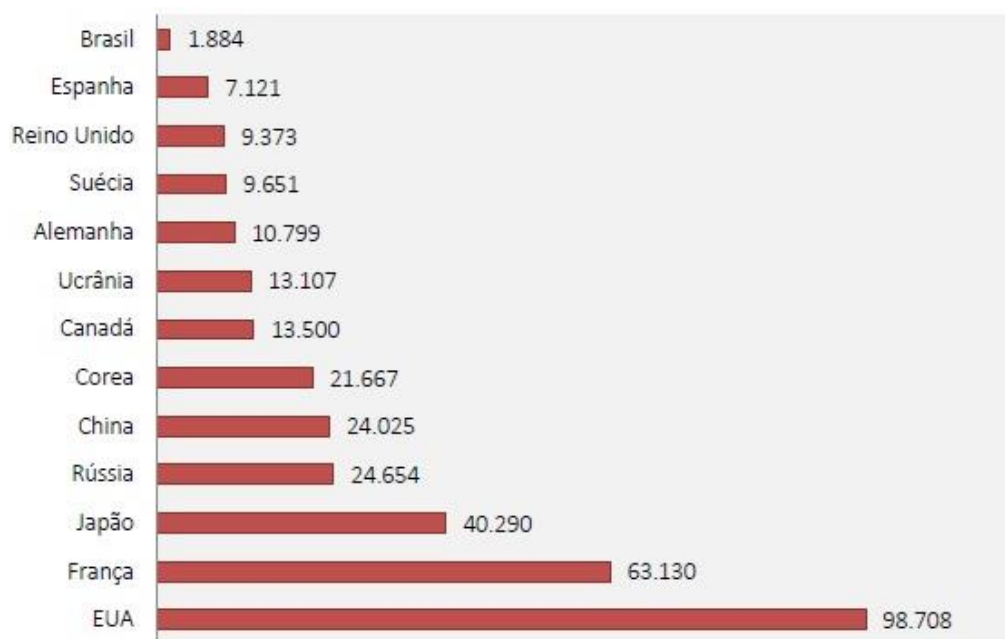


Figura 4 - Capacidade Instalada de Energia Nuclear Cenário Global em 2015 (MW)

Fonte: Adaptado de IAEA–International Atomic Energy Agency – PRIS (2016)

Os projetos de construção de usinas nucleares tiveram uma grande intensificação, conforme Tolmasquim (2016), durante as décadas de 1970 e 1980. Este crescimento foi impulsionado por desregulamentações de mercado referentes à utilização e aperfeiçoamento da tecnologia nuclear para produção de energia elétrica, somada ao cenário da crise do petróleo ocorrido nos anos 70. Após este período de forte expansão, os investimentos no setor passaram por um declínio a partir da década de 1990. Ainda de acordo com Tolmasquim (2016), nesta década ocorreu uma diminuição no preço de outras matérias primas como o petróleo, junto ao aperfeiçoamento de alternativas atraentes como o gás natural. Outro fator determinante para estagnação do setor possível de se citar é o temor e a baixa aceitação populacional no que se refere à operação das usinas, fato agravado após a

ocorrência de acidentes nucleares graves como o de Three Mile Island ocorrido nos Estados Unidos em 1979 e o acidente de Chernobyl, que ocorreu na Ucrânia em 1986.

Apesar dos problemas apresentados o setor nuclear apresenta pontos positivos, de acordo com Portal Energia (2020), gases poluentes são expelidos apenas durante a fase de processamento do combustível para as usinas. Durante a etapa de produção de energia é expelido apenas vapor de água, que é inofensivo para a poluição atmosférica. Além deste fato, as reservas de urânio ao redor do mundo são praticamente inesgotáveis, ainda de acordo com Portal Energia (2020), especialistas apontam para uma reclassificação do urânio para uma fonte renovável, pois as reservas existentes atualmente poderão produzir energia ao longo de milhares de anos. Outro ponto a ser destacado é o fato de que uma única planta é capaz de produzir grande quantidade de energia, permanecendo por centenas de dias durante cerca de 90% do total do período de um ano, salvo ao tempo reservado a paradas programadas para manutenção e abastecimento, fornecendo segurança energética aos países.

“De maneira geral, os maiores desafios para expansão da geração nuclear são a aceitação pública e o financiamento dos elevados custos de investimento, cujo retorno requer muitos anos para acontecer”. (TOLMASQUIM, 2016).

Em 2020, segundo IAEA (2020) existem 54 reatores em construção em todo o mundo, o que deverá acrescentar cerca de 57.441 MW de capacidade instalada ao existente parque gerador nos próximos anos.

### **3.6.2 Geração Nuclear no Brasil**

A busca por energia nuclear no Brasil se iniciou oficialmente em 1951, de acordo com NUCTEC (2020), com o interesse de implantar essa nova tecnologia, o Almirante Álvaro Alberto criou o conselho nacional de pesquisa e dois anos após importou duas ultra-centrifugadoras da Alemanha para o enriquecimento do urânio.

Em 1962, segundo Tolmasquim (2016), foi criada a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), onde tinha o objetivo de garantir a utilização de forma pacífica e segura a energia nuclear, além de evoluir e oferecer a tecnologia para o bem estar da população.

Atualmente, ainda de acordo com Tolmasquim (2016), possuem diversas empresas especializadas em cada parte para a geração da energia nuclear, sendo para a produção do combustível, pelas Indústrias Nucleares do Brasil (INB), para equipamentos como reatores, geradores, feito pela Nuclebrás Equipamentos Pesados S.A (NUCLEP) e também, para o desenvolvimento desta energia, onde o Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN) é o responsável, dentre outros. A Figura 5 mostra os agentes que são responsáveis por toda a energia nuclear no Brasil.

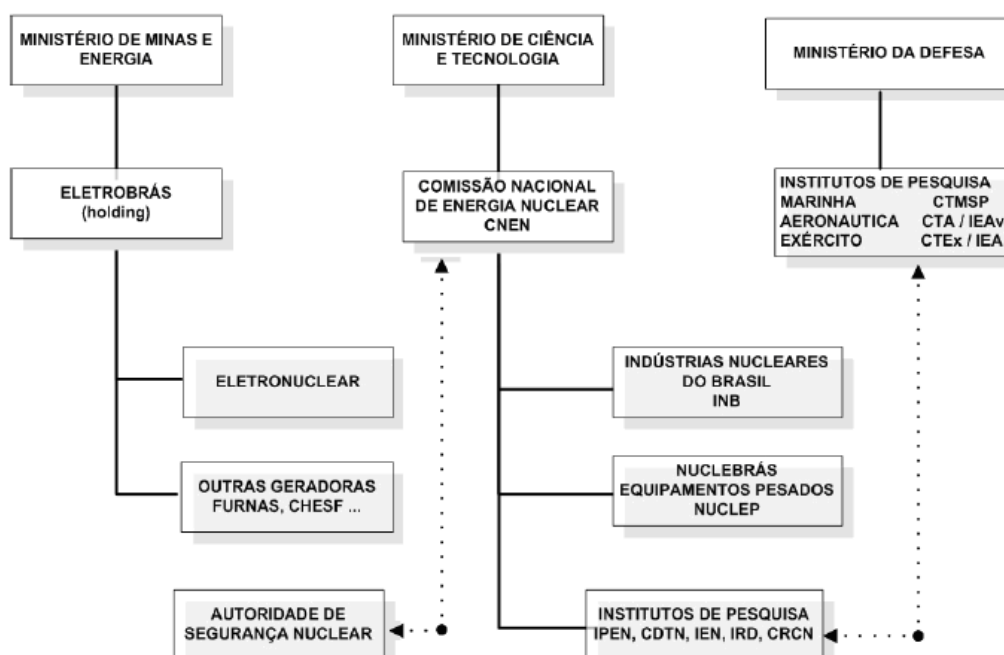


Figura 5 - Agentes do Setor Nuclear Brasileiro

Fonte: Tolmasquim (2016)

O Brasil possui apenas duas usinas nucleares, sendo as duas construídas e operadas pela empresa Eletrobrás Eletronuclear, que foi fundada no ano de 1997. Com relação a primeira usina, segundo a Eletrobrás Eletronuclear (2020), entrou em operação no ano de 1985, sendo a Angra 1, que gera 640 MW de potência, utilizando

um reator de água pressurizada (PWR). Com diversos problemas dos equipamentos e reparos necessários nos primeiros anos de operação atrapalharam o seu funcionamento, no entanto, após todos os reparos, em 2010 a usina bateu seu próprio recorde de produção.

Com essa maior estabilidade, ainda segundo a Eletrobrás Eletronuclear (2020), que várias empresas começam a pensar em investir na usina, até que a empresa americana Westinghouse adquire sob forma de Turn Key, que é segundo a Paineira (2018), um contrato de empresa para empresa, sendo que todo o processo é de compromisso da contratada, para que a obra esteja em condições de pleno funcionamento.

A segunda usina nuclear do Brasil foi a de Angra 2, onde segundo a Eletrobrás Eletronuclear (2020), foi iniciada a operação comercial em 2001, utilizando também o reator de água pressurizada (PWR), com a tecnologia, Siemens/KWU, posteriormente sendo alterada para a Areva. Esta unidade gera uma potência de 1350 MW, sendo capaz de atender uma cidade de 2 milhões de habitantes. No ano de 2009, a unidade foi a 33ª em produção de energia entre as 436 usinas em operação no mundo. A figura 6, mostra as usinas de Angra 1 e Angra 2.



Figura 6 - Usinas Angra 2 (à esquerda) e Angra 1 (à direita); os reatores, onde a energia nuclear é gerada, ficam dentro das estruturas brancas.

Fonte: Eletronuclear (2019)

A respeito da expansão na geração de energia nuclear, segundo a Eletrobrás Eletronuclear (2020), é destacado a criação de uma nova usina, a de Angra 3, que quando entrar em operação, a unidade irá gerar 1.405 MW de potência, sendo capaz de produzir 12 milhões de MW/h por ano. Essa nova usina, utilizará a mesma tecnologia e reator de Angra 2 e será suficiente para suprir cerca de 50% do consumo de energia do estado do Rio de Janeiro. Com relação ao desenvolvimento da obra civil da usina, conta com cerca de 67,1 % já executadas e o investimento para a conclusão dessa usina é de R\$ 14,9 bilhões com a base de preço de dezembro de 2014.

No entanto, de acordo com o Canal Energia (2019), além da Usina de Angra 3, existem investimentos para implementação de mais seis reatores de 1 GW, fazendo com que a potência instalada para a energia nuclear aumente para um total de 9,3 GW. O valor destes projetos deverá ser em torno de 30 bilhões de dólares em investimentos.

### **3.6.3 Reservas Brasileiras de Urânio e Ciclo do Elemento Combustível**

O solo brasileiro possui cerca de 310 mil toneladas comprovadas de urânio, segundo Pires (2013), e apenas um terço do território nacional foi explorado em uma camada com profundidade superior a 100 metros. Já a Austrália, que apresenta solo semelhante ao brasileiro detém cerca de 1 milhão de toneladas de urânio conhecidos, onde pode-se especular que o Brasil ainda possua cerca de 800 mil toneladas, ainda de acordo com Pires (2013), esta quantidade apesar de especulativa apresenta considerável possibilidade de ser confirmada. Ainda conforme Pires (2013), para efeitos de comparação, as reservas brasileiras atuais de urânio correspondem a 238 anos de abastecimento de gás natural oriundo da Bolívia para o Brasil (25 milhões de metros cúbicos ao dia), caso a jazida seja totalmente utilizada para obtenção de energia elétrica. Seguindo nesta comparação, a diferença aumentaria para 850 anos ao adicionar todas as reservas brasileiras especuladas.

Com relação aos custos de produção de urânio no padrão utilizado mundialmente, segundo Tolmasquim (2016), são 4 limites de recursos extraíveis e o custo é de igual ou inferior à 40 US\$/kgU, 80 US\$/kgU, 130 US\$/kgU e 260 US\$/kgU

(considerando os custos de mineração, transporte e processamento, ambientais, custos indiretos e amortização). Estas estimativas são geralmente feitas em quilogramas de urânio contido (kgU), podendo ser feitas também em t U<sub>3</sub>O<sub>2</sub>, que corresponde a toneladas de óxido de urânio.

No Brasil, conforme INB (2013), as reservas de urânio medidas e indicadas com custo de até 80 US\$/kgU, levando em consideração as jazidas de Caldas (BA), Santa Quitéria (CE) e Lagoa Real (BA) correspondem a cerca de 177.500 toneladas de óxido de urânio. As reservas inferidas que possuem o mesmo custo possuem aproximadamente 131.870 toneladas. Para exemplificar com relação à quantidade de urânio em razão da energia elétrica produzida, apenas a jazida de Caetité localizada em Lagoa Real (BA), de acordo com Sato (2016), possui reservas em torno de 100.770 toneladas de urânio, quantidade suficiente para abastecer as usinas de Angra 1, Angra 2 e Angra 3, além de mais quatro plantas geradoras (totalizando cerca de mais 4.000 MW) por um período de 40 anos, que é o tempo de vida útil das usinas. A tabela 8 apresenta as reservas brasileiras de urânio de acordo com seus respectivos depósitos levando em consideração os custos de produção.

Depósito - Jazida	Medidas e Indicadas			Inferidas	Total (t)
	<40 US\$/kgU	<80 US\$/kgU	Sub-total	<80 US\$/kgU	
Caldas (MG)	-	500	500	4.000	4.500
Lagoa Real /Caetité (BA)	24.200	69.800	94.000	6.770	100.770
Santa Quitéria (CE)	42.000	41.000	83.000	59.500	142.500
Outras	-	-	-	61.600	61.600
<b>Total</b>	<b>66.200</b>	<b>111.300</b>	<b>177.500</b>	<b>131.870</b>	<b>309.370</b>

Nota: Potencial adicional (Pitinga e Carajás): aprox.300.000 t

Tabela 8.- Reservas de Urânio no Brasil e seus Depósitos.

Fonte: Tolmasquim (2016)

“A exploração, a pesquisa e a definição de reservas de urânio, com o desenvolvimento de jazidas até a abertura de mina, necessitam de investimentos vultosos. Considerando o potencial mineral e as áreas ainda pouco conhecidas, o Brasil representa uma região muito favorável à descoberta de novos jazimentos.” (INB, 2013).

Entre as principais jazidas de urânio do Brasil, segundo INB (2013) está o distrito uranífero de Lagoa Real (BA). Descoberto na década de 1970 após diversos estudos e levantamentos aerogeofísicos, fica localizado cerca de 20 km da cidade de Caetité. Em 1996 ficou concluído o projeto básico da mina, com produção em torno de 400 toneladas de urânio ao ano, no formato jazida à céu aberto, a mesma jazida abriga outros 33 depósitos que poderão ser explorados gradualmente. Com relação à operação da mina existem críticas e controvérsias, de acordo com BBC (2019), entre os anos de 2000 e 2009 houve ao menos 5 acidentes que acabaram contaminando rios e solo da região, além de acusações de ocorrência da exposição de trabalhadores durante a operação de logística do material radioativo. Em 2014 devido à atrasos relacionados ao licenciamento ambiental para exploração em novas minas da região, de acordo com O Globo (2016), houve a paralisação das atividades de mineração, diminuindo a oferta de urânio no país e acabou tornando necessário a importação do minério junto a outros países. Outro fato que agravou gerando atraso na retomada da exploração das minas foi a crise econômica ocorrida no país no período, os investimentos no setor provenientes da estatal INB acabaram tornando-se mais escassos. Em 2019, no entanto, conforme BBC (2019), houve a liberação dos trabalhos ainda que de forma preliminar por parte do governo para o retorno da exploração em mina da região, prevendo um novo modelo para exploração de urânio e destinação aos seus rejeitos, com parcerias de investimento público-privados. A figura 7 mostra o minério de urânio extraído do complexo de Caetité na Bahia.



Figura 7 – Minério de Urânio extraído em Caetité BA

Fonte: Acervo INB

O processamento básico de mineração do urânio, conforme Sato (2016), passa pela extração do minério de uma camada de terra e trituração do mesmo formando roxas moídas, onde é despejada uma solução ácida para que o urânio se separe do minério num processo denominado lixiviação, tornando-se um líquido de coloração amarelada. Este líquido é então decantado e filtrado, tornando-se um concentrado amarelo conhecido como “yellow cake”, posteriormente embalado e enviado ao Canadá para a etapa de conversão onde o concentrado é transformado no gás hexafluoreto de urânio (UF<sub>6</sub>).

O urânio em forma de gás é então transportado para a Holanda, onde é enriquecido no interior de centrífugas, de acordo com Pires (2013), o gás é girado em extrema velocidade de forma a separar os átomos mais leves conhecidos como urânio 235, dos mais pesados que são os de urânio 238. O urânio 235 é enriquecido, passando de uma concentração de 0,7% para 3,75%, desta forma o átomo será capaz de produzir energia elétrica. Para efeitos de comparação, em cada tipo de utilização, conforme Pires (2013), o urânio necessita de uma porcentagem de concentração. Em utilização destinada à medicina este nível de concentração gira em torno de 20%, já na utilização bélica como por exemplo na construção de bombas nucleares, esta porcentagem de urânio 235 chega ao patamar de 95%. Após o processo de enriquecimento, segundo INB (2020), o urânio é misturado a uma outra substância para que retorne a forma de pasta, sendo filtrado e levado ao forno, tomando a forma de pó. Na sequência este pó é prensado em formas cilíndricas de 1 cm de diâmetro que são por último sinterizadas em forno para adquirirem resistência, finalizando o processo de enriquecimento e enviadas à testes de segurança. Por último, conforme INB (2020) essas pastilhas são empilhadas no interior de cilindros de liga de aço resistente denominados zircaloy, comportando 335 pastilhas de urânio em cada cilindro. Um conjunto de 236 cilindros é necessário para formar uma unidade do elemento combustível, que poderá ter até 5 m de altura, e será responsável por alimentar os reatores de uma usina nuclear.

#### **3.6.4 Princípio do Funcionamento e Tecnologias**

O funcionamento de uma usina nuclear, de acordo com IAEA (2015), possui uma forma de geração semelhante ao das outras termelétricas convencionais, pois utiliza como base o ciclo de Rankine. Este ciclo se dá pelo aquecimento de vapor a alta pressão, que quando é expandido, faz com que a turbina térmica opere e movimente um gerador elétrico conectado ao seu eixo, ao sair da turbina o vapor em baixa pressão é resfriado, condensado e novamente aquecido.

A usina termonuclear, segundo Tolmasquim (2016), se diferencia das outras termelétricas no fato de utilizar um combustível nuclear (urânio) e principalmente a condição de aquecimento e vaporização da água. Para essa vaporização, conforme Energia Nuclear (2018) é necessário o uso de um reator que tem o objetivo de iniciar o processo, controlar e manter a fissão nuclear no núcleo da instalação. O interior dos reatores nucleares, de acordo com UNIGRAN (2020) é composto por combustível nuclear, um líquido refrigerante, elementos de controle de fissão, materiais estruturais e um moderador nuclear.

O combustível é apenas para abastecer e manter o funcionamento, o principal componente do interior de um reator são os elementos de controle de fissão nuclear. A fissão nuclear que é um processo funciona, segundo UFJF (2020), da incidência do nêutron sobre o núcleo atômico, que se chocarem de maneira acelerada, o átomo que tem um núcleo fissionável, se divide em dois, surgindo assim dois novos núcleos, e são liberados até três nêutrons, liberando elevada quantidade de energia, onde em sequência esses nêutrons se chocam com outros núcleos atômicos e assim inicia uma reação em cadeia.

Com relação aos tipos de reatores, segundo o UFJF (2020), os mais utilizados no mundo são os de água pressurizada (PWR) e o reator de água fervente (BWR). Dentre elas, vale destacar o reator de água pressurizada, pois é, segundo Sato (2016), a tecnologia responsável para as duas usinas que estão localizadas no Brasil, a de Angra 1, Angra 2 e para a de Angra 3, que ainda será inaugurada. A figura 8 mostra distribuição dos tipos reatores no mundo.

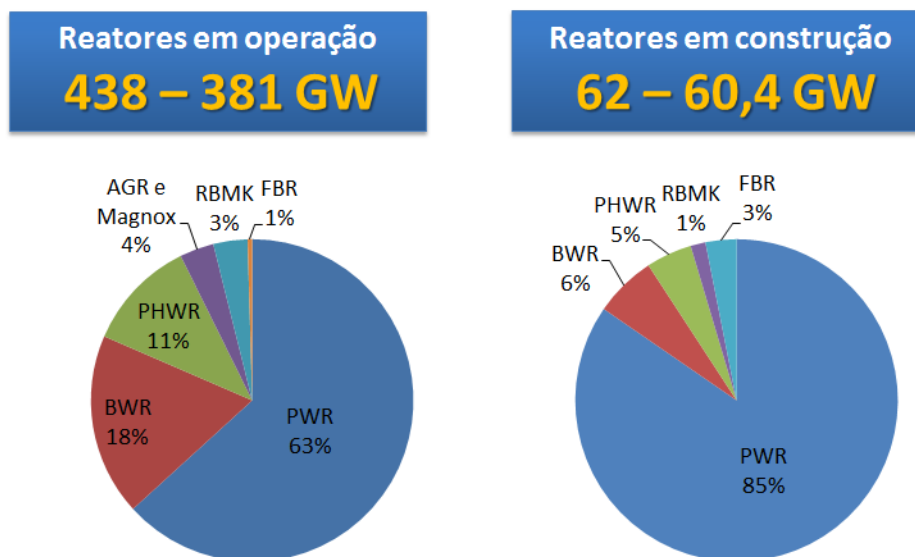


Figura 8 - Reatores em operação no mundo por tipo

Fonte: Tolmasquim (2016).

Este tipo de reator, segundo Sato (2016), funciona quando há a criação de vapor feito no lado secundário do gerador por meio de trocadores de calor do tipo U, considerando a potência necessária na usina, pode ter de dois a quatro geradores de vapor. Uma vantagem dos reatores PWR é que o circuito secundário não depende do primário, oferecendo assim uma barreira eficiente entre o material radioativo e o ambiente.

No entanto, ainda conforme Sato (2016), um dos problemas desses reatores PWR, é o custo elevado, pois é necessário uma estrutura com, o sistema primário, o vaso do reator, componentes específicos, com o pressurizador e os geradores de vapor, para que tenha o controle da água com alta pressão sem que cause a vaporização da água. A figura 9 mostra o esquema de uma usina nuclear com reator a água pressurizada.

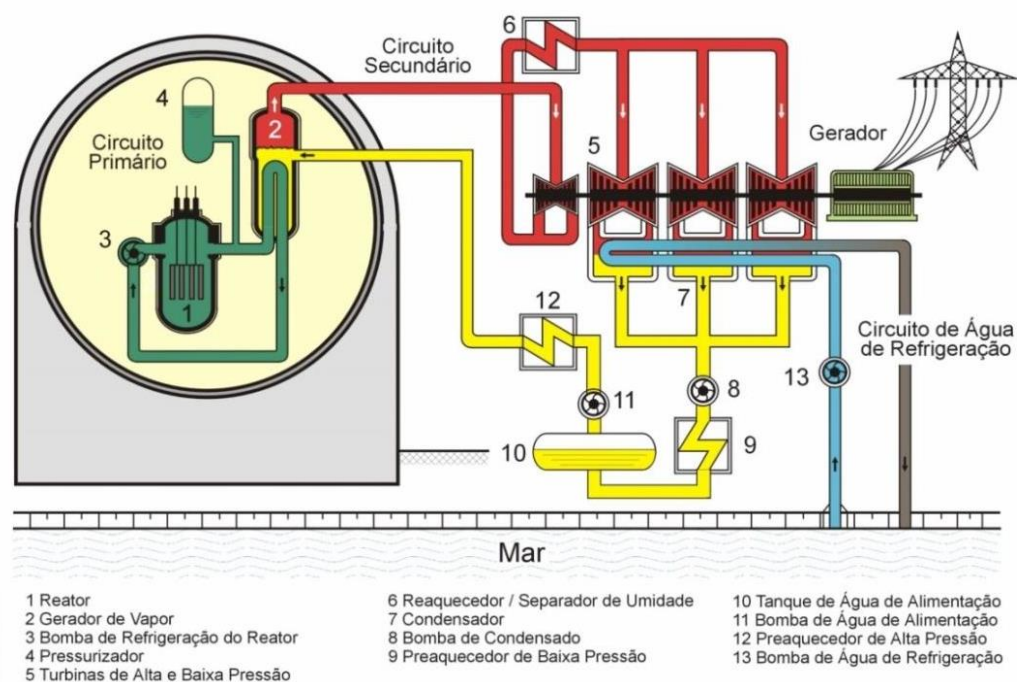


Figura 9 - Representação esquemática da geração nuclear – PWR

Fonte: Eletronuclear, 2013

Outro reator utilizado com abundância é o reator de água fervente (BWR), de acordo com Santos (2015), diferentemente do reator de água pressurizada, trabalha com pressão menor, que por meio da vaporização da água ao se encontrar com o núcleo do reator, faz com que ocorra uma retirada do calor.

Ainda segundo Santos (2015), este reator pode ser dividido entre dois ciclos: direto e indireto. Sendo o direto o que o vapor percorre direto do reator para as turbinas, no entanto, o indireto, possui um gerador, onde é feita a transferência de calor do estágio primário para o secundário. No entanto, de acordo com UFJF (2020), uma das desvantagens desse reator é o de possuir um maior risco de contaminação em comparação ao reator de água pressurizada.

### 3.6.5 Questões Econômicas e Ambientais

Nos últimos anos houve um aperfeiçoamento das tecnologias relacionadas à extração de gás não convencional ou gás de xisto, segundo Tolmasquim (2016), o

que acabou acarretando o aumento da oferta deste combustível e conseqüentemente diminuindo seu preço. Este fato afetou a competitividade econômica das usinas nucleares em operação. Houve em contrapartida esforços e investimentos no setor nuclear para aumentar o fator de capacidade das usinas, ou seja, sua proporcional produção de energia em determinado período, além de prolongar sua vida útil, o que poderá aumentar novamente sua competitividade. Nos Estados Unidos por exemplo, de acordo com WNA (2014), o fator de carga das usinas em média era de 66% em 1990 e obteve considerável aumento para 81% em 2012, assim como suas vidas úteis foram estendidas por mais 20 anos. A figura 10 apresenta os fatores médios de capacidade de usinas em todo o mundo no período entre 2012 a 2014, incluindo as brasileiras Angra 1 e Angra 2.

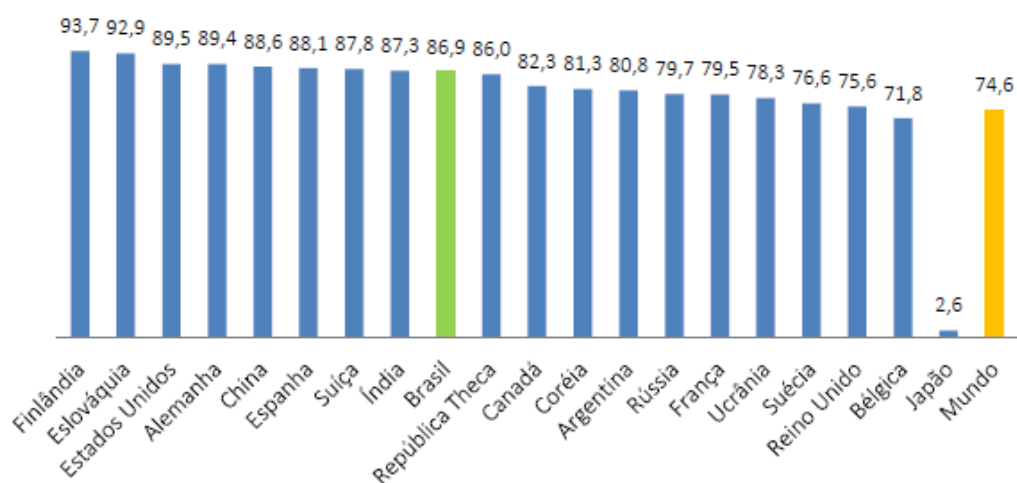


Figura 10. - Fator de Capacidade Médio das Usinas Nucleares

Fonte: IAEA, 2016 – Adaptada.

De acordo com Tolmasquim (2016), os custos de operação e manutenção de usinas nucleares são diretamente relacionados ao desempenho técnico da central, ou seja, o mesmo será reduzido conforme maior a eficiência e a gestão aumentando o fator de disponibilidade, que se refere ao período em que a usina está em pleno funcionamento. Outro fator importante refere-se aos níveis de segurança durante sua operação requeridos por órgãos regulatórios presentes em cada país. Ainda acerca dos custos operacionais e de manutenção é possível destacar o fator técnico da queima de combustível que está diretamente relacionado a tais custos, ou seja,

quanto maior a eficiência, haverá menor necessidade de reabastecimento e menores custos, além de aumentar por consequência o fator de disponibilidade da usina.

Cerca de dois terços do custo do empreendimento nuclear é recorrente aos investimentos básicos, ainda segundo Tolmasquim (2016), utiliza-se o termo EPC (Engineering Procurement Construction) para designar os custos com a construção, excluindo os juros. Cerca de 50% do EPC refere-se à mão de obra utilizada na montagem (custos diretos), já a outra metade destes custos está relacionada à infraestrutura local como: linhas de transmissão, água necessária e torres de resfriamento para a operação, prédios administrativos e depósitos, transporte de equipamento, gerenciamento do projeto e licenciamentos, além dos impostos e custos com recrutamento e treinamento de pessoal. Nos últimos anos, houve um aumento nos custos em determinados materiais utilizados na construção de uma usina, o que afeta em 30% no valor da construção de uma termonuclear mais avançada. Outro fator que poderá acarretar um aumento de custos refere-se aos fornecedores em setores chave, que são reduzidos e conta com poucos dotados para um significativo aumento na demanda. A tabela 9 mostra a composição do custo de capital para a construção de novos reatores.

Itens	% do EPC
Obras civis e instalação	15%
Equipamentos mecânicos e instalação	28%
Equipamentos elétricos e instalação	5%
Projetos indiretos	23%
Taxas e contingências	11%
Custos do proprietário	18%
Custo total do projeto	100%

Tabela 9. - Porcentagem do EPC por Custos em Construção de Novos Reatores

Fonte: Energy Information Administration (EIA) – Adaptada.

Os custos de produção energética de uma usina nuclear, de acordo com Tolmasquim (2016), competem 26% para o valor do combustível utilizado, onde inclui-se todas as etapas de enriquecimento e exploração de urânio, além das demais

etapas de conversão, fabricação e de fundo residual, sendo os outros 74% referindo-se a operação e manutenção da planta. Para efeitos de comparação, uma central movida à carvão utiliza cerca de 77% dos custos de produção energética para o combustível empregado e 23% para operação e manutenção. Já as usinas a gás natural utilizam 94% do capital destinado à sua produção de energia em seu combustível utilizado e apenas 6% para sua manutenção e operação.

As despesas destinadas à gestão de rejeitos nas term nucleares, de acordo com IAEA (2015), podem variar entre 200 e 500 milhões de dólares, onde inclui-se os rejeitos radiológicos, o combustível utilizado e a reestruturação do local.

No aspecto ambiental entre as principais preocupações relacionadas a produção nuclear de energia estão os resíduos radioativos, conforme Santos (2015), eles estão divididos nas seguintes categorias: resíduos de baixa atividade, de média atividade e de alta atividade. Os rejeitos de baixa e média atividade, deverão ser mantidos isolados de qualquer contato com o meio externo durante um período inferior à 200 anos. Entre eles, ainda segundo Santos (2015), é possível citar itens contaminados pela radiação: como roupas de proteção, ferramentas, filtros e resíduos que foram utilizados no tratamento do líquido responsável pela refrigeração do reator. Estes rejeitos são blindados em armazenamento no interior de barris utilizando chumbo, concreto ou outro material isolante capaz de impedir que a radiação atinja o ambiente externo. E por último os rejeitos de baixa e média atividade são alocados em depósitos no interior de prédios com capacidade adicional de blindagem, localizados no interior das próprias usinas nucleares, como é o caso de Angra 1 e Angra 2.

“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”. (Sato, 2016).

Com relação aos resíduos de alta atividade que são os próprios elementos combustíveis após a queima, conforme Santos (2015), os materiais são acondicionados no interior de piscinas, que ficam localizadas também no interior das centrais term nucleares, onde os elementos combustíveis foram utilizados. O método é utilizado pelas usinas Angra 1 e Angra 2 e é caracterizado pela profundidade das piscinas que necessitam ter 7 metros de camada de água acima do elemento

combustível com o objetivo de simular uma blindagem para evitar uma possível contaminação ao que se localiza nos arredores da piscina, ou mesmo algum indivíduo humano. As piscinas possuem equipamentos que permanecem em constante operação para permitir a troca de calor, possibilitando o resfriamento da água, além de sistema de bombeamento para a sua circulação. A figura 11 mostra a piscina destinada ao depósito de rejeito de alta atividade em Angra 2.



Figura 11 - Piscina Destinada à Rejeitos de Alta Atividade em Angra 2  
Fonte: Eletronuclear (2020)

Ainda segundo Santos (2015), ao atingir o limite ao qual uma piscina comporte para o armazenamento de elemento combustível, a mesma poderá ser ampliada e por último existe a opção de armazenamento à seco. De acordo com Sato (2016), tal método consiste no material radioativo ser alocado em cascos metálicos ou de concreto e posteriormente transportado para um local denominado “armazenamento geológico profundo”, localizado no subsolo ou em terrenos geológicos conhecidos, o que configurará um local definitivo para o resíduo durante um longo período de tempo, evitando que qualquer ser vivo possa ser contaminado radioativamente. Porém, tal armazenamento à seco apenas poderá ser realizado após o armazenamento temporário no interior das já citadas piscinas, pois será necessário o resfriamento do material de maneira imediata, de acordo com Santos (2015), o prazo para o resfriamento é de 3 a 5 anos, onde o calor é aos poucos reduzido.

No Brasil, segundo Sanágua (2014), todo o rejeito radioativo da produção de energia nuclear nas usinas de Angra dos Reis está de forma temporária no Centro de Gerenciamento de Rejeitos, localizado nas dependências das próprias usinas. Porém com o plano de construção de Angra 3, entrou em caráter de exigência junto ao projeto

desta a construção de um depósito geológico definitivo que poderá receber o lixo radioativo por um período de 100 anos. O local servirá também para comportar o material radioativo de quaisquer outras instalações futuramente construídas, além de resíduos radioativos hospitalares.

“Como o processo de geração de energia é por fissão nuclear, e não combustão, as usinas nucleares não produzem diretamente quantidades significativas de poluentes atmosféricos nem gases de efeito estufa. As termoeletricas também emitem pequenas quantidades de gases e líquidos radioativos. Eles são coletados, tratados e monitorados em conformidade com as normas da CNEN, sendo assim não originam prejuízos à saúde humana nem ao meio ambiente.” (TOLMASQUIM,2016)

Ainda no tocante ao cenário ambiental, conforme Tolmasquim (2016), é necessário atentar-se para outros aspectos de poluição ambiental como os efluentes expelidos pelas usinas como o esgoto sanitário que deverá ser tratado. Durante o processo de resfriamento na produção de energia as usinas nucleares brasileiras utilizam água do mar, pelo fato da proximidade das unidades ao litoral. Durante este processo a água captada circula no interior da usina e voltará para o mar com temperatura mais elevada, o que deve ser monitorado e controlado para não comprometer a qualidade da água ou mesmo afetar o ecossistema marinho presente.

#### **4 ESTUDO DE CASO**

Para realizar a análise econômica comparativa serão utilizados os dados referentes a três diferentes usinas termelétricas, que são operadas por meio dos seguintes combustíveis: gás natural, carvão mineral e urânio. Para isso, será realizada uma análise dos custos relacionados a construção dessas unidades, os custos de operação e manutenção, os custos de geração energética ou custo variável unitário (CVU), e também os custos referente ao consumo de combustível utilizado para a geração de energia e os dados técnicos das usinas tais como: potência instalada (MW) e energia produzida (MWh/ano).

Os custos serão analisados de forma a promover uma comparação entre as termelétricas, com ênfase em demonstrar possíveis vantagens ou desvantagens da

utilização da energia nuclear na matriz elétrica brasileira, concluindo este trabalho apontando para a viabilidade econômica da expansão das usinas nucleares no Brasil.

#### **4.1 Usina de Araucária**

A usina a gás utilizada neste estudo é a unidade de Araucária, localizada no município homônimo no estado do Paraná, que possui o nome UEGA – Usina Elétrica a Gás de Araucária. Construída em 2002, as empresas operadoras responsáveis pela usina de acordo com UEGA (2020), são a Petrobrás e a Copel. A potência instalada para esta unidade, ainda segundo UEGA (2020), corresponde a 469 MW. Em 2014, de acordo com UEGA (2015), a energia produzida pela usina foi em torno de 3.420.819 MWh, quantidade considerada recorde de produção desde sua construção e início de operação comercial.

O custo de construção da usina de Araucária, segundo Gazeta do Povo (2014), é da ordem de US\$ 340 milhões. O valor convertido para o Real usando a cotação de agosto de 2020 equivale a R\$ 1,6 bilhão.

O custo de operação e manutenção da usina, de acordo com UEGA (2014), corresponde ao valor de R\$ 25,83 milhões anuais referente ao ano de 2014.

O custo do combustível gás natural no período de um ano foi de R\$ 1,39 Bilhão, segundo UEGA (2014), utilizando do custo demonstrado no ano recorde de sua produção.

O Custo Variável Unitário (CVU) para a unidade geradora de Araucária em 2020, de acordo com Canal Energia (2020), é de 694,77 R\$/MWh incluídos os custos fixos, este valor é reduzido para 498,55 R\$/MWh sem a inclusão deles.

A tabela 10 apresenta os custos citados para estudo de caso, por sua vez a tabela 11 demonstra os valores relacionados a produção energética e o CVU da Usina de Araucária.

Tipos de Custos	Valor (R\$)
Construção	1.600.000.000,00
O&M	25.830.000,00
Combustível	1.390.000.000,00

Tabela 10. - Custos para Análise – Usina Araucária

Fonte: Elaboração Própria (2020)

Descrição	Valor
Potência Instalada (MW)	469
Energia Produzida (MWh/ano)	3.420.819
CVU (R\$/MWh)	694,77

Tabela 11. – Produção Energética e CVU – Usina Araucária

Fonte: Elaboração Própria (2020)

## 4.2 Usina Pampa Sul

A usina de Pampa Sul está localizada no município de Candiota, no estado do Rio Grande do Sul. A unidade que utiliza carvão mineral como combustível para a geração é capaz de produzir 345 MW em potência nominal. No período de julho de 2019 a julho de 2020 a unidade produziu 1.330.400 MWh, conforme Engie (2020).

Ainda de acordo com Engie (2020), a usina de Pampa Sul pertence ao grupo privado Engie Brasil Energia S.A e iniciou sua operação comercial em junho de 2019. O custo de construção da unidade, ainda segundo Engie (2020), é de R\$ 2 bilhões e pode ser considerado o maior empreendimento termelétrico realizado no sul do país nos últimos anos.

De acordo com Engie (2020), o custo de operação e manutenção da usina de Pampa Sul é realizado por empresas terceirizadas e no qual está incluído em balanço patrimonial denominado como materiais e serviços de terceiros. No primeiro semestre de 2020, período que corresponde de janeiro a junho, foram gastos com operação e

manutenção o valor de R\$ 42,6 milhões. Projetando esse valor para o segundo semestre de 2020 é possível estimar o custo de R\$ 85,2 milhões ao ano.

Com relação ao custo com combustível para esta usina, conforme Engie (2020), o balanço patrimonial aponta para um valor de R\$ 39,6 milhões no período de janeiro a junho de 2020, no qual é possível estimar o custo total de R\$ 79,2 milhões ao ano.

O custo variável unitário para essa unidade, segundo Portal ND (2020), é de 235,68 R\$/MWh.

A tabela 12 demonstra os dados referentes para estudo de caso. Em seguida, a tabela 13 demonstra os valores relacionados a produção energética e o CVU da Usina Pampa Sul.

Tipos de Custos	Valor (R\$)
Construção	2.000.000.000,00
O&M	85.200.000,00
Combustível	79.200.000,00

Tabela 12. - Custos para Análise – Usina Pampa Sul

Fonte: Elaboração Própria (2020)

Descrição	Valor
Potência Instalada (MW)	345
Energia Produzida (MWh/ano)	1.330.400
CVU (R\$/MWh)	235,68

Tabela 13. – Produção Energética e CVU – Usina Pampa Sul

Fonte: Elaboração Própria (2020)

### 4.3 Usina Angra 1

Localizada no município de Angra dos Reis no estado do Rio de Janeiro, a usina nuclear de Angra 1, empresa administrada pela estatal Eletrobrás Eletronuclear,

iniciou suas operações no ano de 1985. Sua capacidade instalada de geração corresponde a 640 MW, de acordo com Eletronuclear (2020), sendo capaz de fornecer energia para cerca de 1 milhão de habitantes. No ano de 2019, segundo Agência Brasil (2020), foram produzidos 5.546.164MWh pela usina, estabelecendo um novo recorde de energia gerada desde o início de sua operação.

A tabela 14 apresenta dados gerais da usina de Angra 1, bem como suas irmãs: usinas de Angra 2 e Angra 3, que fazem parte do mesmo parque gerador.

<b>Característica</b>	<b>Angra 1</b>	<b>Angra 2</b>	<b>Angra 3 (*)</b>
Potência instalada (MW)	640	1350	1405
Início das obras (ano)	1972	1976	1981
Início da operação (ano)	1985	2001	2026 (**)
Tempo de construção (anos)	13	25	45 (**)
Custo da obra (R\$ bi)	8,4	17,2	25 (**)
Tarifa/Preço de referência (R\$/MWh)	230,33	230,33	480 (**)

(\*) Em construção

(\*\*) Projetados

Tabela 14 - Aspectos gerais das obras e das usinas nucleares no Brasil

Fonte: Instituto Escolhas (2020)

O custo destinado a construção de Angra 1, segundo Instituto Escolhas (2020), foi de R\$ 8,4 bilhões e sua obra teve uma duração de 13 anos como foi apresentado na tabela 14.

De acordo com Eletronuclear (2018), os custos de operação e manutenção da unidade correspondem ao valor de cerca de R\$ 68,44 milhões ao ano.

O custo anual do combustível para as usinas de Angra 1 e 2 é de R\$ 656.478.437,09 e, de acordo com ANEEL (2018), esse dado é referente a estimativa publicada para 2019, sendo que segundo Fonseca (2006), os reatores de ambas as usinas apresentam projetos de diferentes fabricantes, no qual Angra 1 possui reator fabricado pela norte americana Westhinghouse e o reator de Angra 2 foi projetado pela europeia KWU/Siemens. No entanto, suas características são semelhantes pelo

fato que o projeto do último teve origem no primeiro, tornando a principal diferença entre ambos a potência entregue. Desta forma, para calcular o custo de cada usina, será utilizado o princípio de proporcionalidade através da potência entregue por cada usina, sendo assim, o valor da potência entregue pela usina de Angra 1, que é a unidade utilizada neste estudo, será dividido pela totalidade de potência entregue por ambas. Logo, o valor proporcional para a usina de Angra 1 é aproximadamente 32,16% do total produzido e que corresponde aproximadamente R\$ 211.123.465,37 ao ano.

Segundo Instituto Escolhas (2020), o custo variável unitário (CVU) para a usina de Angra 1 é de 230,33 R\$/MWh, valor idêntico ao da usina de Angra 2 e cerca de duas vezes inferior ao projetado referente a Angra 3 que ainda não teve suas obras concluídas.

A tabela 15 apresenta os custos citados para estudo de caso. Na sequência a tabela 16 mostra os valores relacionados a produção energética e o CVU da Usina de Angra 1.

Tipos de Custos	Valor (R\$)
Construção	8.400.000.000,00
O&M	68.440.000,00
Combustível	211.123.465,37

Tabela 15. - Custos para Análise – Usina Angra 1

Fonte: Elaboração Própria (2020)

Descrição	Valor
Potência Instalada (MW)	640
Energia Produzida (MWh/ano)	5.546.164
CVU (R\$/MWh)	230,33

Tabela 16. – Produção Energética e CVU – Usina Angra 1

Fonte: Elaboração Própria (2020)

## 5 RESULTADO E DISCUSSÕES

### 5.1 Análise Comparativa de Custos

Os dados apresentados para cada unidade geradora são úteis para realizar uma análise econômica comparativa. Para a usina de Araucária serão utilizados os dados referentes ao ano de 2014, que foi o ano de recorde de produção energética, de acordo com UEGA (2015). Os dados utilizados para a usina de Pampa Sul serão os referentes a 2020, até então o primeiro ano de operação da usina, conforme Engie (2020). Já a usina de Angra 1, serão utilizados dados de 2019, também referente ao ano recorde de produção energética, segundo Agência Brasil (2020). A tabela 17 reúne os valores de custos das três usinas com o objetivo de ilustrar a disparidade em cada item analisado.

Descrição do Custo	Araucária (Gás)	Pampa Sul (Carvão)	Angra 1 (Nuclear)
Custo de Construção	R\$ 1.600.000.000,00	R\$ 2.000.000.000,00	R\$ 8.400.000.000,00
Custo Operação e Manutenção (O&M)	R\$ 25.830.000,00	R\$ 85.200.000,00	R\$ 68.440.000,00
Custo do Combustível	R\$ 1.390.000.000,00	R\$ 79.200.000,00	R\$ 211.123.465,30
Custo Variável Unitário (R\$ / MWh)	694,77	235,68	230,33

Tabela 17. – Comparação de Custos por Usina

Fonte: Elaboração Própria (2020)

De acordo com os dados demonstrados na tabela 17, é possível analisar um custo de construção cerca de quatro vezes superior para uma usina termonuclear com relação à uma usina à carvão que configura nesta análise como a segunda opção mais cara. Um dos motivos para este alto custo de construção, de acordo com EPE (2007), é devido à alta tecnologia empregada aliada à segurança requerida no processo de construção da usina, tal como o emprego de qualificada engenharia de supervisão para alguns materiais.

Os custos de operação e manutenção, segundo EPE (2007), estão empregados tanto nos produtos utilizados na manutenção quanto com a mão de obra.

Neste quesito destaca-se a usina de Araucária, pois mesmo utilizado um período de grande produção da unidade, apresentou um custo consideravelmente inferior as demais.

O custo de combustível apresenta uma considerável disparidade nesta análise. É possível observar um custo cerca de 6,6 vezes superior para a usina de Araucária em relação à Angra 1. Para este alto custo da usina de Araucária, conforme Gazeta do Povo (2014), deve-se considerar que houve uma mudança na empresa fornecedora de gás natural no ano de 2014. Antes a Petrobrás era a responsável por fornecer o combustível para a usina, o que foi alterado favorecendo a empresa Compagás, tornando conseqüentemente o valor do combustível mais caro. A usina de Pampa Sul destaca-se no quesito custo de combustível, apresentando valores inferiores as demais, reforçando o que disse Tolmasquim (2016), com relação a seu custo reduzido em extração, transporte e disponibilidade para o carvão.

Com relação ao CVU das usinas, que engloba todos os custos citados acima, a usina de Araucária apresenta um valor consideravelmente superior as demais em relação ao Megawatt hora produzido, apesar do CVU utilizado neste estudo não ser o referente à 2014, onde foram analisados os demais custos da usina. O cálculo do CVU, de acordo com CCEE (2010), apresenta diversas variáveis consideradas pela ANEEL que não serão objetivos deste estudo.

É necessário ainda ponderar que a usina nuclear utilizada para este estudo é uma planta antiga e consolidada em funcionamento na matriz elétrica. Para usinas modernas, utilizando Angra 3 como parâmetro os resultados poderão apresentar grande diferença, tornando a opção nuclear consideravelmente mais cara, diminuindo, portanto, sua competitividade. Segundo Instituto Escolhas (2020), existem alguns estudiosos e relatórios de órgãos especializados que corroboram com o fato de a opção nuclear ser inviável e cara em relação as demais energias, bem como a retomada da construção de Angra 3 que poderá ser um grande prejuízo econômico para o país.

O tempo de vida útil para a termelétrica a gás gira em torno de 20 anos, conforme Castro (2000). A usina a carvão possui um prazo de vida útil em torno de 25 anos, segundo Canal Energia (2020). E a usina nuclear o prazo de 40 anos, de acordo com Sato (2016).

## 5.2 Análise Custo Produção x Capacidade Produtiva

Para esta análise será utilizado o somatório de custo de produção energética, ou seja, os custos de operação, manutenção e combustível demonstrado neste estudo para cada usina, e para a capacidade produtiva serão utilizados os dados apresentados de energia produzida. Todos os valores utilizados serão referentes ao período de um ano, no qual para a usina de Araucária serão utilizados os dados de 2014, Pampa Sul os dados de 2020 e Angra 1 os dados de 2019.

A tabela 18 demonstra a comparação entre a energia produzida por cada usina com relação ao custo de produção energética total por unidade geradora.

Descrição	Araucária (Gás)	Pampa Sul (Carvão)	Angra 1 (Nuclear)
Custo de Produção Energética	R\$ 1.415.830.000,00	R\$ 164.400.000,00	R\$ 279.563.465,30
Energia Produzida (MWh/ano)	3.420.819	1.330.400	5.546.164

Tabela 18. – Comparação entre Energia Produzida e Custo de Produção

Fonte: Elaboração Própria (2020)

Com relação ao custo de produção, a usina de Araucária apresentou um valor superior as demais, observando que essa diferença expressiva é devido ao alto custo de combustível apresentado no período de elevada produção energética.

A tabela 18 apresenta também o total de energia produzida, no qual é possível destacar que a usina de Angra 1 apresenta um custo intermediário de produção, ou seja, menor que Araucária e maior que Pampa Sul, mas consegue produzir uma quantidade de energia 1,62 vezes maior que a primeira e cerca de 4 vezes mais que a segunda.

A relação entre custo de produção e energia produzida é feita dividindo o primeiro valor pelo último, nesse caso, a usina de Araucária apresenta o valor de 413,89 R\$ /MWh, a usina Pampa Sul apresenta o valor de 123,57R\$ /MWh e a usina Angra 1 apresenta 50,41 R\$ /MWh. Neste cenário a usina nuclear se destaca apresentando um custo energético competitivo em relação as demais.

### 5.3 Análise de Receita Anual x Capacidade Produtiva

Para esta análise serão utilizados os dados referentes as receitas obtidas pelas usinas encontrados nos mesmos balanços patrimoniais utilizados para os custos.

A usina de Araucária, de acordo com UEGA (2014), apresentou uma receita de R\$ 2.135.349.000,00 para o ano de 2014. Para a usina de Pampa Sul, foi verificado que obteve uma receita de R\$ 313.381.000,00 no primeiro semestre de 2020, conforme Engie (2020). Sendo assim, para projetar o valor anual, optou-se por manter um crescimento linear para o restante do ano estimando uma receita anual de R\$ 626.762.000,00.

A usina nuclear de Angra, de acordo com ANEEL (2018), obteve uma receita de R\$ 3.409.340.964,21 estimada para 2019, mas esse valor é referente a ambas as usinas: Angra 1 e 2. Para obter o valor da receita referente somente a Angra 1, optou-se por utilizar o mesmo fator de proporcionalidade utilizado no item 4.3 que é de 32,16% e que representa um valor de receita de R\$ 1.096.444.054,09.

A tabela 19 apresenta os valores obtidos de receita em função da energia produzida para o mesmo ano.

Descrição	Araucária (Gás)	Pampa Sul (Carvão)	Angra 1 (Nuclear)
Receita Anual	R\$ 2.135.349.000,00	R\$ 626.762.000,00	R\$ 1.096.444.054,09
Energia Produzida (MWh/ano)	3.420.819	1.330.400	5.546.164

Tabela 19. – Relação entre Receita e Energia Produzida

Fonte: Elaboração Própria (2020)

O cálculo da relação entre receita obtida e energia produzida é feito dividindo-se o valor do primeiro termo pelo segundo, descobrindo assim o valor em Reais obtido com a venda de cada MWh. A usina de Araucária obteve um valor de R\$ 624,22/MWh. A usina de Pampa Sul apresenta um valor de R\$ 471,11/MWh e por último a usina de Angra 1 apresentou um valor de R\$ 197,69/MWh.

A tabela 20 mostra o resultado obtido da relação entre receita e energia produzida para cada usina no período de um ano.

Descrição	Araucária (Gás)	Pampa Sul (Carvão)	Angra 1 (Nuclear)
Relação entre Receita e Energia Produzida (R\$/MWh)	624,22	471,11	197,69

Tabela 20. – Resultados Obtidos em Receita por MWh

Fonte: Elaboração Própria (2020)

É possível observar que a usina de Angra 1 apresentou a receita mais baixa com relação a venda de energia produzida. A receita fixa das usinas nucleares apresentadas em balanço patrimonial, conforme Eletronuclear (2019), é regulada pela ANEEL sofrendo reajustes anuais e revisões periódicas, podendo ser mais baixa por conta do seu valor inferior na relação entre custo de produção e energia produzida.

Outro ponto a se destacar é de que a proporção utilizada neste estudo para obtenção do valor de receita utilizado no cálculo é relacionada à capacidade instalada, ou seja, referente a sua produção energética. Portanto, os valores de receita para Angra 1 poderão ser superiores se utilizado uma proporção maior da receita obtida por ambas as usinas.

Ainda neste quesito destaca-se a usina de Araucária, que obteve a maior receita anual. Este valor era previsto por conta do seu alto custo de produção energética.

## 6 CONCLUSÃO

A matriz elétrica brasileira necessita das usinas termelétricas para garantir uma segurança energética, pois elas não possuem características sazonais interferindo em sua produção. As energias alternativas, eólica e fotovoltaica, apesar do crescimento nos últimos anos, necessitam de grandes áreas para sua construção, assim como clima e ambiente favorável por região onde são construídas.

As usinas nucleares apresentam um alto custo de construção comparadas as demais termelétricas analisadas. Porém, destacam-se no quesito custo de produção energética relacionado a quantidade de energia gerada, ou seja, para um custo intermediário de produção, a usina entrega uma quantidade consideravelmente superior as demais, medida em MWh.

No cenário ambiental, as usinas nucleares ainda se destacam por não produzirem poluentes durante sua produção energética, ao contrário das usinas a carvão e gás natural que apresentam este nocivo ponto em comum.

As termoeletricas apresentam no entanto, um valor inferior na relação entre receita anual e energia produzida, o que diminui seu lucro obtido por MWh produzido, apesar do valor de receita obtida, ser por exemplo, superior em comparação com uma usina movida a carvão, como observado neste estudo. A tabela 21 apresenta uma compilação com os dados obtidos relacionados aos custos, receitas obtidas e a energia produzida pelas usinas, com a intenção de revisitar os dados demonstrados em estudo de caso e por fim corroborar com a descrição apresentada nesta conclusão.

Descrição	Araucária (Gás)	Pampa Sul (Carvão)	Angra 1 (Nuclear)
Custo de Construção	R\$ 1.600.000.000,00	R\$ 2.000.000.000,00	R\$ 8.400.000.000,00
Custo de Produção Energética	R\$ 1.415.830.000,00	R\$ 164.400.000,00	R\$ 279.563.465,30
Receita Anual	R\$ 2.135.349.000,00	R\$ 626.762.000,00	R\$ 1.096.444.054,09
Energia Produzida (MWh/ano)	3.420.819	1.330.400	5.546.164

Tabela 21. – Compilação dos Resultados Obtidos

Fonte: Elaboração Própria (2020)

Um ponto importante a ser considerado é que usinas que não foram utilizadas nesse estudo poderão apresentar valores consideravelmente diferentes de acordo com as diversas variáveis aplicadas, tais como tecnologia da unidade, fornecedores de combustível ou mão de obra empregada em operação e manutenção. Vale ressaltar ainda que os dados obtidos em grande parte nesta pesquisa estavam na maioria das vezes direcionados a ambas as usinas, sendo que em raros casos havia informações exclusivas da usina de Angra 1, que foi um dos destaques desse estudo de caso. Portanto poderão ser obtidos resultados mais corretos caso utilizados dados

exclusivos da primeira usina nuclear brasileira. E por último e não menos importante, o fato de existir estudos e relatórios de órgãos importantes do governo indicando um alto custo da tecnologia nuclear para novas usinas, tomando como exemplo principalmente a construção da usina de Angra 3.

São necessários estudos mais aprofundados com relação ao setor nuclear para obter resultados mais conclusivos acerca da expansão das termoeletricas na matriz elétrica brasileira, destacando viabilidade econômica e questões ambientais abordadas neste estudo. É de responsabilidade dos representantes do setor energético e órgãos governamentais apontarem para os pontos positivos e negativos apresentados, e por fim contribuir para um maior desenvolvimento do setor elétrico nacional.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AALOK. **O que ninguém te falou sobre Crise Energética.** Disponível em: <<https://aalok.com.br/blog/o-que-ninguem-te-falou-sobre-crise-energetica/>>. Acesso em: abril de 2020.

ABSOLAR. **Instalar energia solar está mais barato para os brasileiros em 2020.** Disponível em: <<http://www.absolar.org.br/noticia/noticias-externas/instalar-energia-solar-esta-mais-barato-para-os-brasileiros-em-2020.html/>>. Acesso em: maio 2020.

AGÊNCIA BRASIL. **Angra 1 Bate Recorde de Produção de Energia em 2019.** Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2020-01/angra-1-bate-recorde-de-producao-de-energia-em-2019>>. Acesso em: agosto de 2020.

ALISSON, Elton. **Custos sociais e ambientais de hidrelétricas são subestimados, aponta estudo.** Jornal da Unicamp, Campinas, nov.2018, Jornal da Unicamp, p. 1. Disponível em <<https://www.unicamp.br/unicamp/index.php/ju/noticias/2018/11/07/custos-sociais-e-ambientais-de-usinas-hidreletricas-sao-subestimados-aponta>>. Acesso em: abril de 2020.

ANEEL [Agência Nacional de Energia Elétrica]. BIG - **Banco de Informações de Geração.** Disponível em: <http://www.aneel.gov.br>. Acesso em: maio de 2020.

ANEEL. **Agência fixa receita e tarifa das Centrais de Geração Angra 1 e 2 para 2019.** Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao-2/-/asset\\_publisher/zXQREz8EVIZ6/content/agencia-fixa-receita-e-tarifa-das-centrais-de-geracao-angra-1-e-2-para-2019/656877?inheritRedirect=false](http://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao-2/-/asset_publisher/zXQREz8EVIZ6/content/agencia-fixa-receita-e-tarifa-das-centrais-de-geracao-angra-1-e-2-para-2019/656877?inheritRedirect=false)>. Acesso em: agosto de 2020.

ANEEL. **Banco de Informação de Geração: Combustível Biomassa.** Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/CombustivelPorClasse.cfm?Classe=Biomassa>>. Acesso em: maio de 2020.

ANEEL. **Custo Variável Unitário - CVU (Leilão)**. Disponível em: <[https://www.aneel.gov.br/busca?p\\_p\\_id=101&p\\_p\\_lifecycle=0&p\\_p\\_state=maximized&p\\_p\\_mode=view&\\_101\\_struts\\_action=%2Fasset\\_publisher%2Fview\\_content&\\_101\\_returnToFullPageURL=http%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Fbusca%3Fp\\_auth%3D8i3ro1Ur%26p\\_p\\_id%3D3%26p\\_p\\_lifecycle%3D1%26p\\_p\\_state%3Dnormal%26p\\_p\\_state\\_rcv%3D1&\\_101\\_assetEntryId=15047519&\\_101\\_type=content&\\_101\\_groupId=656835&\\_101\\_urlTitle=custo-variavel-unitario-cvu-leilao-&inheritRedirect=true](https://www.aneel.gov.br/busca?p_p_id=101&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&_101_struts_action=%2Fasset_publisher%2Fview_content&_101_returnToFullPageURL=http%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Fbusca%3Fp_auth%3D8i3ro1Ur%26p_p_id%3D3%26p_p_lifecycle%3D1%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_state_rcv%3D1&_101_assetEntryId=15047519&_101_type=content&_101_groupId=656835&_101_urlTitle=custo-variavel-unitario-cvu-leilao-&inheritRedirect=true)>. Acesso em: maio de 2020.

ANEEL. **Editais de Geração**. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/geracao4>>. Acesso em: março de 2020.

ANEEL. **Geração Termelétrica a Gás Natural**. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/gas\\_natural/9\\_3.htm](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/gas_natural/9_3.htm)>. Acesso em: maio de 2020.

ANEEL. **Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS**. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/home?p\\_p\\_id=101&p\\_p\\_lifecycle=0&p\\_p\\_state=maximized&p\\_p\\_mode=view&\\_101\\_struts\\_action=%2Fasset\\_publisher%2Fview\\_content&\\_101\\_returnToFullPageURL=%2F&\\_101\\_assetEntryId=15817751&\\_101\\_type=content&\\_101\\_groupId=656835&\\_101\\_urlTitle=operador-nacional-do-sistema-eletrico-ons&inheritRedirect=true](http://www.aneel.gov.br/home?p_p_id=101&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&_101_struts_action=%2Fasset_publisher%2Fview_content&_101_returnToFullPageURL=%2F&_101_assetEntryId=15817751&_101_type=content&_101_groupId=656835&_101_urlTitle=operador-nacional-do-sistema-eletrico-ons&inheritRedirect=true)>. 2004. Acesso em: abril de 2020.

ANEEL. **Relatório de Acompanhamento da Implantação de empreendimentos de Geração**. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/documents/655816/14483518/Relat%C3%B3rio+de+Acompanhamento+da+Implanta%C3%A7%C3%A3o+de+Empreendimentos+de+Gera%C3%A7%C3%A3o+N11+Mar%C3%A7o+2018/c74e72f2-cc88-3ea6-5608-d596a4a33154?version=1.1>>. Acesso em: abril de 2020.

AUTOSSUSTENTAVEL. **Biomassa, a 3ª fonte de energia mais usada no Brasil**. Disponível em: <<http://autossustentavel.com/2017/07/biomassa.html>>. Acesso em: maio de 2020.

BBC. **Mineração de urânio no sertão da Bahia traz à tona memória de contaminação.** 2019. Disponível em: <<https://www.bbc.com/portuguese/brasil-50077223>>. Acesso em: junho de 2020.

BBC. **Quais são os países com as maiores reservas de petróleo e por que isso não é sempre um sinal de riqueza,** 2019. Disponível em: <<https://www.bbc.com/portuguese/internacional-47795371>>. Acesso em: maio de 2020.

BLUESOL. **Energia Solar e Eólica: Preço, Diferenças e Melhores Locais.** Disponível em: <<https://blog.bluesol.com.br/energia-solar-e-eolica/>>. Acesso em: abril de 2020.

BLUESOL. **O Guia Mais Absurdamente Completo da Energia Solar Fotovoltaica.** Disponível em: <<https://blog.bluesol.com.br/energia-solar-fotovoltaica-guia-supremo/>>. Acesso em: maio 2020.

CAMPOS, Ana Cristina. **Setor elétrico requer investimentos de 450 bilhões, diz ministro. Agência Brasil,** Rio de Janeiro, nov. 2019, Portal EBC, p. 1. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2019-11/setor-eletrico-requer-investimentos-de-r-450-bilhoes-diz-ministro>>. Acesso em: abril de 2020.

CANAL ENERGIA. **ANEEL Define CVU de 69477 MWh para UTE Araucária.** Disponível em: <<https://canalenergia.com.br/noticias/53122733/aneel-define-cvu-de-69477mwh-para-ute-araucaria>>. Acesso em: agosto de 2020.

CANAL ENERGIA. **Copel Garante Gás para Araucária em 2020.** Disponível em: <<https://canalenergia.com.br/noticias/53127982/copel-garante-gas-para-araucaria-em-2020>>. Acesso em: agosto de 2020.

CANAL ENERGIA. **Energia eólica atinge 15 GW em capacidade instalada no Brasil.** Disponível em: <<https://www.canalenergia.com.br/noticias/53096013/energia-eolica-atinge-15-gw-em-capacidade-instalada-no-brasil>>. Acesso em: maio de 2020.

CANAL ENERGIA. **Geração à biomassa aumentou 3% em 2019, afirma CCEE.** Disponível em: <<https://www.canalenergia.com.br/noticias/53127605/geracao-a-biomassa-aumentou-3-em-2019-afirma-ccee>>. Acesso em: maio de 2020.

CANAL ENERGIA. **Governo planeja construir seis usinas nucleares até 2050.** Disponível em: <<https://www.canalenergia.com.br/noticias/53113394/governo-planeja-construir-seis-usinas-nucleares-ate-2050>>. Acesso em: junho de 2020.

CASTRO, Alessandro de Lima. **Avaliação de investimento de capital em projetos de geração termoelétrica no setor elétrico brasileiro usando teoria das opções reais.** 2000. 113 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2000.

CASTRO, N.J.; DANTAS, G.A. **A importância da inserção da bioeletricidade na matriz brasileira e o leilão de energia de reserva.** GESEL-UFRJ. Rio de Janeiro: 2008.

CBIE - Centro Brasileiro de Infraestrutura. **Como a Biomassa se transforma em Energia Elétrica.** Disponível em: <<https://cbie.com.br/artigos/como-a-biomassa-se-transforma-em-energia-eletrica/>>. Acesso em: maio de 2020.

CCEE - Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. **Regras de Comercialização.** 2010. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2009/035/documento/modulo\\_reajuste\\_receita\\_venda.pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2009/035/documento/modulo_reajuste_receita_venda.pdf)>. Acesso em: outubro de 2020.

CCEE - Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. **Tipos de Leilões.** Disponível em: <[https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages\\_publico/o-que-fazemos/como\\_ccee\\_atua/tipos\\_leiloes\\_n\\_logado?\\_afLoop=294633732573858&\\_adf.ctrl-state=jfdpakeng\\_116#!%40%40%3F\\_afLoop%3D294633732573858%26\\_adf.ctrl-state%3Djfdpakeng\\_120](https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/o-que-fazemos/como_ccee_atua/tipos_leiloes_n_logado?_afLoop=294633732573858&_adf.ctrl-state=jfdpakeng_116#!%40%40%3F_afLoop%3D294633732573858%26_adf.ctrl-state%3Djfdpakeng_120)>. Acesso em: março de 2020.

CCEE - Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. **Brasil alcança marca de duas mil usinas de geração de energia em funcionamento**, 2020. Disponível em: <[https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages\\_publico/noticias-opinio/noticias/noticialeitura?contentid=CCEE\\_654268&\\_afLoop=2444576862336902&\\_adf.ctrl-state=6p2oxgq8z\\_1#!%40%40%3Fcontentid%3DCCEE\\_654268%26\\_afLoop%3D2444576862336902%26\\_adf.ctrl-state%3D6p2oxgq8z\\_5](https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/noticias-opinio/noticias/noticialeitura?contentid=CCEE_654268&_afLoop=2444576862336902&_adf.ctrl-state=6p2oxgq8z_1#!%40%40%3Fcontentid%3DCCEE_654268%26_afLoop%3D2444576862336902%26_adf.ctrl-state%3D6p2oxgq8z_5)>. Acesso em: maio de 2020.

COLOSSI, Bibiana Rodrigues. **Avaliação Ambiental de uma Usina Termelétrica a Óleo Combustível Utilizando Análise do Ciclo de Vida**. 2012. 108 f. Monografia (Graduação). -Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2012.

COUNTRYMATTERS. **População da França 2020**. Disponível em: <<https://countrymeters.info/pt/France>>. Acesso em: junho de 2020

ELETROBRÁS ELETRONUCLEAR. **Angra 1**. Disponível em: <<https://www.eletronuclear.gov.br/Nossas-Atividades/Paginas/Angra-1.aspx#:~:text=A%20primeira%20usina%20nuclear%20brasileira,Porto%20Alegre%20ou%20S%C3%A3o%20Lu%C3%ADs.>>. Acesso em: junho de 2020.

ELETROBRÁS ELETRONUCLEAR. **Angra 2**. Disponível em: <<https://www.eletronuclear.gov.br/Nossas-Atividades/Paginas/Angra-2.aspx>>. Acesso em: junho de 2020.

ELETROBRÁS ELETRONUCLEAR. **Angra 3**. Disponível em: <<https://www.eletronuclear.gov.br/Nossas-Atividades/Paginas/Angra-3.aspx>>. Acesso em: junho de 2020.

ELETROBRÁS ELETRONUCLEAR. **Energia Nuclear**. Disponível em: <<https://www.eletronuclear.gov.br/Sociedade-e-Meio-Ambiente/Espaco-do-Conhecimento/Paginas/Energia-Nuclear.aspx>>. Acesso em: junho de 2020.

ELETRONUCLEAR. **Angra 1. 2020**. Disponível em: <<https://www.eletronuclear.gov.br/Nossas-Atividades/Paginas/Angra-1.aspx>>. Acesso em: agosto de 2020.

ELETRONUCLEAR. **Demonstrações Financeiras e Relatório da Administração**. 2018. Disponível em: <[https://www.valor.com.br/sites/default/files/upload\\_element/17-04\\_eletronuclear\\_rj\\_balanco\\_c.pdf](https://www.valor.com.br/sites/default/files/upload_element/17-04_eletronuclear_rj_balanco_c.pdf)>. Acesso em: agosto de 2020.

ELETRONUCLEAR. **Notas explicativas da administração às demonstrações financeiras em 31 de dezembro de 2019**. Disponível em: <<https://www.eletronuclear.gov.br/Quem-Somos/Governanca/Documents/Balan%C3%A7os/2017/3%20-%20NOTAS%20EXPLICATIVAS.%20ELETRONUCLEAR%202019.pdf>>. Acesso em: novembro de 2020

ENERGIA NUCLEAR. **Reator Nuclear**. Disponível em: <<https://pt.energia-nuclear.net/operacao-usina-nuclear/reator-nuclear>>. Acesso em: junho de 2020

ENGIE BRASIL. **Usina Termelétrica Pampa Sul**. Disponível em: <<https://www.engie.com.br/complexo-gerador/usinas/usina-termeletrica-pampa-sul/>>. Acesso em: maio de 2020.

ENGIE. **Pampa Sul ITR 2020**. Disponível em: <<https://www.engie.com.br/uploads/2020/07/Pampa-Sul-ITR-2T20.pdf>>. Acesso em: agosto de 2020.

ENGIE. **Usina Termelétrica Pampa Sul**. 2020. Disponível em: <<https://www.engie.com.br/complexo-gerador/usinas/usina-termeletrica-pampa-sul/>>. Acesso em: agosto de 2020.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Consumo Mensal de Energia Elétrica por Classe (regiões e subsistemas)**. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Consumo-mensal-de-energia-eletrica-por-classe-regioes-e-subsistemas>>. Acesso em: março de 2020.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Expansão da Geração**. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/areas-de-atuacao/energia-eletrica/expansao-da-geracao>>. Acesso em: abril de 2020.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Matriz Energética e Elétrica**. Disponível em: <<http://epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>>. Acesso em: abril de 2020.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Planejamento da Expansão**. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/areas-de-atuacao/energia-eletrica/expansao-da-geracao/planejamento-da-expans%C3%A3o>>. Acesso em: abril de 2020.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2029**. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-422/PDE%202029.pdf>>. Acesso em: abril de 2020.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2029**. Brasília, 2020. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Documents/PDE%202029.pdf>>. Acesso em: abril de 2020.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2024**. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-45/topico-79/Relat%C3%B3rio%20Final%20do%20PDE%202024.pdf>>. Acesso em: abril de 2020.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Nacional de Energia 2030: Geração Hidrelétrica**. Brasília, 2006, 77 p.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Nacional de Energia 2030**. 2007. Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-165/topico-173/PNE%202030%20-%20Gera%C3%A7%C3%A3o%20Termel%C3%A9trica%20\(Carv%C3%A3o%20Mineral\).pdf](http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-165/topico-173/PNE%202030%20-%20Gera%C3%A7%C3%A3o%20Termel%C3%A9trica%20(Carv%C3%A3o%20Mineral).pdf)>. Acesso em: maio de 2020

EPE [Empresa De Pesquisa Energética]. **Plano Nacional de Energia 2030 – Geração Termelétrica (Carvão Mineral)**. Brasília: EPE, 2007.

FGV ENERGIA - Fundação Getúlio Vargas. **Gás Natural**. 1.ed. Rio de Janeiro, 2014, 80 p.

FGV ENERGIA – Fundação Getúlio Vargas. **Termelétricas e seu Papel na Matriz Energética Brasileira**. 1. ed. Rio de Janeiro, 2017, 10 p.

FILHO, Fernando de Holanda Barbosa. Estudos Avançados: Saídas para a Crise Econômica. **A Crise Econômica de 2014/2017**, Rio de Janeiro, v. 31, n.89, p. 2-8, fevereiro/mar. 2017.

FONSECA, Márcio Luiz. **Reflexos da Manobrabilidade de Usinas Nucleares na Operação de Sistema Elétrico**. 2006. 199 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006.

GARCIA, Giselle. Entenda a crise econômica. **Agência Brasil**, Londres, mai. 2016, Portal EBC, p. 1. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2016-05/entenda-crise-economica>>. Acesso em: abril de 2020.

GAZETA DO POVO. **Copel Reassume Usina de Araucária**. 2014. Disponível em: <<https://www.gazetadopovo.com.br/economia/copel-reassume-usina-de-araucaria-eileuxaw84jai2uxcbspb3j9q/>>. Acesso em: agosto de 2020.

GESEL. **Biomassa: uma estratégia ou desafio na produção de energia renovável**. Disponível em: <<http://gesel.ie.ufrj.br/app/webroot/files/IFES/BV/jesus1.pdf>>. Acesso em: maio de 2020.

IAEA [International Atomic Energy Agency]. **Nuclear Technology Review**. 2016 Disponível em: <<http://www.iaea.org/>>. Acesso em: junho de 2020

IAEA [International Atomic Energy Agency]. **Nuclear Technology Review**. 2015 Disponível em: <<http://www.iaea.org/>>. Acesso em: junho de 2020.

IAEA. **Reatores em Construção**. Disponível em : <<https://pris.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/UnderConstructionReactorsByCountry.aspx>>. Acesso em: junho de 2020

IBGE. **IBGE apresenta nova área territorial brasileira**, 2012. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/14318-asi-ibge-apresenta-nova-area-territorial-brasileira-8515767049-km>>. Acesso em: março de 2020.

IEA [International Energy Agency]. 2015 **EXCERPT FROM ELECTRICITY INFORMATION (2015 edition)**. 2015a.

INB Indústrias Nucleares Do Brasil S.A. **Pesquisa e lavra de materiais radioativos**. Apresentação feita para o Centro de Estudos e Debates Estratégicos da Câmara dos Deputados. Realizada por Luiz Filipe da Silva, da Diretoria de Recursos Minerais. 2013

INB Indústrias Nucleares Do Brasil S.A. **Sítio contendo informações sobre o ciclo do combustível nuclear.** Disponível em: <<http://www.inb.gov.br/>>. Acesso em: junho de 2020.

INDEX MUNDI. **Gás natural - reservas provadas.** Disponível em: <<https://www.indexmundi.com/g/r.aspx?v=98&l=pt&t=10>>. Acesso em: maio 2020.

INSTITUTO ESCOLHAS. **Nuclear Angra 3: Vale Quanto Custa?** Disponível em: <[http://www.escolhas.org/wp-content/uploads/2020/05/TD\\_01\\_NUCLEAR\\_ANGRA-3\\_VALE-QUANTO-CUSTA\\_2020.pdf](http://www.escolhas.org/wp-content/uploads/2020/05/TD_01_NUCLEAR_ANGRA-3_VALE-QUANTO-CUSTA_2020.pdf)>. Acesso em: agosto de 2020.

INTERNATIONAL ENERGY OUTLOOK. **External costs of energy and their internalization in Europe.** Dialogue with industry, NGO, and policy-makers. Friday, 9 December 2005. European Commission. Brussels. Belgium.

JORNAL MINUANO. **Leilão de energia que pode viabilizar novas usinas a carvão na região acontece hoje.** Disponível em: <<http://www.jornalminuano.com.br/noticia/2019/10/18/leilao-de-energia-que-pode-viabilizar-novas-usinas-a-carvao-na-regiao-acontece-hoje>>. Acesso em: maio de 2020.

KONDO, Natália Natsumi. **Determinação de Índices de Desempenho de Usinas Termelétricas.** 2007. 214 f. Monografia (Graduação). - Universidade de São Paulo, 2007.

LEÃO, R. P. S. **Tecnologias de Geração de Energia Elétrica: Geração Termoelétrica. Conversão Termoelétrica.** Disponível em: <[https://ygo.pesqueira.ifpe.edu.br/didaticos/rd\\_II\\_geracao2\\_termoeletrica.pdf](https://ygo.pesqueira.ifpe.edu.br/didaticos/rd_II_geracao2_termoeletrica.pdf)>. Acesso em: maio de 2020.

MADEIRA, Anderson. **Crise econômica reduz consumo de energia no Brasil. Eu, Rio!** Rio de Janeiro, ago. 2019, Portal Eu, Rio!, p. 1. Disponível em: <<https://eurio.com.br/noticia/8868/crise-economica-reduz-consumo-de-energia-no-brasil.html>>. Acesso em: abril de 2020.

METTZER. **Pesquisa descritiva: conceito, características e aplicação**, 2018. Disponível em: <<https://blog.metzzer.com/pesquisa-descritiva/>>. Acesso em: novembro 2019.

MINISTÉRIO DA ECONOMIA. **Nota informativa - Atividade Econômica e Resultados do PIB de 2019 (04/03/2020)**. Disponível em: <<https://www.gov.br/economia/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/notas-informativas/2020/nota-informativa-resultados-pib.pdf/view>>. Acesso em: abril de 2020.

MME – Ministério de Minas e Energia. **Agência Nacional de Mineração**, 2020. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/web/guest/secretarias/geologia-mineracao-e-transformacao-mineral/entidades-vinculadas/dnpm>>. Acesso em: maio de 2020.

MORAIS, Bruna Cravo de; BARREIROS, Ingrid Zanchetta. **A Gestão da Matriz Energética no Brasil: Uma Análise dos Últimos 20 anos**. Trabalho de Conclusão de Curso – Artigo Científico. Disponível em: <[https://app.uff.br/riuff/bitstream/1/9145/1/Bruna%20Cravo%20e%20Ingrid%20Zanchetta%20\\_AC.pdf](https://app.uff.br/riuff/bitstream/1/9145/1/Bruna%20Cravo%20e%20Ingrid%20Zanchetta%20_AC.pdf)>. Acesso em: abril de 2020.

MUNDO DA ELÉTRICA. **Usinas termelétricas. O que são e como funcionam**. Disponível em: <<https://www.mundodaeletrica.com.br/usinas-termeletricas-o-que-sao-e-como-funcionam/>>. Acesso em: maio de 2020.

MUNDO EDUCAÇÃO. **Energia Eólica no Brasil**. Disponível em: <<https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/geografia/energia-eolica-no-brasil.htm>>. Acesso em: abril de 2020

NAIME, Roberto. Sobre os impactos de usinas termelétricas. **EcoDebate**, Novo Hamburgo, Nov. 2014, EcoDebate, p. 1. Disponível em: <<https://www.ecodebate.com.br/2014/11/13/sobre-os-impactos-de-usinas-termeletricas-artigo-de-roberto-naime/>>. Acesso em: maio de 2020.

NOVACANA. **Leilão de energia A-4 atrai 51 GW em projetos**. Disponível em: <<https://www.novacana.com/n/cogeracao/leilao-energia-a-4-atrai-51-gw-projetos-usinas-biomassa-19-inscricoes-080419>>. Acesso em: abril de 2020

NUCTEC – Nuclear Tecnologia e Consultoria. **A Energia Nuclear no Brasil**. Disponível em: <<http://www.nuctec.com.br/educacional/enbrasil.html>>. Acesso em: junho de 2020.

O Globo. **Dono da sexta maior reserva no mundo, Brasil importa urânio**. 2016. Disponível em: <<https://oglobo.globo.com/economia/dono-da-sexta-maior-reserva-no-mundo-brasil-importa-uranio-20585955>>. Acesso em: junho de 2020.

OECD [Organization for Economic Co-Operation and Development], Nuclear Energy Agency [NEA], [IEA] International Energy Agency. **Projected Costs of Generating Electricity - 2010 Update**. Disponível em: <http://www.iea.org>. Acesso em maio de 2020.

OLIVEIRA, B. N. **Modelo de Comercialização de Energia pela Opção de Disponibilidade na Geração Termelétrica**. 149 p. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) - Programa de Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2008.

OLMA. **Coleção Guia de Estudos: Hidrelétricas do Brasil**. Brasil. Observatório Nacional de Justiça Socioambiental Luciano Mendes de Almeida, 2017. 8p.

ONS. **Atuação**. Disponível em: <<http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-ons/atuacao>>. Acesso em: abril de 2020

ONS. **O Sistema em Números: Capacidade instalada no SIN – 2020/2024**. Disponível em: <<http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-sistema-em-numeros>>. Acesso em: março de 2020.

ONS. **Sobre o SIN**. Disponível em: <<http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/mapas>>. Acesso em: maio de 2020.

PAINEIRA ENGENHARIA. **Você sabe o que é Turn Key e quais são suas vantagens**. Disponível em: <<http://www.paineira.eng.br/o-que-e-turn-key/>>. Acesso em: junho de 2020.

PETROBRÁS. **Oferta de Gás Natural**. Disponível em: <<https://petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/areas-de-atuacao/oferta-de-gas-natural/>>. Acesso em: maio de 2020

Pires F.R.M. 2013. **Urânio no Brasil: geologia, jazidas e ocorrências**. Eletrobrás Eletronuclear. Rio de Janeiro. 299 p. ISBN: 9788588071025

PIRES, Fábio Lopes. Avaliação econômica de termelétricas a carvão – Uma alternativa para diversificação da Matriz Energética Brasileira. **TecHoje**, Belo Horizonte, s.d, Ietec, p. 6. Disponível em: <[http://www.techoje.com.br/site/techoje/categoria/detalhe\\_artigo/358](http://www.techoje.com.br/site/techoje/categoria/detalhe_artigo/358)>. Acesso em: maio de 2020.

PORTAL ENERGIA. **Energia Nuclear**. Disponível em : < <https://www.portal-energia.com/energia-nuclear/>>. Acesso em: junho de 2020.

PORTAL ENERGIA. **Vantagens e desvantagens da energia eólica**. Disponível em: <<https://www.portal-energia.com/vantagens-desvantagens-da-energia-eolica/>>. Acesso em: abril de 2020

PORTAL ND. **Relatório da Administração**. 2020. Disponível em: <[https://static.ndonline.com.br/2020/03/018\\_flo\\_publicacao\\_legal-8.pdf](https://static.ndonline.com.br/2020/03/018_flo_publicacao_legal-8.pdf)>. Acesso em: agosto de 2020.

PORTAL SOLAR. **Energia Solar Fotovoltaica no Brasil**. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/a-energia-fotovoltaica-no-brasil.html>>. Acesso em: maio 2020

PORTAL SOLAR. **Energia Solar no Brasil**. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/energia-solar-no-brasil.html>>. Acesso em: abril de 2020

RIO DE JANEIRO (RJ). GESEL - Grupo de Estudos do Setor Elétrico. Universidade Federal do Rio de Janeiro. **Biomassa: uma estratégia ou desafio na produção de energia renovável**. Rio de Janeiro, RJ, 2019. 2 p.

RIO DE JANEIRO (RJ). GESEL - Grupo de Estudos do Setor Elétrico. Universidade Federal do Rio de Janeiro. **Relatório Técnico: Acompanhamento Conjuntural do Segmento de Geração Termoeleétrica no Brasil**. Rio de Janeiro, RJ, 2015. 154 p.

RIO, Denise Luna. Térmicas a diesel e óleo combustível estão com os dias contados. **Estadão**, ago, 2019, Editora Abril, p.1. Disponível em:

<<https://economia.uol.com.br/noticias/estadao-conteudo/2019/08/29/termicas-a-diesel-e-oleo-combustivel-estao-com-os-dias-contados-diz-ons.htm>>. Acesso em: maio de 2020.

SANÁGUA. **Para Onde Vai O Lixo Nuclear?** 2014. Disponível em: <<http://sanagua.com.br/noticias/para-onde-vai-o-lixo-nuclear--170.html>>. Acesso em: junho de 2020.

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/pppe/production/tesis/luis\\_pereira.pdf](http://www.ppe.ufrj.br/pppe/production/tesis/luis_pereira.pdf)>. Acesso em: abril de 2020.

SATO, Airton Akio Watanabe. **Perspectivas da Energia Nuclear na Matriz Energética Brasileira**. 2016. 89 f. Monografia (Graduação). – Curso de Graduação em Engenharia Elétrica. Universidade do Estado de Santa Catarina, 2016.

SUAPE ENERGIA. **Quem Somos**. Disponível em: <<http://www.suapeenergia.com.br/quem-somos.html>>. Acesso em: maio de 2020.

TÉRCIO, Lúcia Marina; **Fronteiras da Globalização: O Espaço Brasileiro, Natureza e Trabalho**. 3.ed. São Paulo: Ática, 2016. 288 p.

TOLMASQUIM, Maurício Tiomno. **Energia Termelétrica: Gás Natural, Biomassa, Carvão, Nuclear**. 1.ed. Rio de Janeiro: EPE, 2016. 417 p.

TRADENER. **O que é energia da biomassa e como é gerada**. Disponível em: <[http://www.tradener.com.br/atualidades\\_detalhes/o-que-e-energia-da-biomassa-e-como-e-gerada](http://www.tradener.com.br/atualidades_detalhes/o-que-e-energia-da-biomassa-e-como-e-gerada)>. Acesso em: maio de 2020

TUDESCHINI, Luís Gustavo. **A bioeletricidade sucroenergética na diversificação da matriz elétrica brasileira: potenciais, barreiras e perspectivas**. 2012. 72 f. Monografia (Graduação). - Curso de graduação em Ciências Econômicas da Universidade de São Paulo, 2012.

UEGA. **Balanco Anual 2015.** Disponível em: <[https://www.valor.com.br/sites/default/files/upload\\_element/29-04\\_uega\\_balanco.pdf](https://www.valor.com.br/sites/default/files/upload_element/29-04_uega_balanco.pdf)>. Acesso em: agosto de 2020.

UEGA. **Demonstrações Financeiras.** 2014. Disponível em: <<http://www.uega.com.br/wp-content/uploads/2014/11/Relat%C3%B3rio-Anual-2014.pdf>>. Acesso em: outubro de 2020.

UEGA. **Informações Técnicas.** 2020. Disponível em: <<http://www.uega.com.br/informacoes-tecnicas/>>. Acesso em: agosto de 2020.

UEGA. **Sobre nós.** 2020. Disponível em: <<http://www.uega.com.br/sobre-nos/>>. Acesso em: agosto de 2020.

UFJF. **Como funciona: Usina Nuclear.** Disponível em: <<http://energiainteligenteufjf.com.br/como-funciona/como-funciona-usina-nuclear/>>. Acesso em: junho de 2020.

UNICAMP. **Usina Nuclear.** Disponível em: <<http://www.fem.unicamp.br/~em313/paginas/nuclear/nuclear.htm#:~:text=O%20tem po%20de%20constru%C3%A7%C3%A3o%20se,de%20licenciamento%20de%20novas%20usinas>>. Acesso em: novembro de 2020.

UNIGRAN. **Como funciona um reator nuclear?** Disponível em: <<http://blogunigranead.com/dicas-e-curiosidades/como-funciona-um-reator-nuclear/>>. Acesso em: junho de 2020.

UOL. **Brasil planeja mais 6 usinas nucleares até 2050, custo seria de US\$30 bi.** 2014. Disponível em: <<https://economia.uol.com.br/noticias/reuters/2019/09/26/brasil-planeja-mais-6-usinas-nucleares-ate-2050-custo-seria-de-us30-bi.htm>>. Acesso em: junho de 2020.

USP. **Geração Termelétrica.** Disponível em: <[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3361605/mod\\_resource/content/1/Gera%C3%A7%C3%A3o%20Termel%C3%A9trica.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3361605/mod_resource/content/1/Gera%C3%A7%C3%A3o%20Termel%C3%A9trica.pdf)>. Acesso em: maio de 2020.

VINCI ENERGIES. **Turbinas eólicas: Como o vento gera eletricidade?** Disponível em: <<https://www.vinci-energies.com.br/pt/o-futuro-e-agora/rumo-a-um-mundo->

sustentavel/turbinas-eolicas-como-o-vento-gera-eletricidade/>. Acesso em: março de 2020.

WNA [World Nuclear Association]. **The Economics of Nuclear Power. Information Papers.** Atualizado em 28/07/15a. Disponível em:< <http://www.world-nuclear.org/info/Economic-Aspects/Economics-of-Nuclear-Power/>>. Acesso em: junho de 2020.