

UNIVERSIDADE SÃO FRANCISCO
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

MATRIZES ENERGÉTICAS NO BRASIL

Área de Ciências Exatas e Tecnológicas

por

Fabiano Thomaz da Cunha

Marcos Rosa Santos, M.E.
Orientador

Itatiba (SP), Novembro de 2011

UNIVERSIDADE SÃO FRANCISCO
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

MATRIZES ENERGÉTICAS NO BRASIL

Área de Ciências Exatas e Tecnológicas

por

Fabiano Thomaz da Cunha

Relatório apresentado à Banca Examinadora do
Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia
Elétrica para análise e aprovação.
Orientador: Marcos Rosa Santos, M.E.

Itatiba (SP), Novembro de 2011

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a toda minha família e principalmente à minha esposa pela compreensão e apoio nos momentos mais difíceis ao longo do período de minha graduação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela oportunidade e pela sabedoria necessária para realização de minha graduação.

Agradeço aos meus colegas de graduação, por fazerem parte do nosso grupo de estudos não medindo esforços em me ajudar nos momentos mais difíceis ao longo do curso.

Agradeço também aos meus amigos de trabalho da ELEKTRO da Sede em Campinas pelo constante suporte e compreensão.

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS.....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE TABELAS.....	x
RESUMO.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. GERAÇÃO HIDRELÉTRICA.....	3
2.1. A HISTÓRIA DA GERAÇÃO HIDRÁULICA.....	4
2.2. OS RECURSOS HIDRÁULICOS.....	5
2.3. OS RECURSOS HIDRÁULICOS NO BRASIL.....	7
2.4. IMPACTOS AMBIENTAIS E ECONÔMICOS.....	9
2.5. EXPANSÃO DA GERAÇÃO HIDRELÉTRICA NO BRASIL.....	11
2.6. ANÁLISE ECONÔMICA.....	12
3. PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS – PCH.....	15
3.1. O SURGIMENTO REGULAMENTAR DAS PCH.....	18
3.2. QUANTO À CLASSIFICAÇÃO.....	20
3.3. REGULARIZAÇÃO DOS RESERVATÓRIOS.....	20
3.4. ADUTORAS.....	21
3.5. O CENÁRIO NACIONAL DAS PCH.....	22
3.6. INCENTIVOS ÀS CONSTRUÇÕES DAS PCH.....	22
3.7. COMO CONSTRUIR UMA PCH – ASPECTOS LEGAIS E INSTITUCIONAIS.....	23
3.8. DEMAIS INCENTIVOS ÀS CONSTRUÇÕES DAS PCH.....	24
3.9. ANÁLISE ECONÔMICA.....	24
4. USINAS TERMELÉTRICAS.....	27
4.1. USINAS TERMELÉTRICAS A VAPOR.....	27
4.2. USINAS TERMELÉTRICAS A GÁS.....	29
4.3. USINAS TERMELÉTRICAS A CICLO COMBINADO.....	29
4.4. CÁLCULO DE EFICIÊNCIA DE UMA USINA TÉRMICA.....	30
4.5. O PODER CALORÍFICO DO COMBUSTÍVEL.....	31
4.6. CÁLCULO DE GERAÇÃO DE ENERGIA POR UMA USINA TÉRMICA.....	31
4.7. ANÁLISE ECONÔMICA.....	32

5. USINAS TERMELÉTRICAS À BIOMASSA	35
5.1. DISPONIBILIDADE, PRODUÇÃO E CONSUMO DE BIOMASSA.....	37
5.2. GERAÇÃO DE ENERGIA ATRAVÉS DAS USINAS DE BIOMASSA NO PAÍS	38
5.3. ANÁLISE ECONÔMICA.....	40
6. USINAS TERMELÉTRICAS À CARVÃO MINERAL	42
6.1. ANÁLISE ECONÔMICA.....	44
7. USINA NUCLEAR.....	47
7.1. USINA NUCLEAR NO MUNDO E NO BRASIL.....	49
7.2. OS PROBLEMAS DE ANGRA RELACIONADOS À SEGURANÇA E MEIO AMBIENTE ...	51
7.3. ANÁLISE ECONÔMICA.....	52
8. USINA EÓLICA.....	54
8.1. A ENERGIA EÓLICA NO MUNDO.....	55
8.2. A ENERGIA EÓLICA NO BRASIL.....	56
8.3. INCENTIVOS DO GOVERNO À IMPLANTAÇÃO DE USINAS EÓLICAS	57
8.4. RESULTADOS OBTIDOS COM OS INCENTIVOS DO GOVERNO.....	58
8.5. ANÁLISE ECONÔMICA.....	59
9. USINA SOLAR.....	61
9.1. O QUE É A ENERGIA SOLAR.....	62
9.2. POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE ENERGIA SOLAR NACIONAL	63
9.3. ANÁLISE ECONÔMICA.....	65
10. GERAÇÃO PRÓPRIA ATRAVÉS DE SIGFI's x INVESTIMENTOS x REDUÇÃO NA CONTA DE ENERGIA.....	66
10.1. IDENTIFICANDO A CARGA A SER LIGADA.....	66
10.2. DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO – (OFF-GRID).....	67
10.3. APRESENTAÇÃO DO SISTEMA.....	72
10.4. CUSTOS PARA AQUISIÇÃO DO SISTEMA.....	73
11. CONSIDERAÇÕES FINAIS	75
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77

LISTA DE ABREVIATURAS

A.A – Ao Ano

AIEA – Agência Internacional de Energia Atômica

ANA – Agência Nacional das Águas

BIG – Banco de Informações de Geração

BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social

BEN – Balanço Energético Nacional

BWR - Boiling Water Reactor

CCC – Conta de Consumo de Combustível

COFINS – Contribuição para Financiamento da Seguridade Social

CPMF – Contribuição Provisória sobre Movimentação Financeira

CSLL – Contribuição Social sobre o Lucro Líquido

DNAEE – Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica

FCN – Fábrica de Combustíveis Nucleares

GJ - Gigajoules

HWR – Heavy Water Reactors

ICMS – Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços

IEA – International Energy Agency

II – Imposto de Importação

IPI – Imposto sobre Produtos Industrializados

IR – Imposto de Renda

kW - KiloWatt

kWh – KiloWatt/Hora

LWR – Light Water Reactors

MW - Megawatt

PCH – Pequenas Centrais Hidrelétricas

PIS – Programa de Integração Social

PPA – *Power Purchase Agreement*

PROINFA – Programa de Incentivo as Fontes Alternativas de Energia

PWR – Pressurised Water Reactor

SIGFI – Sistema Individual de Geração com Fonte Intermitente

SIN – Sistema Interligado Nacional

TCC – Trabalho de Conclusão de Curso

TW - TeraWatt

TEQ – Tarifa de Equilíbrio

UNICA – União das Indústrias de cana-de-açúcar de São Paulo

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Potencial Hidrelétrico no Brasil: Fonte Atlas da Energia Elétrica no Brasil, 3º Edição, ANEEL, 2008.....	10
Figura 2. Potencial Hidrelétrico total instalado no Brasil: Fonte Atlas da Energia Elétrica no Brasil, 3º Edição, ANEEL, 2008.....	11
Figura 3. Sistema de Geração Hidrelétrica, Existente e Planejada: Fonte Plano Decenal de Expansão de Energia 2019, EPE, 2010.....	14
Figura 4. Composição da TEQ em gráfico (%): Fonte Livro Geração de Energia Elétrica no Brasil, Mauricio Tiomno Tolmasquim	16
Figura 5. Usina Hidrelétrica Edgar de Souza: Fonte http://meioambienteparatodos.wordpress.com/2009/08/25/excursao-s-a-salto	18
Figura 6. Usina Hidrelétrica de Piraí: Fonte http://www.tyba.com.br/fotos/foto/cd195_449.jpg	18
Figura 7. Composição da TEQ em gráfico (%): Fonte Livro Geração de Energia Elétrica no Brasil, Mauricio Tiomno Tolmasquim	28
Figura 8. Composição da TEQ em gráfico (%): Fonte Livro Geração de Energia Elétrica no Brasil, Mauricio Tiomno Tolmasquim.....	36
Figura 9. Matrizes de oferta energética Nacional: Fonte Atlas de Energia Elétrica no Brasil, 3º Ed., ANEEL.....	40
Figura 10. Usinas de Biomassa em Operação (Base 2008): Plano Decenal de Expansão de Energia 2019, EPE, 2010.....	41
Figura 11. Composição da TEQ em gráfico (%): Fonte Livro Geração de Energia Elétrica no Brasil, Mauricio Tiomno Tolmasquim.....	43
Figura 12. Composição da TEQ em gráfico (%): Fonte Livro Geração de Energia Elétrica no Brasil, Mauricio Tiomno Tolmasquim.....	48
Figura 13. Geração de energia elétrica no mundo por tipo de combustível – 2006: Fonte: Atlas de Energia Elétrica no Brasil, 3º Ed., ANEEL.....	50
Figura 14. Usina Nuclear Angra II: Fonte: Atlas de Energia Elétrica no Brasil, 3º Ed., ANEEL	53
Figura 15. Composição da TEQ em gráfico (%): Fonte Livro Geração de Energia Elétrica no Brasil, Mauricio Tiomno Tolmasquim.....	55
Figura 16. Aerogeradores: Fonte Atlas de Energia Elétrica no Brasil, 3º Ed., ANEEL	57
Figura 17. Potencial Eólico no Brasil: Fonte Atlas de Energia Elétrica no Brasil, 3º Ed., ANEEL ..	58
Figura 18. Percentual de Potência Contratada por Estado: Fonte Livro Geração de Energia Elétrica no Brasil, Mauricio Tiomno Tolmasquim	60
Figura 19. Composição da TEQ em gráfico (%): Fonte Livro Geração de Energia Elétrica no Brasil, Mauricio Tiomno Tolmasquim	62

Figura 20. Potência Instalada de Células Fotovoltaicas no mundo (MW)	
Fonte: Atlas de Energia Elétrica no Brasil, 3° Ed., ANEEL.....	63
Figura 21. Evolução sistemas conectados e desconectados da rede (MW)	
Fonte: Atlas de Energia Elétrica no Brasil, 3° Ed., ANEEL.....	65
Figura 22. Preço dos painéis solares no Japão (U\$\$ / W): Fonte Atlas de Energia Elétrica no Brasil, 3° Ed., ANEEL.....	65
Figura 23. Variação da radiação solar no país: Fonte Atlas de Energia Elétrica no Brasil, 3° Ed., ANEEL.....	66
Figura 24. Composição da TEQ em gráfico (%): Fonte ANEEL – SCG, 2006, NEGRI et al., 2003	67
Figura 25. Composição da carga: Fonte:	
http://www.dee.feis.unesp.br/pos/teses/arquivos/161_dissertacao_aislan_antonio_francis_quini.pdf	68
Figura 26. Identificação da corrente Ah / dia: Fonte Solar Brasil	69
Figura 27. Módulos Solares de célula Policristalino: Fonte Kyocera	69
Figura 28. Dados técnicos módulos solares: Fonte Solar Brasil	70
Figura 29. Controlador de Carga: Fonte Solar Brasil	70
Figura 30. Controlador de Carga: Fonte Phocos	71
Figura 31. Conversor DC/AC: Fonte Unitron	72
Figura 32. Especificações técnicas do Inversor de Tensão: Fonte Unitron	72
Figura 33. Baterias Seladas e chumbo ácido: Fonte FREEDOM.....	73
Figura 34. Especificações técnicas das Baterias: Fonte FREEDOM	73
Figura 35. Apresentação da montagem do controlador e inversor na caixa de acomodação: Fonte GUASCOR.....	74
Figura 36. Caixa de acomodação das Baterias ligadas em paralelo: Fonte GUASCOR.....	74
Figura 37. Sistema pronto para operação: Fonte GUASCOR.....	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Tributos a serem pagos por tipo de fonte.....	2
Tabela 2. Potencial Hidráulico mundial (TWh/ano) – Por recurso total disponível	8
Tabela 3. Potencial Hidráulico mundial (TWh/ano) – Em % de aproveitamento.....	9
Tabela 4. As dez principais Usinas em operação no Brasil – Base 2008.....	10
Tabela 5. Usinas em Construção / Planejadas	13
Tabela 6. Custos para implantação de Usinas Hidrelétricas.....	14
Tabela 7. Custos considerando os Cenários	15
Tabela 8. Composição da TEQ	15
Tabela 9. Classificação das PCH	24
Tabela 10. Formas de Geração no País (Base 31/12/2009).....	24
Tabela 11. Custos para implantação de uma PCH.....	26
Tabela 12. Custos considerando os Cenários	27
Tabela 13. Composição da TEQ	27
Tabela 14. Principais Termelétricas no Brasil.....	30
Tabela 15. Valores típicos de HR	33
Tabela 16. Valores típicos de PCI e PCS	33
Tabela 17. Capacidade de Geração x consumo de gás em usinas de C.S ou C.C.....	34
Tabela 18. Custos para implantação de uma Usina Termelétrica.....	34
Tabela 19. Custos considerando os Cenários	35
Tabela 20. Composição da TEQ	35
Tabela 21. Produtores de Bionergia	39
Tabela 22. Custos para implantação de uma Usina Termelétrica.....	42
Tabela 23. Custos considerando os Cenários	42
Tabela 24. Composição da TEQ	43
Tabela 25. Análise competitividade carvão x gás natural	45
Tabela 26. Térmica a Gás Natural VS Carvão Mineral	45
Tabela 27. Custos para implantação de uma Usina Termelétrica a Carvão.....	46
Tabela 28. Custos considerando os Cenários	47
Tabela 29. Composição da TEQ	47
Tabela 30. Usinas Nucleares no Mundo.....	51
Tabela 31. Custos para implantação de uma Usina Nuclear – Angra III.....	54
Tabela 32. Custos considerando os Cenários	55
Tabela 33. Composição da TEQ	55

Tabela 34. Evolução dos Geradores	56
Tabela 35. Ranking dos países com Geração Eólica	57
Tabela 36. Custos para implantação de uma Usina Eólica.....	61
Tabela 37. Custos considerando os Cenários	61
Tabela 38. Composição da TEQ	62
Tabela 39. Custos estimados para implantação de uma usina solar	67
Tabela 40. Composição estimado da TEQ	67
Tabela 41. Custo dos itens para geração de energia através do sol	75

RESUMO

CUNHA, Fabiano Thomaz. **Matrizes Energéticas no Brasil**. Itatiba, 2011. 60 f. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade São Francisco, Itatiba, 2011.

Para que o país possa se desenvolver cada vez mais, é fundamental a disponibilidade da energia elétrica para atendimento de toda demanda.

Há algumas décadas atrás, a forma de geração de energia mais utilizada eram as fontes poluentes (Carvão, Lenha, etc.) e parte com fonte hidráulica. Já nos dias de hoje, este cenário foi fortemente alterado, sendo utilizadas as mais diversas formas de tecnologias disponíveis no mundo para obtenção da geração de energia com objetivo de serem mais eficientes, menos poluentes e menores custos de investimentos possíveis. A forma de geração de energia mais discutida no momento são as fontes renováveis de energia, considerando que o país tem condições suficientes em gerar energia através do vento e do sol, mesmo sendo em regiões específicas do país, nada impede de ser uma forma alternativa de geração para complementar o sistema interligado nacional.

Neste trabalho, serão apresentadas de forma sucinta e objetiva as modalidades de geração de energia no país, apresentando qual o cenário do mercado brasileiro e quais os custos do MW gerado de cada fonte.

Palavras-chave: Geração de Energia. Matrizes de energia. Hidrelétricas. Pequenas Centrais Hidrelétricas. usinas térmicas. Usina nuclear. Parque eólico. Usina Solar

ABSTRACT

For the country to develop more and more, it is critical the availability of electricity to meet all demand.

A few decades ago, the form of power generation were the most used sources of pollution (coal, firewood, etc.), and some with power hydraulics. Already today, this scenario was strongly altered, and used many different types of technologies available in the world to obtain the energy generation in order to be more efficient, less polluting, and lower costs of possible investments. The form of power generation at the moment are discussed more renewable sources of energy, considering that the country is able to generate enough energy through the wind and sun, even though in specific regions of the country, nothing prevents it from being an alternative form of generation to supplement the national grid.

In this paper, presented in a succinct and objective procedures for power generation in the country, with which the stage of the Brazilian market and the costs of MW generated from each source.

Keywords: Power Generation. Energy Matrices. Hydroelectric. Small Hydro Power. thermal power plants. Nuclear plant. Wind farm. Solar Power Plant

1. Introdução

Atualmente, a energia elétrica é o fator fundamental para a continuidade do desenvolvimento e da criação de novas tecnologias. No Brasil, segundo o autor Mauricio Tolmasquim [1], a eletricidade tem sido um excelente indicador da economia.

Na década de 1980, o Brasil teve uma evolução instável devido reflexos da crise financeira internacional. Apesar desta turbulência, na média, a evolução do PIB foi positiva, porém, inferior ao crescimento populacional no qual foi possível identificar com o expressivo consumo de energia neste período.

Na década de 1990, o marco importante foi o plano real no qual foi analisada num primeiro momento a condição para retomada do crescimento e o aumento da renda *per capita* da população. Um dos critérios adotado foi a facilidade para obtenção de crédito para aquisição de novos produtos com isso aumentando o consumo de energia elétrica. Neste mesmo período, iniciou-se o processo de privatização das geradoras, transmissoras e distribuidoras de energia. Diante desta situação, o governo brasileiro inibiu os novos investimentos em geração de energia no qual foi identificado um déficit para atendimento de toda a demanda existente.

Com a falta de investimento no setor, em 2001, foi necessário tomar medidas drásticas com o racionamento de energia no qual o governo brasileiro amargou pela primeira vez nos últimos 50 anos, a taxa negativa de crescimento.

O racionamento de energia ocorreu entre Junho de 2001 à Fevereiro de 2002 nas regiões, Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste e entre agosto e dezembro na região Norte. Apenas a região Sul ficou fora do racionamento.

No período do racionamento, o consumo de energia no país teve um crescimento superior a 5% ao ano, diferente da economia, que teve um crescimento de apenas 1,9% a.a. É importante ressaltar que o crescimento no consumo teve reflexo com o fim do racionamento, no qual muitos brasileiros retomaram o seu padrão de vida antes do racionamento.

Diante das situações ocorridas nas últimas décadas, pode se perceber que o consumo de energia tem sua trajetória de crescimento diferente da evolução da economia, ou seja, não existe a possibilidade de comparar a taxa de crescimento do país vs a taxa de energia consumida, o consumo será sempre em menor escala superior ao crescimento da economia no país. Esta situação pode ser explicada da seguinte maneira: quanto maior for o crescimento da renda, maior será o consumo de energia. Com dados históricos e se o cenário do consumo de energia no país continuar neste patamar, até 2015 o consumo de energia elétrica no país poderá ultrapassar a casa dos 600 TWh ano.

Baseados no exposto, neste trabalho serão apresentados as fontes passíveis de geração de energia no país, o custo do investimento com os respectivos impostos e o valor final da tarifa a ser repassada pelas distribuidoras.

Tabela 1 – Tributos a serem pagos por tipo de fonte

Fontes de Geração	Impostos	Com Conexão	Sem Conexão	Com Conexão & Isenção Parcial	Sem Conexão & Isenção Parcial	Sem Conexão & Isenção Total
Hidrelétrica, PCH, Bagaço de Cana	IPI - Sobre Equipamento	X	X	-	-	-
	ICMS - Sobre Equipamento	X	X	-	-	-
	PIS - Sobre o Faturamento	X	X	X	X	-
	COFINS - Sobre o Faturamento	X	X	X	X	-
	CPMF - Sobre o Faturamento	X	X	X	X	-
	IR - Sobre o Faturamento	X	X	X	X	-
	CSLL - Sobre o Faturamento	X	X	X	X	-
	Custos de Conexão	X	-	X	-	-
Eólica, Gás Natural, Carvão Mineral e Nuclear	IPI - Sobre Equipamento	X	X	-	-	-
	ICMS - Sobre Equipamento	X	X	-	-	-
	II - Sobre o Equipamento	X	X	-	-	-
	PIS - Sobre o Faturamento	X	X	X	X	-
	COFINS - Sobre o Faturamento	X	X	X	X	-
	CPMF - Sobre o Faturamento	X	X	X	X	-
	IR - Sobre o Faturamento	X	X	X	X	-
	CSLL - Sobre o Faturamento	X	X	X	X	-
Custos de Conexão	X	-	X	-	-	

Fonte: Livro Geração de Energia Elétrica no Brasil, Mauricio Tiomno Tolmasquim

Com Conexão: é o valor da tarifa equilíbrio com todos os impostos e tributos, aquisição de equipamentos, faturamento e custos de conexão e interligação do sistema.

Sem Conexão: é o valor da tarifa de equilíbrio com todos os impostos e tributos, aquisição de equipamentos, faturamento sem os custos de conexão.

Com Conexão e Isenção Parcial: É o valor nos tributos na tarifa de equilíbrio que incidem sobre os equipamentos baseando no cenário “Com Conexão”. Além dos custos de conexão foram considerados custos nas distintas tecnologias a serem empregadas.

Sem Conexão e Isenção Parcial: É o valor nos custos de conexão na tarifa equilíbrio que incidem sobre os investimentos considerando o cenário “Com Conexão e Isenção Parcial”. Não foram considerados os tributos, IPI, ICMS e II.

Sem Conexão e Isenção Total: é o valor do custo de geração das planta de geração de energia sem considerar os impostos sobre os equipamentos, faturamento e os custos de conexão. Este cenário é o utilizado como referência para comparação internacional.

2. Geração Hidrelétrica

As usinas hidrelétricas são as fontes de energia mais utilizadas no mundo. É a segunda maior fonte de geração de energia no mundo, ela representa 20% de toda geração de energia no planeta segundo o Atlas de Energia Elétrica no Brasil.

A energia hidrelétrica é produzida através do represamento de águas através do curso d'água de um rio, analisando a vazão, a quantidade de água disponível em um determinado período do ano (secas) e os desníveis existentes com o percurso da água ou mesmo com a construção de barragens.

A energia hidráulica provém da irradiação solar e o potencial gravitacional. O sol e a gravidade fazem com que a água evapore e a condensação e precipitação da água sobre a superfície da Terra. Com a gravidade, a água percorre um trecho do rio no qual é chamada de energia cinética no qual ao longo do trecho pode ser convertida em energia mecânica e posteriormente em energia elétrica através das usinas. É uma das fontes de geração de energia mais limpas e renováveis no mundo.

Uma usina hidrelétrica é composta por Barragens, Sistemas de Captação e adução de água, casa de força e comportas. Cada um destes itens devem ser projetadas e executadas de forma a trabalharem em conjunto sem apresentar nenhum tipo de erro.

A barragem é criada em um espaço paralelo ao leito do rio de forma a interromper o curso d'água e posteriormente a criação de um reservatório ou lago artificial. Este reservatório é criado conforme a necessidade de água a ser armazenada capaz de atender a demanda necessária de água para tocar as máquinas da Usina. O objetivo da criação deste reservatório é de armazenar águas nos períodos de cheias e formar a queda d'água em locais que não exista um desnível concentrado para um nível adequado.

A água disponível no reservatório é levada até a casa de força através de túneis ou dutos metálicos.

Na casa de força, local este onde estão instaladas as turbinas, é realizada a conversão da energia cinética em energia mecânica e, os geradores, convertem a energia mecânica em energia elétrica.

Através dos túneis ou dutos metálicos a água é conduzida até a turbina acoplada ao gerador trabalhando em conjunto realizando as transformações nas diversas formas de energia. Após a passagem da água pela turbina, a água retorna ao leito do rio através do canal de fuga.

Após a construção de uma usina hidrelétrica, a sua manutenção e operação requerem uma equipe de profissionais reduzida apresentando um custo muito baixo para sua produção.

Para a construção de uma usina, o investimento inicial é alto no qual dependem de condições naturais imprevisíveis e incertas para seu pleno funcionamento. Por um lado, é uma fonte geradora de energia renovável e limpa, porém, provocam impactos ambientais irreversíveis. A hidroeletricidade é uma das alternativas de energia mais viável a serem executadas, mas, não é o único, pois um projeto bem elaborado pode favorecer a agricultura com irrigações, abastecimento de água, transporte fluvial e o turismo.

2.1. A história da Geração Hidráulica

Há mais de 2000 anos atrás, os antigos moinhos ou rodas d'água de madeira era utilizado para converter a energia cinética em energia mecânica, mais precisamente para bombeamento de água e moagem de grãos.

A primeira usina hidrelétrica foi construída em 1882 nos Estados Unidos da América no qual era aproveitado apenas o fluxo da água para geração. Apenas alguns anos mais tarde foram construídas barragens e reservatórios artificiais.

No Brasil, a primeira Usina Hidrelétrica construída foi a Usina de Marmelos, construída em 1889 no município de Juiz de Fora - MG.

Em 1913 ocorreu o primeiro aproveitamento das águas, das cachoeiras de Paulo Afonso no Rio São Francisco para a construção da Usina Anjiquinho cuja energia gerada, foi utilizada para o estado de Alagoas, mas, que tinha como objetivo atender as cidades de Recife e Salvador.

Em meados de 1920, foi construída uma usina de maior potencial de geração, a Usina Ilha dos Pombos, situada no rio Paraíba do Sul entre os estados do Rio de Janeiro e Minas Gerais tendo a visão de atender a cidade do Rio de Janeiro. Até a primeira metade do século 20, a região Sudeste foi a pioneira com a implantação de novas usinas hidrelétricas no país, tal situação aponta a região como a maior no desenvolvimento econômico.

Após a segunda Guerra Mundial até a década de 70, as construções de novas usinas foram se espalhando, mais precisamente nas regiões Sul e Nordeste do país.

Nesta época foi identificado o grande potencial de geração nas bacias dos rios Paraná e São Francisco. Neste período, teve um grande marco no desenvolvimento do país, sendo construídas as Usinas de Paulo Afonso de Três Marias, ambas no rio São Francisco, sendo capazes de gerar juntas mais de 575 MW. Além destas duas usinas, foi construída a usina de Furnas no Rio Grande capaz de gerar 1.270 MW.

Além destas usinas, na região Nordeste, destaca-se ainda as obras no complexo de Paulo Afonso no rio São Francisco, atualmente com capacidade de geração de 4.280 MW.

Na região Sul do país foram construídas as Usinas Foz do Areia e de Salto Santiago, ambas no Rio Iguaçu com capacidade de gerar juntas mais de 3.095 MW.

Com o surgimento de novas tecnologias na área de transmissão, novos locais de aproveitamentos foram viabilizados, mesmo em regiões mais distantes, desta forma sendo possível a interconexão aproveitando a diversidade dos ciclos hidrológicos entre os rios e as curvas de consumo de cada região do país.

No Brasil, atualmente representa 8,5% de toda a geração de energia elétrica hídrica no mundo, apenas China e Estados Unidos possuem parques hidrelétricos de geração maior que o Brasileiro, embora outras fontes de geração de energia prevaleçam nestes países.

A maior usina de geração de energia é a de Itaipu, situada no Rio Paraná, um empreendimento binacional envolvendo o Brasil e o Paraguai. Itaipu atualmente é capaz de gerar 14.000 MW de energia, energia esta gerada através de 20 unidades geradoras de 700 MW cada.

Outras grandes usinas hidrelétricas no Brasil são a de Tucuruí no rio Tocantins com capacidade total de geração de 8.085 MW; Ilha Solteira no rio Paraná com capacidade de geração de 3.444 MW; Xingó no rio São Francisco com capacidade de gerar 3.162 MW; e; Itumbiara e São Simão, ambas situadas no rio Paranaíba capazes de gerar 3.834 MW de energia.

Segundo prof. Raymond Lafitte [2], presidente da *International Hydropower Association*, se cuidadosamente for planejado o desenvolvimento da hidroeletricidade, a mesma poderá contribuir positivamente para a melhoria e confiabilidade do sistema elétrico no mundo contribuindo para o desenvolvimento dos países que ainda dispõem de um grande potencial hidráulico.

2.2. Os Recursos Hidráulicos

Existe uma fórmula para se obter uma estimativa mundial de quanto de energia hidráulica ainda há disponível no mundo, ou seja, considera-se a média da massa de precipitação anual da Terra e a altura média da superfície terrestre. O valor final obtido como estas duas informações pela aceleração da gravidade fornece essa estimativa global. Conforme Boyle, o potencial de energia hidráulica mundial é da ordem de 200 mil TWh por ano, isto corresponde a 17.200 milhões de toneladas equivalentes de petróleo, ou seja, 1,7 vezes à demanda total de energia primária em todo o mundo no

ano de 2003. Este potencial estimado é ainda maior que a necessidade mundial para o ano de 2020, em torno de 15.410 toneladas equivalentes de petróleo segundo o cenário de referência do *International Energy Outlook*.

Apesar destes estudos, não podemos considerar que 100% destes valores estimados poderão ser utilizados, sendo que boas partes desta massa de precipitação ocorrem em locais inacessíveis do planeta e, não somente isto ainda tem a perda nos canais e tubulações e na própria conversão de energia mecânica para elétrica. Baseado em estudos do *World Energy Council – WEC* pode-se afirmar que o potencial disponível é de 40.700 TWh por ano, ou seja, apenas 20% do valor total informado originalmente.

Cerca de 65% deste potencial estão disponíveis em 10 países, cada uma delas com capacidade hídrico estimado de 1.000 TWh por ano ou valor superior. O Brasil está em terceiro lugar neste *ranking* ficando atrás apenas da China e dos EUA.

Diante de tantos números, não podemos afirmar com certeza que este potencial está realmente disponível, pois para se obter uma informação concreta, seria necessário realizar levantamentos nos locais identificados como potencial levando em conta o perfil topográfico, o regime de chuvas, a tecnologia a ser empregada e o período efetivo de funcionamento quando for integrada ao sistema elétrico.

Tabela 2 – Potencial Hidráulico mundial (TWh/ano) – Por recurso total disponível

País	Ranking *	Recurso Total	Potencial Aproveitável	% Aproveitamento
China	1º	5.920	1.920	32,4%
Estados Unidos	2º	4.485	529	11,8%
BRASIL	3º	3.040	1.488	48,9%
Rússia	4º	2.800	1.670	59,6%
Índia	5º	2.638	660	25,0%
Indonésia	6º	2.147	402	18,7%
Peru	7º	1.578	260	16,5%
Congo	8º	1.397	774	55,4%
Canadá	9º	1.289	951	73,8%
Colômbia	10º	1.000	200	20,0%
Japão	11º	718	136	18,9%
Noruega	12º	600	200	33,3%
Itália	13º	340	105	30,9%
França	14º	200	72	36,0%
Suécia	15º	176	130	73,9%
Alemanha	16º	120	26	21,7%

* Baseado no recurso total disponível

Fonte: Livro Geração de Energia Elétrica no Brasil, Mauricio Tiomno Tolmasquim

Tabela 3 – Potencial Hidráulico mundial (TWh/ano) – Em % de aproveitamento

País	Ranking *	Recurso Total	Potencial Aproveitável	% Aproveitamento
Suécia	1º	176	130	73,9%
Canadá	2º	1.289	951	73,8%
Rússia	3º	2.800	1.670	59,6%
Congo	4º	1.397	774	55,4%
BRASIL	5º	3.040	1.488	48,9%
França	6º	200	72	36,0%
Noruega	7º	600	200	33,3%
China	8º	5.920	1.920	32,4%
Itália	9º	340	105	30,9%
Índia	10º	2.638	660	25,0%
Alemanha	11º	120	26	21,7%
Colômbia	12º	1.000	200	20,0%
Japão	13º	718	136	18,9%
Indonésia	14º	2.147	402	18,7%
Peru	15º	1.578	260	16,5%
Estados Unidos	16º	4.485	529	11,8%

* Baseado no percentual de aproveitamento

Fonte: Livro Geração de Energia Elétrica no Brasil, Mauricio Tiomno Tolmasquim

2.3. Os Recursos Hidráulicos no Brasil

Conforme estudos realizados pelo Balanço Energético Nacional (BEN), as usinas hidrelétricas representam aproximadamente 15% da matriz energética do Brasil, sendo inferiores as fontes de energia geradas por cana-de-açúcar e de Petróleo ou derivadas.

Segundo o plano 2015 da Eletrobrás, o Brasil possui um potencial hidráulico de 260 mil MW, porém, apenas 78 mil MW são transformadas em Usinas ou outorgadas. A idéia é que até 2030, o potencial total a ser aproveitado está em torno de 126 mil MW, no qual boas partes deste potencial estão situadas na Bacia do Rio Amazonas e do Tocantins. O mapa a seguir apresenta o potencial de energia disponível por região no Brasil.



Figura 1 – Potencial Hidrelétrico no Brasil: Fonte Atlas da Energia Elétrica no Brasil, 3ª Edição, ANEEL, 2008.

Tabela 4 – As dez principais Usinas em operação no Brasil – Base 2008

Ranking	Usina	Potência (kW)	Região
1	Tucuruí I e II	8.370.000	Norte
2	Itaipu (Lado Brasileiro)	6.300.000	Sul
3	Ilha Solteira	3.444.000	Sudeste
4	Xingo	3.162.000	Nordeste
5	Paulo Afonso IV	2.462.400	Nordeste
6	Itumbiara	2.082.000	Sudeste
7	São Simão	1.710.000	Sudeste
8	Governador Bento Munhoz da Rocha Neto (Foz do Areia)	1.676.000	Sudeste
9	Jupia (Eng. Souza Dias)	1.551.200	Sudeste
10	Porto Primavera (Eng. Sérgio Motta)	1.540.000	Sudeste

Fonte: Atlas da Energia Elétrica no Brasil, 3ª Edição, ANEEL, 2008.



Figura 2 – Potencial Hidrelétrico total instalado no Brasil: Fonte Atlas da Energia Elétrica no Brasil, 3º Edição, ANEEL, 2008.

2.4. Impactos Ambientais e Econômicos

A implantação de usinas hidrelétricas provoca diversos impactos sociais, ambientais e econômicos nas áreas onde serão instaladas. Os impactos sociais estão ligados diretamente ao uso do solo em virtude do deslocamento da população residente na área, porém, se antecipados e considerados na fase do inventário e da elaboração do projeto, os impactos podem ser menores e tratados adequadamente junto a população residente no local.

Um dos impactos sociais a ser considerado também é a intensificação de pessoas migratórias em virtude da construção do empreendimento. Conforme projeções estimadas, para a construção de novas usinas, a cada 100MW de geração de energia

pode se ter um quadro de até 1.200 funcionários podendo até dobrar esta quantidade dependendo do cronograma da obra.

Um dos pontos a serem consideradas também é o desenvolvimento do município e região onde está sendo implantado o novo empreendimento, pois podem trazer o desenvolvimento da área gerando empregos, abastecimento de água e energia, saneamento básico, instalações de escolas e postos de saúde.

Geração de Energia Hidrelétrica é uma fonte renovável de energia, não trazem prejuízos ao meio ambiente após a sua total implantação. Já foi comprovado que a construção usinas hidrelétricas não contribuem para o aumento da emissão de gases do efeito estufa, ou seja, realizando comparações entre a geração de energia através de usinas hidrelétricas vs usinas de geração utilizando combustíveis fósseis, as usinas hidrelétricas geram bem menos gases de efeito estufa. De acordo com estudos realizados recentemente, se apenas metade do potencial hidráulico disponível no mundo for desenvolvido, a emissão de gases do efeito estufa poderia ser reduzido em até 13% e o impacto por evitar as emissões de dióxido de enxofre (causadoras da chuva ácida) e de óxidos de nitrogênio é ainda maior.

Outro ponto a ser considerado como impacto na construção de usinas hidrelétricas, é alteração no processo natural da fauna, flora e qualidade da água.

Vale ressaltar que quando os estudos são realizados por profissionais especializados, muito tem se evoluído na construção de soluções mitigadoras e compensatórias de tais impactos, desde a fase do planejamento do desenvolvimento do potencial hidrelétrico até a fase do inventário de uma bacia hidrográfica trazendo maiores benefícios sociais e ambientais.

Através da criação das leis 10.847 e 10.848 em março de 2004 para criação de empresas de Pesquisas Energéticas para desenvolvimento do potencial hidrelétrico para que uma usina hidrelétrica possa ser uma alternativa para atendimento à expansão futura do consumo de energia.

As criações de pequenas centrais hidrelétricas (PCH) também fazem parte destas leis com a diferenciação do ponto de vista jurídico institucional com a definição de incentivos especiais referente ao licenciamento ambiental para a implementação destas usinas.

É certo dizer que instalações de novas usinas requerem um alto investimento inicial e que para a sua instalação pode oferecer barreiras a novos investidores, porém, pode ser compensado pelo baixo custo de manutenção e operação ao longo dos anos.

Como apresentado, os países que ostentam os maiores índices de aproveitamento do potencial são os países desenvolvidos, como Estado Unidos por

exemplo, pode-se até utilizar uma comparação que onde maior é a pobreza, menor é o desenvolvimento potencial hidrelétrico.

Conforme conclusões apresentadas no XVII Congresso do Conselho Mundial de Energia realizada em Houston em 1998, diz que:

- O potencial hidrelétrico disponível deve ser implementado na maior extensão possível atendendo os parâmetros técnicos, econômicos, sociais e ambientais;
- O desenvolvimento hidrelétrico deve caminhar paralelo ao desenvolvimento das demais fontes renováveis de energia;
- O Estado não pode delegar totalmente o desenvolvimento para a iniciativa privada, o Estado deve estar envolvido também nos processos de planejamento e licenciamento ambiental;

2.5. Expansão da Geração Hidrelétrica no Brasil

Tabela 5 – Usinas em Construção / Planejadas

Etapa	Nº de UHE's	UHE's
Usinas em Construção	19	Barra dos Coqueiros, Batalha, Caçu, Dardanelos, Estreito (Tocantins), Foz do Chapecó, Foz do Rio Claro, Jirau, Mauá, Passo São João, Retiro Baixo, Rondon II, Salto, Salto do Rio Verdinho, Salto Pilão, Santo Antônio, São José, Serra do Facão, Simplício
Usinas Concedidas (Obra não iniciada)	9	Baixo Iguaçu, Baú I, Cachoeirinha, Couto Magalhães, Pai Querê, Santo Antônio do Jari, São Domingos, São João, Tijuco Alto
Usinas Planejadas (2015-2019)	33	Água Limpa, Barra do Pomba, Belo Monte, Cachoeira, Cachoeira do Caí, Cachoeira dos Patos, Castelhana, Colíder, Davinópolis, Estreito, Ferreira Gomes, Foz do Apiacás, Garibaldi, Itapiranga, Jamanxim, Jardim do Ouro, Jatobá, Marabá, Mirador, Ribeiro Gonçalves, Salto Grande, São Luiz do Tapajós, São Manoel, São Miguel, São Roque, Serra Quebrada, Sinop, Telêmaco Borba, Teles Pires, Toricoejo, Torixoréu, Traíra II, Uruçuí

Fonte: Plano Decenal de Expansão de Energia 2019, EPE, 2010



Figura 3 – Sistema de Geração Hidrelétrica, Existente e Planejada: Fonte Plano Decenal de Expansão de Energia 2019, EPE, 2010.

2.6. Análise Econômica

Para os investimentos em usinas hidrelétricas, é extremamente necessário realizar uma avaliação econômica financeira para verificar qual a melhor alternativa a ser explorado referente à implantação da geração de energia. Abaixo serão apresentadas algumas simulações de cenários e custos dos investimentos.

Tabela 6 – Custos para implantação de Usinas Hidrelétricas

Análises	U.M	Valor
Vida útil do projeto	Anos	30
Depreciação	Anos	30
Investimento*	R\$/MW	1.640.000,00
Potencia Elétrica	MW	900,00
Total Investimento	Milhões R\$	1.476.000.000,00

continua

anterior

Despesas Fixas e Variáveis	R\$/ MWh	12,75
Seguro Operacional	% Investimento	0,5
Custos de Transmissão	R\$/MWh	5,72
Impostos	%	34,63
Taxas Fiscalização ANEEL	MR \$/Ano	0,61
P & D	%	1,00
Royalties	R\$ / MWh	3,56
Contribuição Social	%	9,00

* Considerando o cenário Com Conexão

Fonte: Livro Geração de Energia Elétrica no Brasil, Mauricio Tiomno Tolmasquim

Tabela 7 – Custos considerando os Cenários

Casos	TEQ (R\$/MWh)	Investimentos (R\$/MW)
Com Conexão	71,52	1.640.000,00
Sem Conexão	67,10	1.522.000,00
Com Conexão & Isenção	67,10	1.522.000,00
Sem Conexão & Isenção	62,74	1.406.000,00
Sem Conexão & Isenção Total	49,46	1.406.000,00

Fonte: Livro Geração de Energia Elétrica no Brasil, Mauricio Tiomno Tolmasquim

No início deste trabalho, foram apresentadas as modicidades com os custos de geração considerando os cenários, Com Conexão, Sem Conexão, Com Conexão & Isenção, Sem Conexão & Isenção e Sem Conexão e Isenção Total. Na tabela 8 abaixo será apresentado a composição do custo da TEQ - Tarifa de Equilíbrio em cada caso.

Tabela 8 – Composição da TEQ

Cenários	TEQ R\$/MWh	Composição da TEQ
Custos com Geração	49,46	69%
Imposto sem Faturamento	13,28	19%
Conexão	4,36	6%
Imposto sem Equipamento	4,42	6%
Tarifa Final	71,52	100%

Fonte: Livro Geração de Energia Elétrica no Brasil, Mauricio Tiomno Tolmasquim

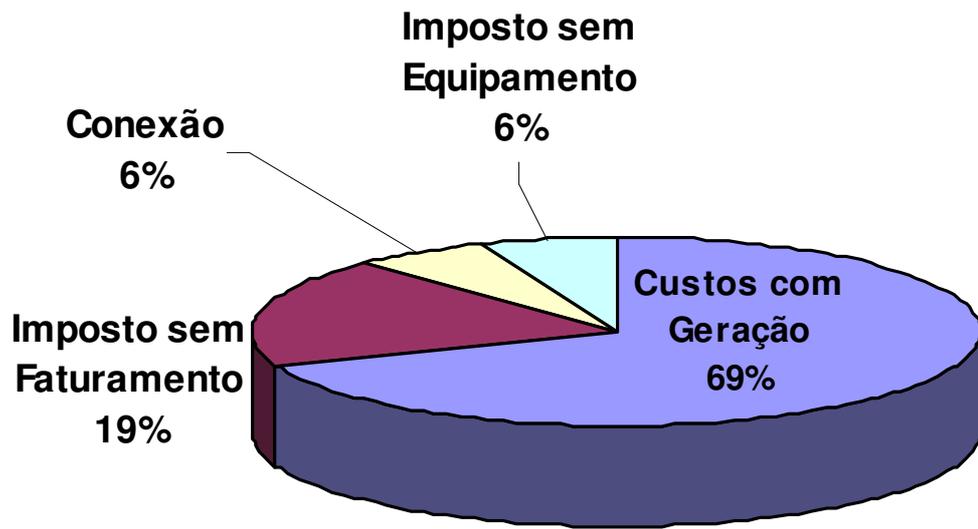


Figura 4 – Composição da TEQ em gráfico (%): Fonte Livro Geração de Energia Elétrica no Brasil, Mauricio Tiomno Tolmasquim

3. Pequenas Centrais Hidrelétricas – PCH

Conforme Paulon e Martins Neto (2000), a primeira fonte de geração de energia elétrica no país foi em 1883 no município de Diamantina no estado de Minas Gerais. Foi instalada uma pequena usina para geração de energia elétrica com objetivo de atender duas bombas de desmonte hidráulico, que, através de jatos d'água, movimentavam as terras para busca de diamantes. A distância entre a usina e o local da carga era de apenas de 2 km.

No mesmo estado, em 1883 foi instalada a segunda pequena usina hidrelétrica para o trabalho da mineração. Além dos motores, parte da carga era destinada à iluminação às dependências da usina e para a casa dos mineradores que ali moravam.

Paulon e Martins Neto (2000) afirmaram que o aparecimento das pequenas centrais hidrelétricas deveu-se basicamente à necessidade de fornecimento de energia para serviços públicos de iluminação e para atividades econômicas ligadas à mineração, fábrica de tecidos, serrarias e beneficiamento de produtos agrícolas.

Na época, em virtude do alto custo para implantação, a potencia de geração era baixa, tendo-se dado a preferência para implantação e aproveitamento direto da força da água que determinavam inclusive, o local da instalação das fábricas o mais próximo possível às quedas. Em virtude da baixa confiabilidade quanto ao funcionamento dessas instalações, a concorrência até a virada do século era que a energia térmica predominasse, porém, o cenário mudou tendo as hidrelétricas ganhado forças com a chegada da Light com a instalação de sua primeira geradora hidrelétrica.

A primeira hidrelétrica a ser instalada foi a Hidrelétrica de Parnaíba (atual Edgard de Souza). A sua instalação ocorreu em 1901 no rio Tietê em São Paulo com uma capacidade de geração total de 2.000 kW. Até 1903 a usina teve a capacidade de geração aumentada para 4.000 kW e, em 1912, chegou-se ao máximo possível de geração, sendo ela capaz de produzir 16.000 kW de energia.

A implantação desta usina atendia a necessidade dos transportes urbanos e iluminação da cidade de São Paulo.



Figura 5 – Usina Hidrelétrica Edgar de Souza: Fonte
<http://meioambienteparatodos.wordpress.com/2009/08/25/excursao-s-a-salto>

Em 1905, a Light implantou no estado do Rio de Janeiro, no município de Piraí para iluminação pública, iluminação residencial e para tracionar os bondes elétricos, a usina de Piraí. Em 1909 a usina de Piraí passou a ser a maior usina do Brasil e uma das maiores usinas do mundo, com capacidade de gerar 24.000 kW.



Figura 6 – Usina Hidrelétrica de Piraí: Fonte
http://www.tyba.com.br/fotos/foto/cd195_449.jpg

Com a realização do CENSO em 1920, foi identificada no território brasileiro, a existência de 209 geradores hidrelétricos totalizando uma potência total de geração de 272.000 kW.

Após 1920, e com a grande demanda de energia necessária, dois elementos básicos caracterizam investimentos na área, sendo, a construção de centrais hidrelétricas com maior capacidade de geração e a intensificação das empresas distribuidoras de energia.

Nesta época os crescimentos das indústrias aumentaram verticalmente, sendo necessária a tomada de medidas rápidas para atender toda a demanda no qual foi sentido nesta década com o racionamento de consumo.

Diante deste cenário, foram aumentadas as capacidades de geração das pequenas centrais hidrelétricas e foram construídas novas usinas, sendo a Hidrelétrica de Rasgão com capacidade de geração de 22.000 kW e da Hidrelétrica de Cubatão com capacidade de geração de 28.000 kW em sua inauguração. Em apenas dois anos, 1927 e 1928, a Light incorporou oito empresas ao grupo e entre os anos de 1930 e 1934, incorporou mais cinco usinas.

Não podemos também de deixar de citar as usinas localizadas no interior de São Paulo, como por exemplo, a Companhia Paulista de Força e Luz, o grupo pertencente à Família Silva Prado e o grupo Ataliba Vale- J. A. Fonseca Rodrigues – Ramos de Azevedo também fazia parte da incorporação das menores concessionária.

Com a incorporação destas pequenas empresas, surgiu a *American Foreign Power Company* – AMFORP, empresa do grupo americano que entrou no país fazendo grandes alterações nos regimes de propriedade e de funcionamento de empresas ligadas ao setor.

Os quatro grupos que concentravam o maior porte no interior de São Paulo, passaram rapidamente para o controle das majoritárias, sendo a Light e AMFORP, dominando quase todo território nacional com o monopólio.

Mesmo com o monopólio das duas empresas, muitos municípios do interior de São Paulo construíram usinas de pequenos portes através de prefeituras municipais, governos estaduais e alguns órgãos federais.

Como não houve investimentos na área em quase duas décadas após a criação do monopólio pela Light e AMFORP, em 1945, o governo brasileiro criou o a CHESF – Companhia Hidrelétrica do São Francisco, sendo um marco histórico nacional por se tratar de uma empresa pública a se envolver no campo da geração de energia.

Após a segunda guerra mundial, o estado desenvolveu um grande programa de investimentos nas áreas de Geração e Transmissão na qual nesta época consolidou-se o modelo de divisão de encargos entre empresas públicas e privadas, sendo as

públicas responsáveis pela expansão do mercado na Geração de energia e as privadas pela distribuição.

Diante deste fato, muito se foi feito nas áreas de geração de energia onde se tivesse um maior aproveitamento da capacidade, porém, com o esgotamento destes locais e as mudanças na legislação do setor elétrico, com os grandes impactos na fauna e flora, uma das saídas mais viáveis seriam as Pequenas Centrais Hidrelétricas criando a sigla (PIE) – Produtor Independente de Energia, como foco principal ao atendimento a famílias situados em locais isolados ou mesmo para substituição das usinas termelétricas.

3.1. O surgimento regulamentar das PCH

Mesmo com o surgimento das pequenas centrais hidrelétricas terem surgido no final do século 19, somente em 1982, o item em questão foi mencionado na legislação do setor elétrico através da portaria DNAEE 109 de 24 de novembro de 1982, designando que PCH seriam as centrais hidrelétricas que possuíam no máximo a potência total instalada de 10 MW e que atendessem as seguintes características:

- Operação em fio d água ou regularização diária;
- Barragens e vertedouros com altura máxima de 10m;
- Adutor formado por canais a céu aberto ou tubulações não utilizando túneis;
- Estruturas hidráulicas com previsão no máximo turbinável de 20 m³/s;
- Unidades geradoras com potencial individual de até 5 MW.

Em 6 de outubro de 1987, a portaria DNAEE 136 altera a definição de PCH dada pela portaria DNAEE 109 de 1982, alterando as características construtivas através da seguinte redação: “...será considerada Pequena Central Hidrelétrica – PCH o aproveitamento que tenha potência instalada total de, no máximo, 10 MW, e potência máxima por gerador de 5 MW”.

Mesmo com a alteração do texto, os resultados obtidos não foram os esperados, na qual o texto novamente foi revisado. Onze anos após a publicação da portaria 136 do DNAEE, em 27 de maio de 1998 foi publicado a lei número 9.648 que dispensava

as licitações para a criação das PCH de até 30 MW para Autoprodutor e Produtor Independente, porém, as características para construção não poderiam ser alteradas.

Com intuito de caracterizar o conceito das PCH, em 04 de dezembro de 1998 a ANEEL publicou a resolução 394 que estabeleciam os conceitos para criação de PCH e que era constituído à aquelas que tinham potência instalada entre 1 e 30 MW e para áreas inundadas até 3,0 km² delimitada pela cota d'água associada à vazão de cheia com tempo de recorrência de 100 anos. Pequenas Centrais Hidrelétricas com característica diferente das mencionadas acima poderão ser aceitas pela ANEEL desde que analisada pela Diretoria com base em pareceres técnicos que contemplem a situação.

Mesmo com tantas publicações tanto do DNAEE quanto ANEEL, em 09 de Dezembro de 2003, a ANEEL publicou a resolução 652 na qual teve alterações no 3º artigo estabelecendo que seria PCH aquelas que com o aproveitamento hidrelétrico com potência superior a 1 MW e menor ou igual a 30 MW destinado exclusivamente a produção independente, autoprodução ou produção independente autônoma, com área de reservatório inferior a 3,0 km², ou, conforme mencionado no artigo 4, para áreas de reservatório respeitado os limites de potência e modalidade de exploração, será considerado como PCH se atender algumas das condições;

I – Atendimento á inequação:

$$A \leq \frac{14,3 \times P}{H_b}$$

Sendo:

P = Potência elétrica instalada em MW;

A = Área do reservatório em km², que é a área da planta à montante do barramento, delimitada pelo nível d'água máximo normal de montante;

H_b = Queda bruta em metros, definida pela diferença entre os níveis d'água máximos normal de montante e normal de jusante;

II – Reservatórios cujo dimensionamento foi comprovadamente baseada em outros objetivos contrária ao de geração de energia elétrica;

Para a resolução da inequação do inciso I, ficou definido adicionalmente que a área do reservatório não poderá ser superior que 13,0 km².

Para inequação do inciso II, não caberá apenas a ANEEL decidir se poderá ou não ser uma PCH, será necessário também envolver a ANA – Agência Nacional das Águas, o Comitê de Bacias Hidrográficas, os Estados e o Distrito Federal para definir as dimensões do reservatório para utilização de uso múltiplo.

3.2. Quanto à classificação

Para definição das classificações das PCH, em janeiro de 2000, a ELETROBRÁS lançou suas “Diretrizes para Estudos e Projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas” abordando todas as atividades que devem ser desenvolvidas desde a fase de desenvolvimento até a sua completa implantação.

3.3. Regularização dos Reservatórios

Conforme definido no manual de Diretrizes para Estudos de Pequenas Centrais Hidrelétricas desenvolvida pela Eletrobrás, a capacidade de regularização dos reservatórios são:

- Ser a Fio d’Água;
- De Acumulação, com Regularização Diária do Reservatório;
- De Acumulação, com Regularização Mensal do Reservatório;

Não fazem parte deste manual, as centrais de acumulação como regularização superior à mensal.

Entende-se a fio d’Água quando as vazões em períodos de estiagem do rio são iguais ou superiores que a descarga necessária à potência máxima a ser instalada para atender a máxima demanda prevista.

Para as PCH a fio d’Água, não se considera o volume da água criada pela barragem. Nestes tipos de PCH, são dispensados diversos itens, sendo as principais simplificações;

- Os estudos de vazões;
- Estudos de sazonalidade da carga do consumidor;
- Facilidade nos estudos da tomada d’Água;

- No momento da elaboração do projeto, não tendo flutuações significativas com relação ao nível d'Água do reservatório, não sendo necessário o planejamento da tomada d'Água para atender as depleções do reservatório;
- Adução primária projetada a canal aberto o menos profundo o possível em virtude da não necessidade de atender as depleções;
- Se necessário, em virtude do não atendimento às depleções, a altura da chaminé de equilíbrio será o mínimo possível;
- Barragens baixas, pois ela será responsável apenas para desviar a água para as adutoras;
- Baixas indenizações em virtude do local inundado ser o mínimo possível.

A PCH de acumulação com regularização diária é empregada somente em locais onde a vazão do rio em períodos de estiagem são inferiores à necessária para fornecer potência máxima aos equipamentos. Para estes casos, o reservatório será o responsável em atender esta diferença na vazão.

Adotando o padrão médio mensal da vazão de um rio, espera-se que o reservatório atenderá suficientemente esta diferença, porém, por se tratar de um sentimento, o risco entre o planejado x realizado são grandes.

3.4. Adutoras

Para as PCH, são adotados dois tipos de adutoras, podendo ser:

- Adutora de baixa pressão com escoamento livre em canal aberto / e em alta pressão com duto forçado;
- Adutora de baixa pressão através de tubulações / e em alta pressão com duto forçado.

Dependendo da condição geográfica e topográfica, um dos dois tipos de dutos podem ser utilizados, porém, se porventura as duas condições atenderem, será necessário primeiramente realizar um estudo econômico comparativo para analisar qual seria a mais viável.

Além das adutoras, as PCH podem ser classificadas pela potência instalada e queda d'água. Na tabela a seguir será apresentada a classificação das PCH.

Tabela 9 – Classificação das PCH

Classificação	Potência (kW)	Queda de Projeto - Hd (m)		
		Baixa	Média	Alta
MICRO	P < 100	Hd < 15	15 < Hd < 50	Hd > 50
MINI	100 < P < 1.000	Hd < 20	20 < Hd < 100	Hd > 100
PEQUENAS	1.000 < P < 30.000	Hd < 25	25 < Hd < 130	Hd > 130

Fonte: Livro Geração de Energia Elétrica no Brasil, Mauricio Tiomno Tolmasquim

3.5. O cenário nacional das PCH

Segundo informações do site da ANEEL através do Banco de Informações de Geração – BIG, em 2009, o país possuía uma geração total 112.496 MW de energia. Quanto a capacidade de geração, as PCH perfazem um total de 878 MW de capacidade de geração. Sobre a capacidade geral de geração de energia, a seguir será apresentada na tabela 10 a forma de geração de energia no país.

Tabela 10 – Formas de Geração no País (Base 31/12/2009)

Fonte de Geração	MW	(%)
Hidráulica (Nacional)	74.279	66,0%
Hidráulica (Paraguaia)	6.365	5,7%
Térmica	13.302	11,8%
Nuclear	2.007	1,8%
Fontes Alternativas	7.645	6,8%
Sistemas Isolados (Hidráulica)	445	0,4%
Sistemas Isolados (Térmica)	2.217	2,0%
Sistemas Isolados (Importado)	73	0,1%
Autoprodução	6.163	5,5%
Total Disponível	112.496	100,0%

Fonte: Plano Decenal de Expansão de Energia 2019, EPE, 2010.

3.6. Incentivos às construções das PCH

Para incentivar investidores para a construção de PCH, foram instituídas varias resoluções e leis para facilitar a exploração destas formas de geração de energia, nas quais serão expostas abaixo:

- Lei 9.074 de 7 de julho de 1995 e Lei 9.427 de 26 de dezembro de 1996 que determina a exploração não onerosa para exploração do potencial hidráulico;

- Resolução 281 de 10 de outubro de 1999 que permitem descontos superiores a 50% nos encargos de uso dos sistemas de transmissão e distribuição;

- Lei 9.648 de 27 de maio de 1998 instituindo a livre comercialização da energia para consumidores de carga igual ou superior a 500 kW.

- Lei 7.990 de 28 de dezembro de 1989 e Lei 9.427 de 26 de dezembro de 1996 instituindo a isenção relativa à compensação financeira pela utilização dos recursos hídricos;

- Resolução 245 de 11 de agosto de 1999 que determina a participação no rateio da Conta de Consumo de Combustível – CCC, quando substituir a geração térmica a óleo diesel para os sistemas isolados;

- Resolução 22 de 1 de fevereiro de 2001 que determina a comercialização das energias geradas pelas PCH com concessionárias de serviço público tendo como limite tarifário o valor normativo estabelecido.

3.7. Como construir uma PCH – Aspectos Legais e Institucionais

Para iniciar qualquer atividade referente a construção de PCH, se faz necessário a realização de uma consulta e autorização à ANEEL outorgada em processo não oneroso e sem licitação.

O processo de autorização inicia-se com o requerimento de registro que informa os estudos e inventários realizados, capacidade de geração e o prazo necessário para elaboração do projeto. Para informações adicionais pode se consultar a resolução 393 de 04 de dezembro de 1998.

Após apresentação do projeto, a ANEEL irá dar preferência ao menor empreendedor ou proprietário da terra visando aumentar o número de agentes produtores de energia assegurando a competitividade para a outorga. Além destas condições estabelecidas pela ANEEL, ainda existem os seguintes critérios:

- As empresas que possuem menos de 1% de participação no mercado de geração de energia;

- Aquelas que não possuem concessionárias de distribuição;

- Aquele que for proprietário da maior região a ser atingida com base em documentação registrada no cartório de imóveis;

- Aquele que possuir participação na comercialização de energia no território brasileiro inferior ao volume de 300 GWh/ano.

Para a empresa vencedora da concessão, a ANEEL exigirá em um prazo máximo de 30 dias a apresentação de documentos que comprovem a regularidade jurídica e fiscal da empresa, bem como a qualificação técnica e a capacidade financeira disponível para a execução do empreendimento. Após a apresentação destes documentos será outorgada a autorização.

3.8. Demais incentivos às construções das PCH

PPA – Power Purchase Agreement: Através de acordo com a compra de energia, as pequenas centrais hidrelétricas podem vender diretamente às concessionárias de energia (Distribuidoras) ou clientes finais (Indústrias);

PROINFA – Lei que determina que a ELETROBRÁS garanta a compra de energia em instalações conectadas ao Sistema Elétrico Interligado Nacional gerado através de PCH, Eólicas ou Biomassa. Esta Lei é a 10.438 de 26 de abril de 2002.

BNDES – Financiamento em até 80% os custos com os projetos de PCH para os equipamentos cadastrados no FINAME.

3.9. Análise Econômica

Tabela 11 – Custos para implantação de uma PCH

Análises	U.M	Valor
Vida útil do projeto	Anos	30
Depreciação	Anos	30
Investimento	R\$/MW	1.760.000,00
Potencia Elétrica	MW	15,00
Total Investimentos	Milhões R\$	26.400.000,00
Despesas Fixas e Variáveis	R\$/ MWh	7,00
Seguro Operacional	% Investimento	0,5
Custos de Transmissão	R\$/MWh	2,68

continua

anterior

Impostos	%	34,63
Taxas Fiscalização ANEEL	MR \$/Ano	0,02
P & D	%	0,00
Royalties	R\$ / MWh	0,00
Contribuição Social	%	9,00

* Considerando o cenário Com Conexão

Fonte: Livro Geração de Energia Elétrica no Brasil, Mauricio Tiomno Tolmasquim

No início deste trabalho, foram apresentadas as modicidades com os custos de geração considerando os cenários, Com Conexão, Sem Conexão, Com Conexão & Isenção, Sem Conexão & Isenção e Sem Conexão e Isenção Total. Para PCH a forma de composição da TEQ é a mesma. Na tabela 12, estão apresentados os diversos cenários do custo da TEQ - Tarifa de Equilíbrio em cada caso.

Tabela 12 – Custos considerando os Cenários

Casos	TEQ (R\$/MWh)	Investimentos (R\$/MW)
Com Conexão	72,24	1.760.000,00
Sem Conexão	68,26	1.652.000,00
Com Conexão & Isenção	65,46	1.576.000,00
Sem Conexão & Isenção	61,46	1.468.000,00
Sem Conexão & Isenção Total	50,50	1.468.000,00

Fonte: Livro Geração de Energia Elétrica no Brasil, Mauricio Tiomno Tolmasquim

Tabela 13 – Composição da TEQ

Cenários	TEQ R\$/MWh	Composição da TEQ
Custos com Geração	50,50	70%
Imposto sem Faturamento	10,98	15%
Conexão	6,78	9%
Imposto sem Equipamento	3,98	6%
Tarifa Final	72,24	100%

Fonte: Livro Geração de Energia Elétrica no Brasil, Mauricio Tiomno Tolmasquim

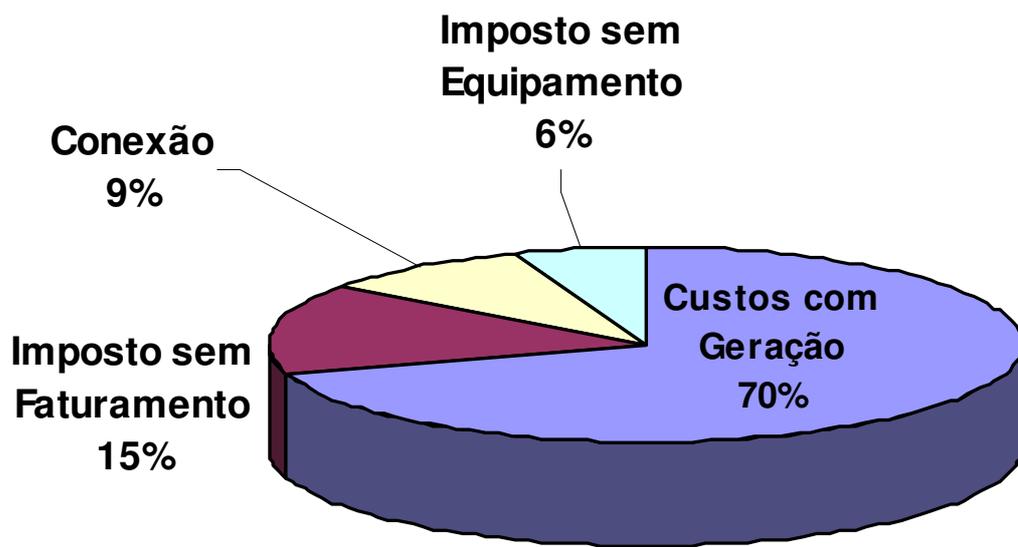


Figura 7 – Composição da TEQ em gráfico (%): Fonte Livro Geração de Energia Elétrica no Brasil, Mauricio Tiomno Tolmasquim

4. Usinas Termelétricas

As usinas termelétricas funcionam basicamente na conversão de energia térmica em energia mecânica e posteriormente em elétrica. A forma de conversão se baseia em aquecimento de um fluido que se expande realizando o trabalho paralelamente com as turbinas térmicas. O processo de conversão de energia se dá com o acionamento mecânico de um gerador elétrico acoplado ao eixo da turbina.

A forma de produção de energia térmica pode ser através de combustíveis fósseis ou radioativa, neste caso denominado como energia nuclear. As termelétricas não nucleares podem ter duas formas de combustão, sendo combustão externa na qual o comburente não entra em contato com o fluido, sendo a água desmineralizada que com a queima do combustível fóssil se expande em forma de vapor produzindo assim a energia mecânica, e, combustão interna na qual ocorre um processo de mistura de ar e combustível formando gases que se expandirão dentro das turbinas a gás.

4.1. Usinas Termelétricas a Vapor

Como o subtítulo diz, Usinas termelétricas a vapor são aquelas que o processo de conversão de energia opera da combustão externa, e os combustíveis mais comuns utilizados são:

- Biomassa (Lenha, Bagaço de Cana, Lixos, Etc.);
- Gás Natural;
- Carvão;
- Óleo Combustível e Diesel.

No Brasil, até o fim da década de 90, nas Regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste a forma de geração de energia mais utilizada são as usinas térmicas movidas a óleos combustíveis e a carvão mineral, enquanto que no Norte do país, o combustível utilizado nas termelétricas é o óleo diesel.

Tabela 14 – Principais Termelétricas no Brasil

Concessionária	Usina	Potência Instalada (MW)	Combustível
FURNAS	Santa Cruz	600	Óleo Combustível
	Campos	30	Gás Natural
CEMIG	Igarapé	132	Óleo Combustível
TRACTEBEL	Jorge Lacerda (I a IV)	857	Carvão Mineral
	Chaqueadas	72	Carvão Mineral
TRACTEBEL	Alegrete	66	Carvão Mineral
CGTEE	Presidente Médici	446	Carvão Mineral
	São Jerônimo	20	Carvão Mineral
	Nutepa	24	Óleo Combustível
EMAE	Piratininga	472	Óleo Combustível
ELETRONORTE	Electron	120	Óleo Diesel
	Rio Acre	36	Óleo Diesel
	Rio Madeira	179	Óleo Diesel
	Santana	127	Óleo Diesel
	Barro Vermelho	50	Óleo Diesel

Fonte: Livro Geração de Energia Elétrica no Brasil, Mauricio Tiomno Tolmasquim

A geração de energia elétrica nas usinas térmicas convencionais se baseia no ciclo Rankine onde a eficiência é bastante baixa, cerca de 25 à 30% em relação aos padrões atuais encarecendo consideravelmente o preço da energia.

No aspecto ambiental, dependendo da utilização do combustível, a emissão de gases poluentes ao meio ambiente é grande contribuindo para formação de chuvas ácidas e efeito estufa.

As usinas termelétricas convencionais nunca tiveram um grande incentivo para implantação, pois com o custo elevado para aquisição de equipamentos e sua baixa eficiência, o custo do kW gerado não era competitivo para o mercado. Muitas destas usinas foram construídas, porém ficavam em “*stand-by*” depreciando os equipamentos sem utilizá-los. Nos dias de hoje, com a demanda necessária de energia, estas fontes de geração de energia passaram a ser uma alternativa viável que podem compor significativamente a matriz energética brasileira.

4.2. Usinas Termelétricas a Gás

Usinas termelétricas a gás são aquelas que trabalham em regime aberto, ou seja, para sua operação, a forma de combustão é a interna. São utilizadas turbinas a gás que atingem uma maior eficiência termodinâmica comparadas com a turbina a vapor em virtude do seu ciclo de temperatura de trabalho (1260° C) enquanto uma turbina a vapor em torno de 540° C.

As termelétricas a Gás trabalham com o princípio de funcionamento - Ciclo de Brayton, onde o ar atmosférico é succionado através de um compressor e comprimido para alta pressão. O ar comprimido passa pela câmara de combustão e misturado ao combustível ocorre a combustão resultando em gases com alta temperatura e posteriormente se expandem através das turbinas e na atmosfera. Com parte deste gás sendo descarregada na atmosfera, esta compromete consideravelmente o rendimento na geração de energia.

A vantagem da implantação de usinas à Gás é o baixo custo com investimentos por kW, pequeno prazo para entrega dos equipamentos e rápida construção.

No final da década de 90, com a necessidade de atendimento da demanda de energia, o país teve um grande avanço e houve a construção de novas usinas termelétricas a gás, porém, como a na época a importação do gás estava ligada diretamente ao dólar, o custo para geração ficava relativamente alto, fato este em que se construíam usinas termelétricas com acoplamento de turbinas a vapor caracterizado como ciclo combinado.

Mesmo com o problema da variação nos custos para aquisição do gás para pôr as usinas em funcionamento, muitas usinas entraram em operação, chamadas de usinas Merchant, compostas apenas por turbinas a gás sem projeção de expansão para ciclo combinado.

4.3. Usinas Termelétricas a Ciclo Combinado

A utilização desta tecnologia é recente, pois consiste basicamente na acoplagem de dois sistemas, sendo a vapor + gás. Com o trabalho em conjunto das duas tecnologias, evita-se a perda de energia pela descarga em alta temperatura dos gases na turbina a gás seja aproveitado para geração de vapor contribuindo significativamente no rendimento de uma usina térmica.

As termelétricas mais modernas atingem no máximo uma eficiência de 35% enquanto que uma termelétrica a ciclo combinado ultrapassa os 50% de eficiência.

Com a crise energética no país, o governo federal adotou como regra as termelétricas a gás natural a ciclo combinado a ser implantado no país em caráter emergencial para suprir a demanda necessária.

Em 2000, com o consumo de energia em forte ascensão, o governo federal instituiu o decreto 3371 de 24 de fevereiro de 2000 o “Programa Prioritário das Termelétricas – PPT” que previa a construção de 49 novas usinas hidrelétricas, sendo 43 movidas a gás natural.

Neste decreto foram estabelecidos 3 garantias que atraíam investidores para a construção destas novas usinas, sendo:

- Garantia de suprimento de gás natural por um prazo de até 20 anos, determinada pelo MME – Ministério de Minas e Energia;
- Garantia da aplicação do valor normativo à distribuidora por um prazo de até 20 anos, determinada pela ANEEL;
- Garantia pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social – BNDES de acesso ao programa de apoio financeiro e investimentos prioritários no setor.

Apesar destas garantias, o programa não teve sucesso como imaginado, pois os investidores encontraram muitas dificuldades em obter autorizações ambientais e com a alta variação do dólar, o governo federal não assumia os riscos de realizar algum repasse ao investidor caso o custo do gás disparasse no mercado.

4.4. Cálculo de Eficiência de uma Usina Térmica

Para traduzir a eficiência ou o *Heat Rate* – HR de uma usina térmica é definido como o número de Unidades Térmicas Britânicas (BTU's) do combustível utilizado para gerar o MWh. Abaixo será apresentada a fórmula utilizada para se medir a eficiência de uma usina térmica.

$$\eta = 1.000 + 0,2933 * HR$$

Onde: HR – Heat Rate (BTU / kWh)

Para se obter o valor de HR, utiliza-se como referência, o tipo de usina a ser construída, como segue na tabela abaixo;

Tabela 15 – Valores típicos de HR

Tipo de Usina	Heat Rate (BTU/kWh)	Eficiência
Ciclo Simples	10.000	34,1%
Ciclo Combinado	7.000	48,7%

Fonte: Livro Geração de Energia Elétrica no Brasil, Mauricio Tiomno Tolmasquim

4.5. O poder calorífico do combustível

O poder calorífico (PC) de cada combustível é o que representa a quantidade de calor gerada na combustão. Podem ser Poder Calorífico Interior (PCI) sendo esta quando ocorre a queima total de combustível o produto referente a combustão permanece em fase gasosa ou Poder Calorífico Superior (PCS), quando ocorrer a queima total do combustível o produto da combustão é enviada para resfriamento à temperatura inicial.

No cálculo de eficiência, comparando os dois tipos de combustão, o rendimento do PCI é 10% inferior que o PCS. Para usinas termelétricas, são planejadas a utilização de turbinas para trabalharem em modo PCI, pois não existe tecnologia que permita levar os gases de combustão a temperaturas abaixo da de condensação de água para evitar a formação de ácidos e comprometer os componentes das usinas.

Abaixo os valores típicos adotados para planejamento de uma usina térmica.

Tabela 16 – Valores típicos de PCI e PCS

PCI (kcal/m³)	PCS (kcal/m³)
8.460	9.400

Fonte: Livro Geração de Energia Elétrica no Brasil, Mauricio Tiomno Tolmasquim

4.6. Cálculo de geração de Energia por uma Usina Térmica

Para se obter a quantidade de energia gerada por uma usina térmica através de um determinado volume de gás natural é:

$$EG = 1,65236 \cdot E^{-4} * \frac{Vol.PCS}{HRS}$$

Onde:

EG = Energia Gerada (MW - médios / dia);

Vol. = Consumo diário de combustível em m³/dia;

HRS = HR considerando o poder calorífico superior (BTU/kWh);

PCS = Poder Calorífico superior em kcal/m³.

Tabela 17 – Capacidade de Geração x consumo de gás em usinas de C.S ou C.C

Tipo de Usina	Capacidade de Geração considerando o consumo de 1.000.000 m ³ de gás por dia
Ciclo Simples	155 MW - médios / dia
Ciclo Combinado	222 MW - médios / dia

Fonte: Livro Geração de Energia Elétrica no Brasil, Mauricio Tiomno Tolmasquim

4.7. Análise Econômica

Tabela 18 – Custos para implantação de uma Usina Termelétrica

Análises	U.M	Valor
Vida útil do projeto	Anos	20
Depreciação	Anos	20
Investimento	R\$/MW	1.200.000,00
Potencia Elétrica	MW	480,00
Total Investimentos	Milhões R\$	576.000.000,00
Despesas Fixas e Variáveis	R\$/ MWh	652,50
Seguro Operacional	% Investimento	0,5
Custos de Transmissão	R\$/MWh	3,72
Impostos	%	34,63
Taxas Fiscalização ANEEL	MR \$/Ano	0,73
P & D	%	1,00
Royalties	R\$ / MWh	0,00
Contribuição Social	%	9,00

* Considerando o cenário Com Conexão

Fonte: Livro Geração de Energia Elétrica no Brasil, Mauricio Tiomno Tolmasquim

A seguir serão apresentados os custos de geração considerando os cenários, Com Conexão, Sem Conexão, Com Conexão & Isenção, Sem Conexão & Isenção e Sem Conexão e Isenção Total, conforme apresentado no início deste trabalho o que se refere cada situação. Para termelétricas, a forma de composição da TEQ é a mesma. Na tabela 19, estão apresentados os diversos cenários do custo da TEQ - Tarifa de Equilíbrio em cada caso.

Tabela 19 – Custos considerando os Cenários

Casos	TEQ (R\$/MWh)	Investimentos (R\$/MW)
Com Conexão	82,12	1.200.000,00
Sem Conexão	80,68	1.128.000,00
Com Conexão & Isenção	80,80	1.132.000,00
Sem Conexão & Isenção	79,32	1.060.000,00
Sem Conexão & Isenção Total	69,40	1.004.000,00

Fonte: Livro Geração de Energia Elétrica no Brasil, Mauricio Tiomno Tolmasquim

Tabela 20 – Composição da TEQ

Cenários	TEQ R\$/MWh	Composição da TEQ
Custos com Geração	69,40	85%
Imposto sem Faturamento	9,92	12%
Conexão	1,48	2%
Imposto sem Equipamento	1,32	2%
Tarifa Final	82,12	100%

Fonte: Livro Geração de Energia Elétrica no Brasil, Mauricio Tiomno Tolmasquim

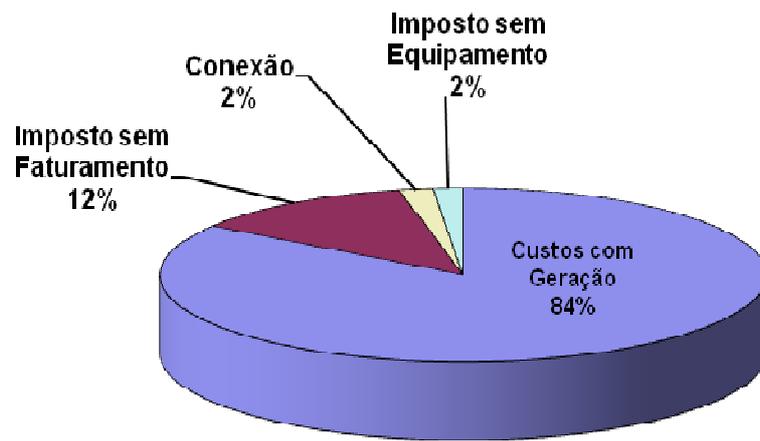


Figura 8 – Composição da TEQ em gráfico (%): Fonte Livro Geração de Energia Elétrica no Brasil, Mauricio Tiomno Tolmasquim

5. Usinas Termelétricas à Biomassa

No Brasil, a cana de açúcar é uma das culturas mais antigas e desenvolvidas no país. A utilização da cana de açúcar, através do álcool é utilizada antes até da segunda guerra mundial na qual era utilizado para realizar a mistura na gasolina para produção do álcool motor.

Em 1976 em virtude da crise do custo do petróleo, o governo federal instituiu o programa Proálcool para que fosse utilizado o álcool anidro na mistura da gasolina e em 1979, adotou-se o critério da utilização de álcool hidratado para ser utilizado diretamente nos veículos automotores, sendo o substituto da gasolina.

Na indústria sucroalcooleira nacional através do processamento do bagaço de cana, era utilizada para a produção de vapor, energia mecânica e energia elétrica. Apesar da utilização do bagaço da cana, o processo nunca foi eficiente, pois o potencial energético sempre foi superior a capacidade total de produção de energia de cada usina.

Com a utilização do bagaço da cana e o álcool, tem como principal característica o baixo desempenho energético, destaca-se a necessidade de investir mais neste campo com medidas de conservação energética com intuito de elevar os excedentes de energia elétrica gerados.

No país, existem dois mercados que são altamente competitivos, sendo o etanol e o açúcar. O etanol é produzido praticamente para atender o mercado nacional, na qual tem o seu valor pré-fixado pelo governo, agora o açúcar, torna-se a cada dia mais atrativo para os produtores, pois como existe a possibilidade de trabalhar com o mercado internacional com as exportações, o seu custo é aliado as variações do dólar proporcionando aos produtores investir mais no mercado em que lhes retornam mais lucros.

A forma tradicional da colheita da cana com as queimadas antes do corte e posteriormente a colheita manual, reduz drasticamente a quantidade disponível de bagaço para atender as usinas de biomassa, agora, se a forma de colheita for mecanizada, sem a realização de queimadas, estes poderão atender suficientemente as necessidades de uma usina para geração.

Como a biomassa é o primeiro vetor energético utilizado pela humanidade e até os dias de hoje é de grande importância, a questão da utilização de resíduos resultantes da cultura agrícola em virtude do seu descarte adequado e do baixo impacto ambiental por elas causadas há um processo de conversão da biomassa em um produto intermediário que será utilizada nas máquinas motriz onde após isto será produzida a energia mecânica que posteriormente irá acionar o gerador de energia elétrica.

A geração de energia através da biomassa é inúmeras vezes mais vantajosas do que outras formas de geração, pois com elas reduz as emissões de gás carbono na atmosfera, redução da destruição de florestas, da inundação de terras onde se pode realizar plantações e a alteração no ecossistema tropical. Além das vantagens de ordem ambiental, um dos pontos a serem considerados é o seu tamanho pois não existe a necessidade de devastar ou mesmo alagar grandes áreas e a descentralização da geração sem ter grandes gastos com a transmissão podendo ser construídas próximo as localidades onde demandam a maior carga da geração.

Existem três formas a serem consideradas no emprego das usinas de biomassa;

- **Ciclo a vapor com turbinas de contrapressão:** É aplicada de forma integrada em processos de co-geração. Neste tipo a biomassa é queimada diretamente em caldeiras e a energia térmica por ela produzida (vapor) irá acionar as turbinas para realização do trabalho mecânico e posteriormente nas unidades de produção das turbinas para geração de energia elétrica. O vapor por elas liberadas, ao invés de ser lançados na atmosfera, são encaminhadas para atendimento das necessidades térmicas de produção, ou seja, 100% da energia térmica gerada é aproveitada. Esta tecnologia é a mais empregada nas usinas de produtores nacionais.
- **Ciclo a vapor com turbinas de condensação e extração:** Este tipo de tecnologia refere-se na condensação total ou parcial do vapor ao final da realização do trabalho na turbina para atendimento às atividades mecânicas ou térmica. Este vapor, normalmente empregadas em processos de co-geração, é retirado de um ponto intermediário da expansão do vapor que movimentará as turbinas. A diferença do ciclo a vapor com turbinas de contrapressão e a de ciclo a vapor com turbinas de condensação e extração é a existência de um condensador no exaustor da turbina e de níveis determinados para aquecimento da água que alimentará a caldeira. Comparando as duas tecnologias, a primeira irá proporcionar uma maior flexibilidade da geração termelétrica e a segunda é mais eficiente na geração de energia. Por ser mais eficiente, para sua implantação os custos dos equipamentos vão além dos comparados com as de simples condensação.
- **Ciclo combinado integrado a gaseificação da biomassa:** Como o próprio nome diz, gaseificação é a conversão de qualquer combustível

solido ou líquido em gás. Esta conversão de energia produz um gás combustível que pode ser utilizada em usinas térmicas. Com o emprego da gaseificação, em maior escala transforma a biomassa em fonte primária para usinas de geração termelétrica de elevada potência, cuja sua utilização é proveniente do vapor e do gás aumentando consideravelmente o rendimento das máquinas. A utilização desta tecnologia é empregada desde o século XIX e foi bastante utilizada até a década de 1930. Com a grande procura e a alta do petróleo, em 1980 esta tecnologia ressurgiu na qual começou ficar evidente a contenção no consumo de petróleo, porém, no emprego da biomassa, ainda não é uma tecnologia comercial viável. No plano nacional de energia 2030, um dos grandes impasses quanto a utilização desta tecnologia é o processo de gaseificação e a disponibilidade de um equipamento que produza um gás com qualidade, confiabilidade e segurança.

5.1. Disponibilidade, Produção e Consumo de Biomassa

A quantidade total de biomassa existente na terra é da ordem de 1,8 trilhão de toneladas. Este volume comparado com o grau de eficiência das usinas mundialmente, indica uma capacidade de geração de 11 mil TWh por ano em longo prazo, ou mais da metade da energia total produzida em 2007 que foi em 19,89 mil TWh, segundo estudos da Statistical Review of World Energy, publicado em Junho de 2008 pela BP Global (Beyond Petroleum, nova denominação da British Petroleum).

Conforme apresentada a necessidade na produção de resíduos agrícolas para a produção de bicombustíveis e energia elétrica, os locais com maior potencial da matéria prima são aquelas que possuem largas dimensões de terras cultivadas ou cultiváveis mais na faixa tropical e subtropical, entre os trópicos de Câncer e Capricórnio.

A tabela abaixo aponta o ranking dos produtores de biomassa com base no ano de 2005.

Tabela 21 – Produtores de Bionergia

Ranking	País	TWh	(%)
1	Estados Unidos	56,3	30,7%
2	Alemanha	13,4	7,3%
2	Brasil	13,4	7,3%

continua

anterior

3	Japão	9,4	5,1%
4	Finlândia	8,9	4,9%
5	Reino Unido	8,5	4,6%
6	Canadá	8,5	4,6%
7	Espanha	7,8	4,3%
8	Outros Países	57,1	31,2%
Total		183,30	100,0%

Fonte: Atlas de Energia Elétrica no Brasil, 3º Ed., ANEEL

5.2. Geração de energia através das Usinas de Biomassa no país

No país, a geração de energia elétrica através das usinas de biomassa está em forte crescimento, principalmente em sistemas de co-geração. Conforme informações obtidas no BEN – Balanço Energético Nacional de 2008, em 2007, ela foi responsável pela geração de 18 TWh na qual representa 3,7% da oferta total de energia elétrica gerada no país.

No Brasil, conforme base da ANEEL em 2008, atualmente existem 302 termelétricas movidas a biomassa representando um total de 5,7mil MW instalados.

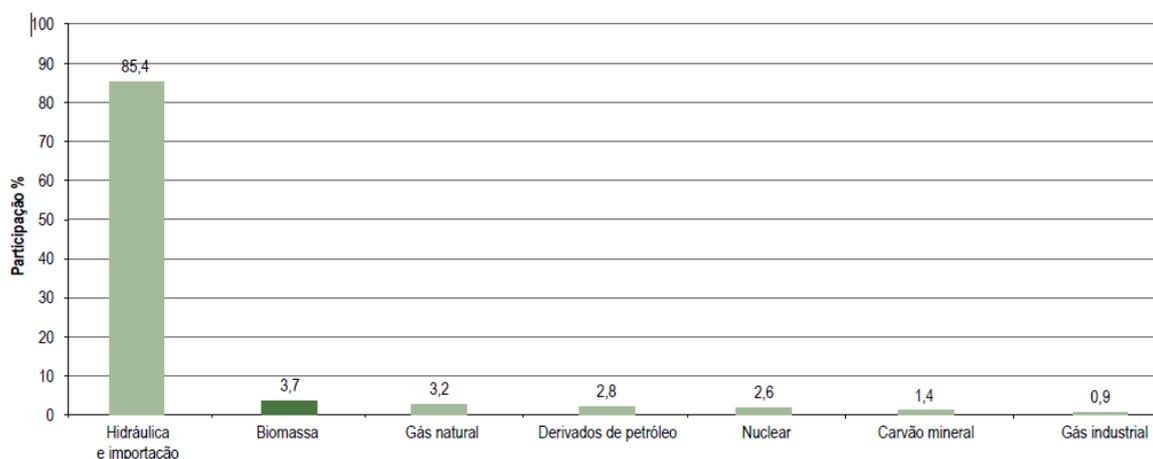


Figura 9 – Matrizes de oferta energética Nacional: Fonte Atlas de Energia Elétrica no Brasil, 3º Ed., ANEEL

Um dos grandes potenciais para alimentação das fontes de biomassa é a cana-de-açúcar com a utilização do bagaço e da palha. Ela contribui consideravelmente na participação de energia no país em virtude do crescimento na produção do etanol.

Conforme levantado no site da ANEEL, a segunda fonte primária responsável pela produção de energia elétrica no país através das usinas de biomassa foi a cana-de-

açúcar, ela foi responsável pela produção de 37,8 milhões de toneladas equivalentes de petróleo – TEP diante de uma produção total de 33 milhões de toneladas equivalentes de petróleo.

Segundo a UNICA – União das Indústrias de cana-de-açúcar de São Paulo, em 2020, as fontes de geração movidas a biomassa representarão na matriz energética nacional 15% da demanda necessária de geração ou 14.400 MW médios, considerando a partir de derivados da cana-de-açúcar que deverá dobrar a produção em relação ao ano de 2008 atingindo 1 bilhão de toneladas e sua concentração se dá na região Sudeste do país mais concentrado no estado de São Paulo com uma produção estimada de 609,4 milhões de GigaJoules por ano, seguidos pelo estado do Paraná com 65,4 milhões de GigaJoules e Minas Gerais com 63,2 milhões de GigaJoules anuais.



Figura 10 – Usinas de Biomassa em Operação (Base 2008): Plano Decenal de Expansão de Energia 2019, EPE, 2010

5.3. Análise Econômica

Tabela 22 – Custos para implantação de uma Usina Termelétrica

Análises	U.M	Valor
Vida útil do projeto	Anos	20
Depreciação	Anos	20
Investimento	R\$/MW	1.438.000,00
Potencia Elétrica	MW	30,00
Total Investimentos	Milhões R\$	43.140.000,00
Despesas Fixas e Variáveis	R\$/ MWh	837,60
Seguro Operacional	% Investimento	0,5
Custos de Transmissão	R\$/MWh	2,53
Impostos	%	34,63
Taxas Fiscalização ANEEL	MR \$/Ano	0,05
P & D	%	0,00
Royalties	R\$ / MWh	0,00
Contribuição Social	%	9,00

* Considerando o cenário Com Conexão

Fonte: Livro Geração de Energia Elétrica no Brasil, Mauricio Tiomno Tolmasquim

Abaixo os custos de geração considerando os cenários, Com Conexão, Sem Conexão, Com Conexão & Isenção, Sem Conexão & Isenção e Sem Conexão e Isenção Total. Para termelétricas, a forma de composição da TEQ é a mesma. Na tabela 23, estão apresentados os diversos cenários do custo da TEQ - Tarifa de Equilíbrio em cada caso.

Tabela 23 – Custos considerando os Cenários

Casos	TEQ (R\$/MWh)	Investimentos (R\$/MW)
Com Conexão	67,54	1.438.000,00
Sem Conexão	60,62	1.324.000,00
Com Conexão & Isenção	57,34	1.270.000,00
Sem Conexão & Isenção	50,56	1.158.000,00
Sem Conexão & Isenção Total	31,98	1.158.000,00

Fonte: Livro Geração de Energia Elétrica no Brasil, Mauricio Tiomno Tolmasquim

Tabela 24 – Composição da TEQ

Cenários	TEQ R\$/MWh	Composição da TEQ
Custos com Geração	31,98	47%
Imposto sem Faturamento	18,56	28%
Conexão	6,80	10%
Imposto sem Equipamento	10,20	15%
Tarifa Final	67,54	100%

Fonte: Livro Geração de Energia Elétrica no Brasil, Mauricio Tiomno Tolmasquim

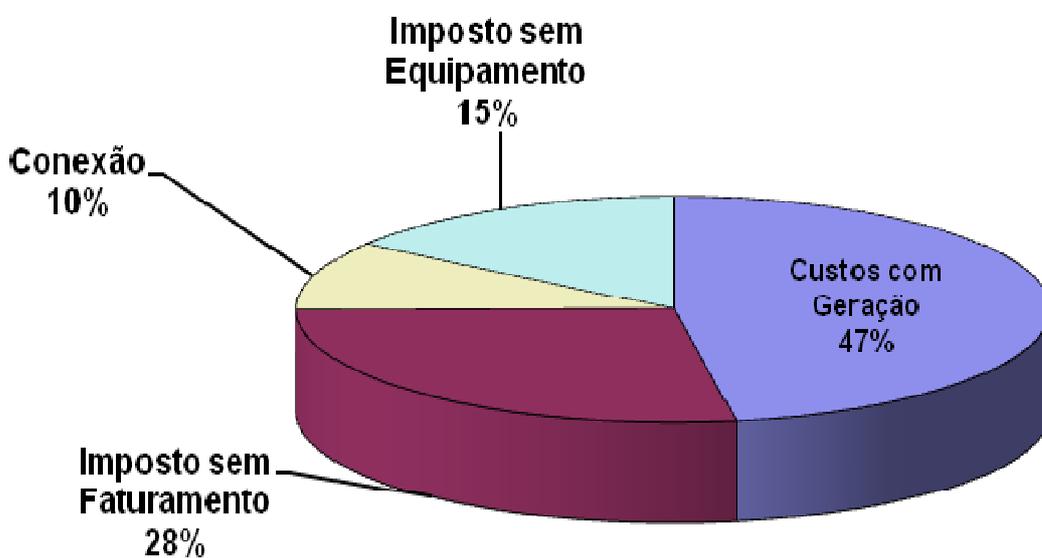


Figura 11 – Composição da TEQ em gráfico (%): Fonte Livro Geração de Energia Elétrica no Brasil, Mauricio Tiomno Tolmasquim

6. Usinas Termelétricas à Carvão Mineral

No país, o carvão mineral é conhecido há quase 150 anos atrás. As principais características do carvão nacional é o baixo poder calorífico, muitas cinzas e alto teor de enxofre, causas estas tornaram o emprego deste material pouco vantajoso comparado a outras fontes energéticas.

Até meados de 1975, o carvão fazia parte de pouco mais de 3% de participação na matriz energética nacional, sendo utilizado principalmente na Siderurgia. No país, a participação do carvão mineral é da ordem de 5%, nas quais, 0,8% é carvão nacional e 4,2% carvão metalúrgico.

Atualmente, o Brasil possui 1415 MW de geração a partir de usinas movidas a carvão na qual pode ser aumentada para 2515 MW conforme estudos em andamento para aumento da capacidade de geração.

Se mantiver a curva de consumo de petróleo e gás conforme estudos realizados pela ANP (1999), as quantidades disponíveis se esgotariam em 39 e 64 anos respectivamente. Diante deste cenário, o carvão mineral será o combustível mais utilizado nos próximos séculos, podendo suas reservas durar por 236 anos (OLADE, 1994). Vale ressaltar que este combustível é um dos mais poluentes cabendo ao homem desenvolver tecnologias que mitiguem esta questão, adotando como regra a tecnologia queima limpa (*Clean Coal Technologies*).

Em considerações gerais, a queima do carvão implica na emissão de fuligem, óxidos sulfurosos, metais tóxicos e compostos orgânicos carcinogênicos.

No Brasil, a maior jazida é a de Candiota situada no Rio Grande do Sul, o carvão dela extraída possui uma reduzida lavabilidade, condições estas que reduziram no momento da queima e emissão de cinzas e enxofre.

Conforme Ministério de Minas e Energia – MME, o carvão brasileiro possui classificações variando a sua utilização por estado considerando como a sua origem, teor de cinzas, granulometria, poder calorífico, estágio de beneficiamento ou destino final. Pode se consultar no site do MME a portaria N° 100, de 01/04/1987 que define as regras e a orientação para comercialização do carvão nacional, conforme segue;

- Carvão pré-lavado (CPL): é o carvão mineral lavado atendendo a uma série de especificações;
- Carvão metalúrgico: é o carvão coqueificável resultante da lavagem do carvão mineral bruto atendendo a uma série de especificações;

- Carvão energético: não coqueificável que também é produzida atendendo uma série de especificações.

Entre todas as jazidas de carvão existente no país, a mais competitiva e que tem um melhor custo dependendo da escala de produção é a jazida de Candiota, pois o custo da tonelada do carvão pode estar abaixo dos US\$ 10,00.

Na tabela 25 abaixo, com intuito de comparação dos custos entre a competitividade da utilização do carvão vs gás natural a fim de avaliar alguns parâmetros técnicos e econômicos entre as gerações das termelétricas.

Tabela 25 – Análise competitividade carvão x gás natural

	CE 3300 Candiota	CE 4500 Santa Catarina	Gás Natural (tipo b)
Preço	13,60 R\$ / ton.	59,79 R\$ / ton.	7,0 R\$ / Milhões BTU
Custo R\$ / Gcal	4,12	13,28	16,66
Rendimento (%)	35,00	35,00	55,00
MWh / Gcal	0,41	0,41	0,64
Custo comb. (R\$ / MWh)	10,12	32,62	26,03
Custo Capital (R\$ / MWh)	36,74	36,74	18,37
Custo comb. + Capital (R\$ / MWh)	46,86	69,36	44,40

Fonte: Livro Geração de Energia Elétrica no Brasil, Mauricio Tiomno Tolmasquim

Na tabela 26 abaixo será apresentado a comparação da utilização do gás natural e do carvão mineral para a construção de uma usina térmica segundo ABREU & MARTINEZ, 1999.

Tabela 26 – Térmica a Gás Natural VS Carvão Mineral

	Gás Natural	Carvão Mineral
Disponibilidade	consolidando-se	menos ampla
Acesso a grandes potências	fácil	mais difícil
Investimento inicial	menor	maior
Custo para usar	menor	maior
Custo de manutenção	menor	maior
Estoque no local de uso	dispensa	necessário
Condição de pagamento	após o uso	antecipado
Rendimento energético	maior	menor

continua

anterior

Uso da área	menor	maior
Pátio de recebimento	dispensa	Sim
Condicionamento para uso	nenhum	moagem
Controle das emissões	simples	muito complexo
Controle da combustão	simples	complexo
Limpeza do local de uso	fácil	difícil
Vazamentos	fácil dispersão	não se aplica
Agressividade das emissões	muito baixa	Alta
Resíduos sólidos	não tem	muito volumosos
Emissões atmosféricas	sem tratamento	exigem tratamento
Efluentes líquidos	não apresenta	exigem tratamento
Desmatamento	não contribui	contribui

Fonte: Livro Geração de Energia Elétrica no Brasil, Mauricio Tiomno Tolmasquim

6.1. Análise Econômica

Tabela 27 – Custos para implantação de uma Usina Termelétrica a Carvão

Análises	U.M	Valor
Vida útil do projeto	Anos	20
Depreciação	Anos	20
Investimento	R\$/MW	1.632.000,00
Potencia Elétrica	MW	350,00
Total Investimentos	Milhões R\$	571.200.000,00
Despesas Fixas e Variáveis	R\$/ MWh	90.001,50
Seguro Operacional	% Investimento	0,3
Custos de Transmissão	R\$/MWh	5,27
Impostos	%	34,63
Taxas Fiscalização ANEEL	MR \$/Ano	0,54
P & D	%	1,00
Royalties	R\$ / MWh	0,00
Contribuição Social	%	9,00

* Considerando o cenário Com Conexão

Fonte: Livro Geração de Energia Elétrica no Brasil, Mauricio Tiomno Tolmasquim

No início deste trabalho, foram apresentadas as modicidades com os custos de geração considerando os cenários, Com Conexão, Sem Conexão, Com Conexão & Isenção, Sem Conexão & Isenção e Sem Conexão e Isenção Total. Para termelétricas, a forma de composição da TEQ é a mesma. Na tabela 28, estão apresentados os diversos cenários do custo da TEQ - Tarifa de Equilíbrio em cada caso considerando a aquisição do carvão mineral da jazida de Candiota.

Tabela 28 – Custos considerando os Cenários

Casos	TEQ (R\$/MWh)	Investimentos (R\$/MW)
Com Conexão	73,28	1.632.000,00
Sem Conexão	69,60	1.486.000,00
Com Conexão & Isenção	70,06	1.504.000,00
Sem Conexão & Isenção	66,12	1.358.000,00
Sem Conexão & Isenção Total	56,92	1.322.000,00

Fonte: Livro Geração de Energia Elétrica no Brasil, Mauricio Tiomno Tolmasquim

Tabela 29 – Composição da TEQ

Cenários	TEQ R\$/MWh	Composição da TEQ
Custos com Geração	56,92	78%
Imposto sem Faturamento	9,20	13%
Conexão	3,94	5%
Imposto sem Equipamento	3,22	4%
Tarifa Final	73,28	100%

Fonte: Livro Geração de Energia Elétrica no Brasil, Mauricio Tiomno Tolmasquim

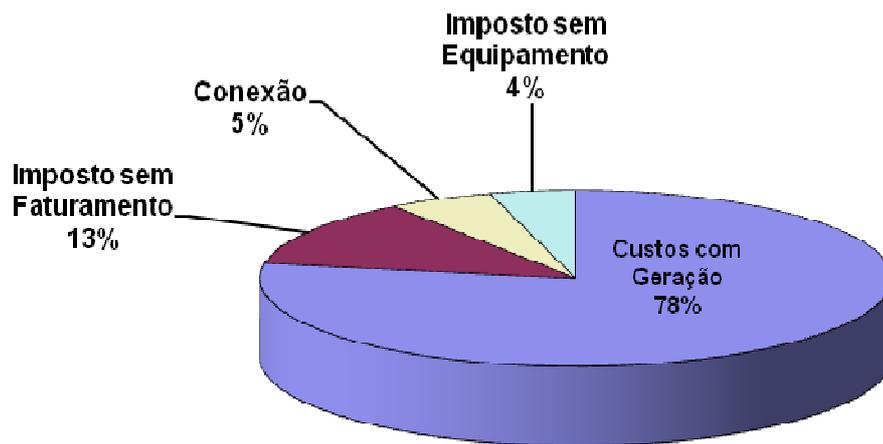


Figura 12 – Composição da TEQ em gráfico (%): Fonte Livro Geração de Energia Elétrica no Brasil, Mauricio Tiomno Tolmasquim

7. Usina Nuclear

Para se colocar em funcionamento uma usina nuclear, primeiramente deve-se serem analisadas o tipo de reator a ser utilizado através do combustível, o refrigerante e o moderador.

O combustível deve conter algum elemento que se divida espontaneamente desta forma emitindo partículas subatômicas como por exemplo o nêutron. O refrigerante é responsável pela troca de calor do reator para a turbina geradora de energia e o moderador é responsável por controlar as quantidades de nêutrons liberadas pelo combustível.

No mundo todo, a maioria das usinas nucleares utiliza o urânio como combustível que contém 0,7% do isótopo físsil do urânio (U^{235}), e 99,3% não físsil.

Atualmente existem dois tipos de reatores, os *LWR – Light Water Reactors*, reatores moderados a água leve, desenvolvidos nos EUA para utilização em propulsores de embarcações submarinas, e os *PWR – Pressurised Water Reactor*, reatores de água pressurizada, impedindo que a água entre em ebulição mantendo-a em alta pressão em um condensador.

Ambos os reatores utilizam a água como moderador, porém como a sua ineficiência, é necessário enriquecer o urânio para 3,5% para que a reação nuclear em cadeia possa acontecer.

No Brasil, as plantas de usinas nucleares existentes utilizam reatores do tipo *BWR – Boiling Water Reactor*, fazendo com que o projeto da planta seja mais simples. O BWR é um reator de água fervente que permite que a água quando em ebulição, através dos vapores gerados façam movimentar a turbina geradora.

Reatores do tipo *HWR – Heavy Water Reactors* são reatores de água pesada utilizando como refrigerante e moderador o deutério (D_2O), sendo a água com um isótopo mais pesado do hidrogênio. A vantagem da utilização deste moderador é a não necessidade de enriquecer o urânio.

Os tipos de reatores descritos acima que utilizam moderadores para controlar a velocidade da reação nuclear são conhecidos como reatores térmicos, diferente dos reatores rápidos, que não possuem nenhum moderador para controle da reação nuclear.

Em virtude da alta demanda de energia, a energia nuclear produzida através do urânio passou a fazer parte da agenda internacional da produção de eletricidade, já que a sua produção é considerável limpa, pois a sua operação acarreta na emissão de baixo volume de gás carbônico, não somente pela questão ambiental mas também

pelo grande volume de matéria prima disponível no planeta garantindo a segurança do suprimento a médio e longo prazo.

Conforme apresentando na figura 13 a seguir, a geração de energia nuclear ocupou o penúltimo lugar segundo a *IEA International Energy Agency*, ficando atrás somente da geração por hidroeletricidade, gás natural e carvão.

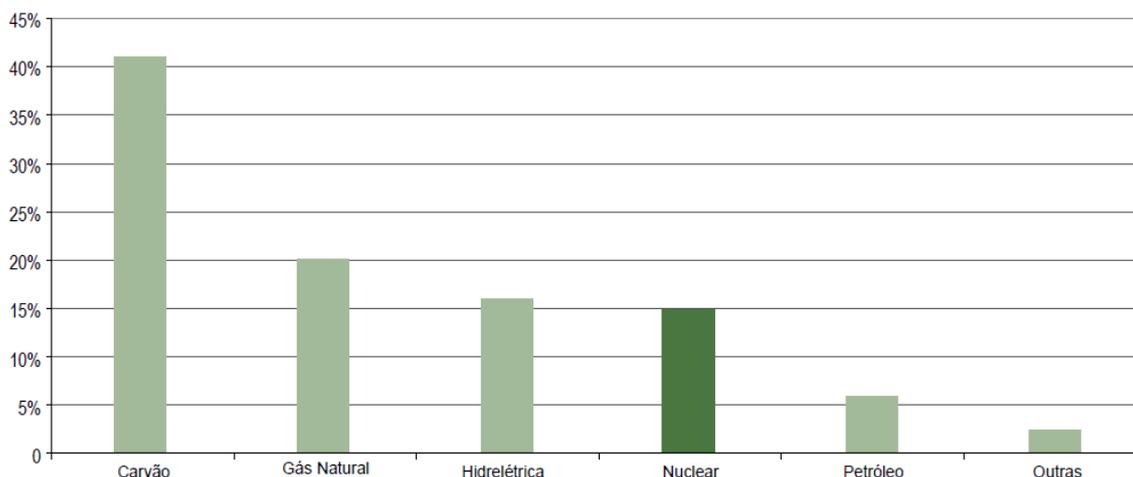


Figura 13 – Geração de energia elétrica no mundo por tipo de combustível – 2006:

Fonte: Atlas de Energia Elétrica no Brasil, 3º Ed., ANEEL

Mesmo ocupando este ranking na matriz de geração de energia, ela tem participação importante na matriz energética, sendo responsável por 14,8% da produção total da energia gerada conforme informações da IEA.

Desde os anos 60, o urânio é uma fonte primária da matriz energética mundial, sendo destaque a década de 70 na qual o mercado das usinas nucleares viveu um momento vigoroso em forte crescimento.

Neste mesmo período, dois pontos negativos interromperam a construção de novas usinas nucleares, sendo dois acidentes de forte impacto à população e ao ambiente, a usina *Three Mille Island* e *Chernobyl* sendo necessária a instalação de central de monitoramento e contenção dos vazamentos ficando quase trinta anos paralisados novos investimentos na área.

Não somente estes dois acidentes, mas também não podemos deixar de falar dos vazamentos dos reatores da usina nuclear de Fukushima no Japão ocorrido em março de 2011, trazendo fortes níveis de irradiação sendo necessária a evacuação de toda a população ali residente.

7.1. Usina Nuclear no Mundo e no Brasil

O minério de urânio é a matéria prima utilizada para a produção da energia nuclear, sendo um metal menos duro que o aço encontrado nas rochas da crosta terrestre sendo daí extraída o átomo de urânio.

Em 2007, a reserva deste minério era da ordem de 4,6 milhões de toneladas distribuídas por 14 países. De todo território nacional, apenas 25% dele foram identificados a disponibilidade deste minério ocupando o 7º lugar do ranking com quase 279 mil toneladas em reservas conhecidas localizadas na Bahia, Ceará, Paraná e Minas Gerais. O destaque destas jazidas é Caetité na Bahia, somente ela possui uma reserva de 100 mil toneladas capaz de abastecer as três usinas de Angra por 100 anos.

Atualmente a geração de energia elétrica através das usinas nucleares está vivendo um novo ciclo de expansão, pois além das unidades já em construção, a procura por outros países para adesão a esta tecnologia esta em forte ascensão.

Segundo a AIEA – Agência Internacional de Energia Atômica, no mundo todo em 2007 existiam 439 reatores nucleares instalados distribuídos por 31 países, os Estados Unidos concentravam 104 unidades instaladas seguida da França com 59 reatores.

A seguir será apresentada a tabela 30 com informações referente as usinas nucleares no mundo e qual o ranking de cada país.

Tabela 30 – Usinas Nucleares no Mundo

Ranking	País	TWh	%
1º	Estados Unidos	848,90	36%
2º	França	440,40	19%
3º	Japão	279,00	12%
4º	Rússia	159,80	7%
5º	Coréia do Sul	142,90	6%
6º	Alemanha	140,50	6%
7º	Canadá	93,30	4%
8º	Ucrânia	92,50	4%
9º	Suécia	67,40	3%
10º	China	62,90	3%
11º	Brasil	12,40	1%
Total		2.340,00	100%

Fonte: Atlas de Energia Elétrica no Brasil, 3º Ed., ANEEL

No Brasil, apenas a INB – Indústrias Nucleares Brasileiras estão autorizadas pelo Governo Federal a extrair e processar o urânio e demais minerais radioativos, além da extração, a INB domina a tecnologia dos três ciclos de processamento do átomo de urânio. Para o enriquecimento do urânio, estes são realizados em países como Alemanha e Holanda na qual quando o envio ao Brasil, os mesmos chegam em containeres, são enviada à FCN - Fabrica de Combustível Nuclear em Resende – RJ e, em seguida, para abastecimento das usinas de Angra.

A expansão de usinas nucleares no Brasil está previsto no plano decenal 2006/2015, tendo como vantagem a grande reserva do mineral e o domínio da tecnologia do enriquecimento do urânio.

As usinas nucleares no Brasil foram decretadas pelo Governo Federal em 1960, na qual o governo federal pretendia adquirir o conhecimento sobre a nova tecnologia que era expandida rapidamente em todo o mundo e também resolver um problema pontual quanto o suprimento de energia no município de Rio de Janeiro.

Com este decreto do governo federal, a usina de Angra I iniciou-se em 1972 com tecnologia da empresa norte-americana Westinghouse sendo o projeto adquirido “*Turn-Key*”. Em 1975, o país assinou com a Republica Federal da Alemanha o acordo para utilização pacifica da energia nuclear. Neste mesmo ano adquiriu-se da empresa Kraftwerk Union A.G as usinas Angra II e Angra III, empresa esta subsidiária da Siemens.

As usinas nucleares situadas em Angra são capazes de gerar mais de 2000 MW de energia, sendo Angra I 657 MW entrando em operação em 1985, Angra II com 1350 MW iniciando operação em 2000. Por uma série de motivos Angra III ficou paralisada durante muitos anos, porém como foi inserida no plano decenal 2006/2015, está prevista a sua operação para 2014 com capacidade de gerar mais 1350 MW.

A intenção do ministro de Minas e Energia, Edison Lobão é instalar uma usina nuclear por ano nos próximos 50 anos resultando em uma capacidade total de 60 mil MW

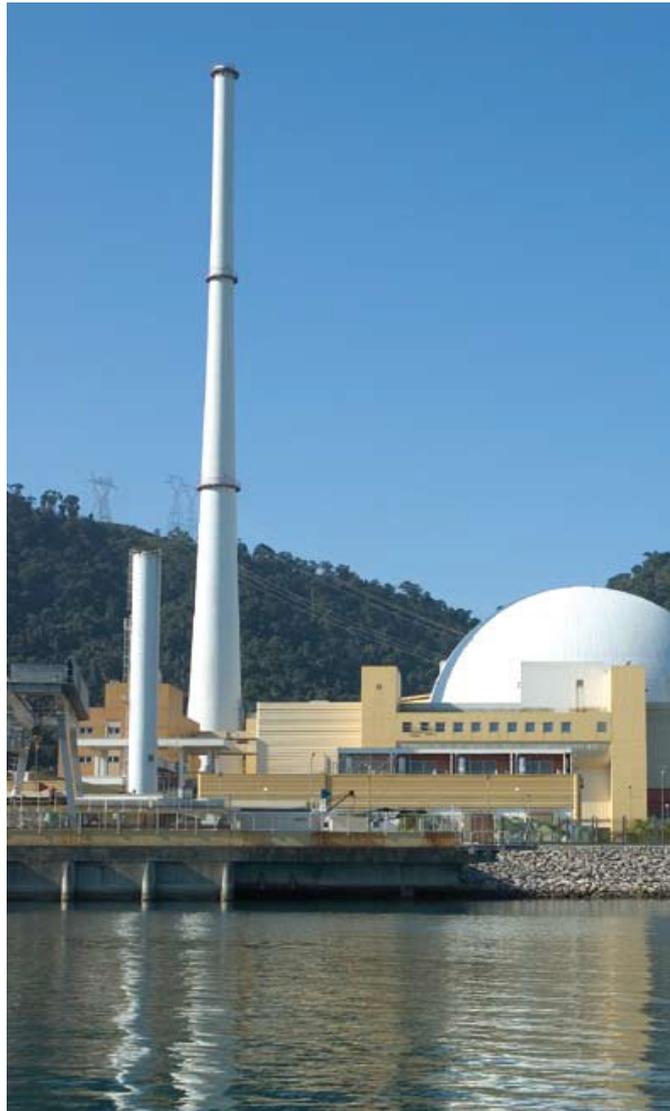


Figura 14 – Usina Nuclear Angra II: Fonte: Atlas de Energia Elétrica no Brasil, 3° Ed., ANEEL

7.2. Os problemas de Angra relacionados à Segurança e Meio Ambiente

A operação de usinas nucleares é uma das formas menos agressivas ao meio ambiente, pois não produzem a emissão de gás carbônico ou qualquer outro tipo de gás causador do efeito estufa, além do mais não produzem dióxido de enxofre ou óxidos de nitrogênio principais causadores das chuvas ácidas.

Quanto as questões ambientais e segurança são basicamente divididas em dois tópicos, o primeiro são relacionados a acidentes nucleares, mesmo tendo uma probabilidade baixa de ocorrer, elas são irreversíveis quando acontecido. A segunda

questão é o que fazer com os dejetos radioativos provenientes da geração de energia elétrica.

As áreas de influencia das usinas de Angra dos Reis possuem monitoramento em um raio de 15 km considerando padrões internacionais de segurança, analisando se alterou de alguma forma o ecossistema ou se há a presença de radiação.

Desde 1978 foi construído pela Eletro-nuclear um laboratório de monitoramento ambiental, monitorando se há radiação nas águas, no solo, no ar e nos animais na qual foi constatado até os dias de hoje mantendo os mesmos níveis de radiação antes da construção destas usinas.

7.3. Análise Econômica

Tabela 31 – Custos para implantação de uma Usina Nuclear – Angra III

Análises	U.M	Valor
Vida útil do projeto	Anos	30
Depreciação	Anos	20
Investimento	R\$/MW	3.400.000,00
Potencia Elétrica	MW	1.435,00
Total Investimentos	Bilhões R\$	4.879.000.000,00
Despesas Fixas e Variáveis	R\$/ MWh	197.000,00
Seguro Operacional	% Investimento	0,5
Custos de Transmissão	R\$/MWh	2,74
Impostos	%	34,63
Taxas Fiscalização ANEEL	MR \$/Ano	1,48
P & D	%	1,00
Royalties	R\$ / MWh	0,00
Contribuição Social	%	9,00

* Considerando o cenário Com Conexão

Fonte: Livro Geração de Energia Elétrica no Brasil, Mauricio Tiomno Tolmasquim

Os custos da geração de energia através de Usina Nuclear serão apresentados na tabela 32 a seguir. Serão apresentadas as modicidades com os custos de geração considerando os cenários, Com Conexão, Sem Conexão, Com Conexão & Isenção, Sem Conexão & Isenção e Sem Conexão e Isenção Total.

Tabela 32 – Custos considerando os Cenários

Casos	TEQ (R\$/MWh)	Investimentos (R\$/MW)
Com Conexão	126,40	3.400.000,00
Sem Conexão	117,46	3.094.000,00
Com Conexão & Isenção	118,58	3.132.000,00
Sem Conexão & Isenção	110,36	2.828.000,00
Sem Conexão & Isenção Total	86,60	2.754.000,00

Fonte: Livro Geração de Energia Elétrica no Brasil, Mauricio Tiomno Tolmasquim

Tabela 33 – Composição da TEQ

Cenários	TEQ R\$/MWh	Composição da TEQ
Custos com Geração	86,60	69%
Imposto sem Faturamento	23,76	19%
Conexão	8,20	6%
Imposto sem Equipamento	7,84	6%
Tarifa Final	126,40	100%

Fonte: Livro Geração de Energia Elétrica no Brasil, Mauricio Tiomno Tolmasquim

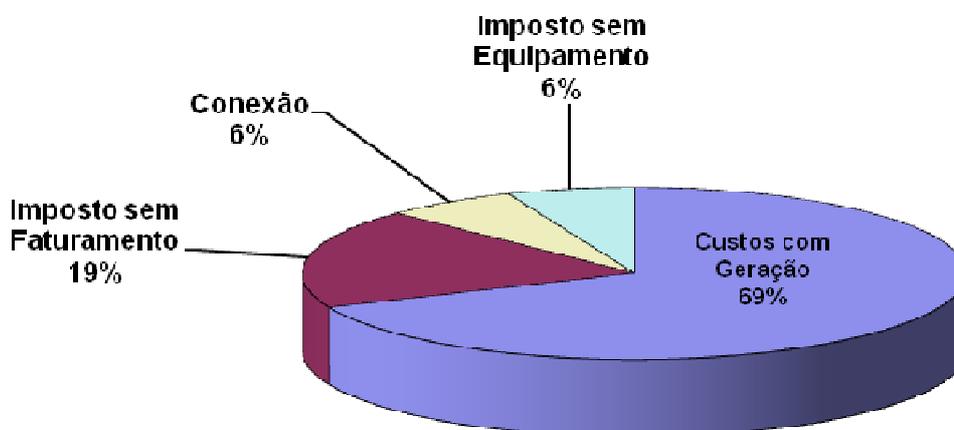


Figura 15 – Composição da TEQ em gráfico (%): Fonte Livro Geração de Energia Elétrica no Brasil, Mauricio Tiomno Tolmasquim

8. Usina Eólica

Uma das formas mais antigas para utilização dos efeitos da natureza é o vento. Utilizado há mais de 5000 anos pelos Egípcios para navegação no rio Nilo, somente anos mais tarde foi utilizada para de moagem de grãos com pás mais parecidas com remos. Porém, um dos pioneiros na utilização do vento foi os holandeses que criaram moinhos de vento para drenar as águas dos pântanos e lagos do delta do rio Rohone.

Mais tarde, no século XX, os pequenos moinhos de vento foram utilizados para bombeamento de águas e geração de energia elétrica.

Nos anos 70, com a crise do petróleo, a forma de geração de energia elétrica através dos ventos foi uma das situações viáveis nas quais muitos institutos de pesquisa investiram para o desenvolvimento de sistemas mais eficientes e com um custo acessível.

Até os dias de hoje, a forma de geração de energia através dos ventos é uma das melhores formas a serem adotadas em muitas regiões do país pelo fato de não haver emissões de gases ao meio ambiente e o seu custo de implantação ser relativamente baixo, considerando a inovação dos Aero geradores mais eficientes.

A geração de energia elétrica através das usinas eólicas é uma das fontes renováveis de geração mais baratas comparadas com outras formas de geração, levando em conta o custo da turbina e sua potência nominal de geração, sendo a evolução da tecnologia um forte aliado para redução dos custos. A evolução da tecnologia está cada vez mais difundida comparada com o primeiro Aero gerador do ano de 1985, como segue na tabela 34 abaixo:

Tabela 34 – Evolução dos Geradores

Ø	Potência Geração	Unidade	Ano
15m	50	kW	1985
30m	300	kW	1989
37m	500	kW	1992
46m	600	kW	1994
70m	1500	kW	1998
112m	4500	kW	2000

Fonte: KUJAVA, 2003, KUIK, 2002



Figura 16 – Aerogeradores: Fonte Atlas de Energia Elétrica no Brasil, 3° Ed., ANEEL

8.1. A Energia Eólica no Mundo

A referência mundial em geração de energia através dos ventos é na Alemanha, sendo as turbinas instaladas na classe de MW, mostrando a importância do mercado alemão no desenvolvimento mundial desta tecnologia, porém, em linhas gerais os Aerogeradores ainda não atingiram os limites de tamanho, tanto *onshore* quanto *offshore*. Na tabela 35 abaixo apresenta o ranking dos países quanto a geração de energia elétrica através dos ventos.

Tabela 35 – Ranking dos países com Geração Eólica

Ranking	País	Potência (MW)	%
1°	Alemanha	22.247,40	27,5%
2°	Estados Unidos	16.818,80	20,8%
3°	Espanha	15.145,40	18,7%
4°	Índia	7.850,00	9,7%
5°	China	5.912,00	7,3%
6°	Dinamarca	3.125,00	3,9%
7°	Itália	2.726,10	3,4%
8°	França	2.455,00	3,0%
9°	Reino Unido	2.389,00	2,9%
10°	Portugal	2.130,00	2,6%
25°	Brasil	247,10	0,3%
	Total	81.045,80	100%

Fonte: Atlas de Energia Elétrica no Brasil, 3° Ed., ANEEL

8.2. A Energia Eólica no Brasil

O Brasil é um dos países favoráveis à implantação da energia eólica em virtude da oscilação da velocidade média do vento ser de apenas 5% e pelo fato de ser duas vezes maior que a média mundial, além do mais, em períodos de estiagem, é possível operar como sistema complementar à usina hidrelétrica em virtude da constante velocidade do vento.

A região Nordeste do país possui condições favoráveis de ventos para geração de energia elétrica através das Usinas Eólicas se tornando pioneira nesta forma de produção de energia.

Conforme último estudo realizado em 2001 através do Atlas de Potencial Eólico no país, o Brasil ainda possui um potencial de geração eólica de 143 mil MW, volume superior ao instalado no país até 2008 que é de 105 mil MW. Como informado acima quanto a pioneira na geração de energia no país, a região litorânea do Nordeste aponta um potencial de 75 GW, na região Sudeste mais precisamente no Vale do Jequitinhonha com quase 30 GW e na região Sul com 23 GW, região esta em que se encontra o maior parque eólico do país, o de Osório no RS com 150 MW de potência.

Abaixo será apresentada a figura 17 na qual destaca o potencial de geração de energia por estado no Brasil.

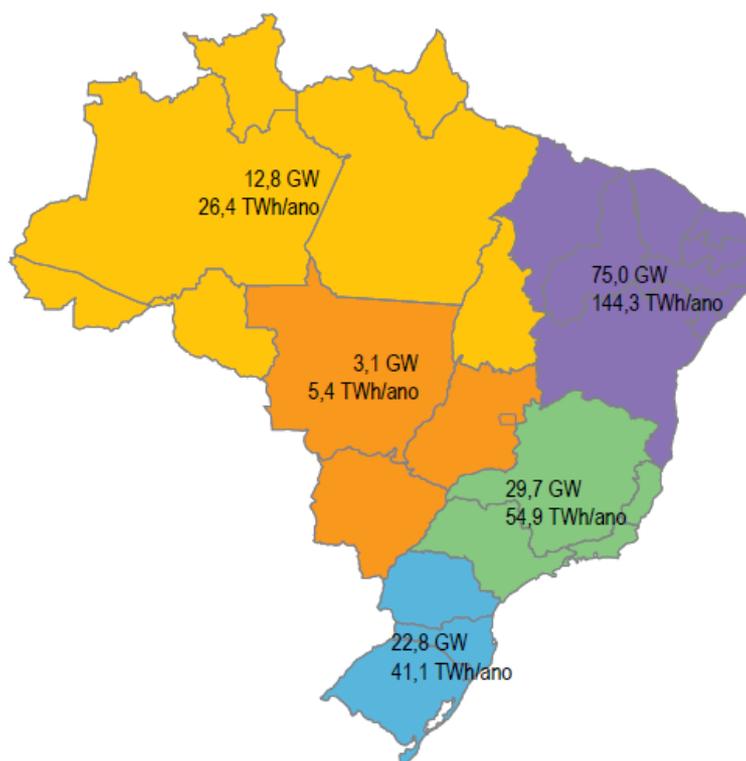


Figura 17 – Potencial Eólico no Brasil: Fonte Atlas de Energia Elétrica no Brasil, 3º Ed., ANEEL

No Brasil, a utilização dos ventos é mais utilizada para o bombeamento da água para irrigação. Conforme aponta o BIG da ANEEL, as 17 usinas instaladas e em operação no país tem capacidade instalada de 273 MW, fato este em que o país aderiu bem a esta tecnologia e que vem em forte ascensão a novos empreendimentos.

Antes da implantação do parque eólico de Osório no Rio Grande do Sul, os projetos até então implantados eram de pequeno porte. Os parques eólicos de Osório, Sangradouro e Índios, que compõem o parque eólico de Osório possuem 75 turbinas com potência de 2 MW cada perfazendo um total de geração de 150 MW, sendo cada com 70 metros de diâmetro e 100 metros de altura.

No Brasil, a primeira turbina eólica instalada foi em 1992, no Arquipélago de Fernando de Noronha, na qual possuía um gerador de 75 kW, como rotor de 17 metros de diâmetro e torre de 23 metros de altura.

As demais usinas eólicas instaladas no país como Central Eólica Experimental foi a de Morro do Carmelinho na cidade de Gouveia-MG em 1994 com capacidade nominal de 1 MW constituída por 4 turbinas de 250 kW cada com rotor de 29 metros de diâmetro e torre de 30 metros de altura.

No Ceará, a central eólica de Prainha tem capacidade de geração de 10 MW, sendo composta por 20 turbinas de 500 kW cada, e, na Paraíba, a capacidade de geração é de 10.200 kW composta por 13 turbinas de 800 kW cada.

São estas centrais que eram responsáveis pela potência eólica do país em 2003, sendo 11 vezes menor que o potencial de geração conforme estudos em 2008.

8.3. Incentivos do governo à implantação de Usinas Eólicas

Em dezembro de 2001 foi expedida a medida provisória N° 14 que dentre outras providências criou no âmbito do Ministério de Minas e Energia – MME o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica – PROINFA.

A idéia desse programa era de com a geração de energia através de fontes alternativas, interligarem em um curto prazo ao Sistema Interligado Nacional – SIN, obtendo-se no máximo a capacidade de geração de energia entre as fontes eólicas, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas.

Com incentivos do PROINFA, a idéia era de ser um complemento quanto ao abastecimento de energia elétrica no país, mais precisamente na região Nordeste em períodos de estiagem onde se tinha grandes quantidades de ventos, o abastecimento hidráulico era comprometido com os baixos volumes de águas nos reservatórios, e na região Sul e Sudeste com as usinas de biomassa, onde a colheita de safras era baixa em virtude dos longos períodos de chuva.

8.4. Resultados obtidos com os incentivos do governo

Com o estabelecimento dos valores econômicos de cada fonte de energia através da portaria N° 45/2004 do MME, tornando à público a abertura da primeira chamada pública para contratação de projetos pela Eletrobrás. Foram apresentados mais de 3.700 MW em projetos por diversos investidores com fontes eólicas, o que confirmou o grande sucesso obtido com o lançamento do programa, dando ao investidor segurança com apoio da Eletrobrás e BNDES.

O BNDES criou um programa que financiava 80% dos investimentos em fontes renováveis de energia, excluindo-se apenas bens e serviços importados e aquisição de terrenos na qual os investidores teriam que arcar com apenas 20% com a implantação do projeto. Estes 80% financiáveis eram compostas com TJLP + 2% de spread básico e até 1,5% de spread de risco ao ano, carência de 6 meses após o início de operação, prazo de 144 meses para amortização da dívida e a não cobrança de juros durante a construção do empreendimento.

Com a Eletrobrás, obteve-se a garantia de compra de energia em longo prazo (PPAs), tendo uma receita mínima de 70% da energia contratada durante o período de amortização da dívida e proteção integral quanto riscos de exposição do mercado de curto prazo. Além do mais, era garantido contrato de 20 anos para compra de energia.

De todos os projetos apresentados, a região Sul teve o maior aceite por parte dos investidores, onde dos 29 projetos apresentados, 28 foram habilitados e 16 foram selecionados perfazendo um total de 468 MW de geração de energia. O segundo lugar para investimentos foi a região Nordeste e em terceiro lugar foi a região Sudeste.

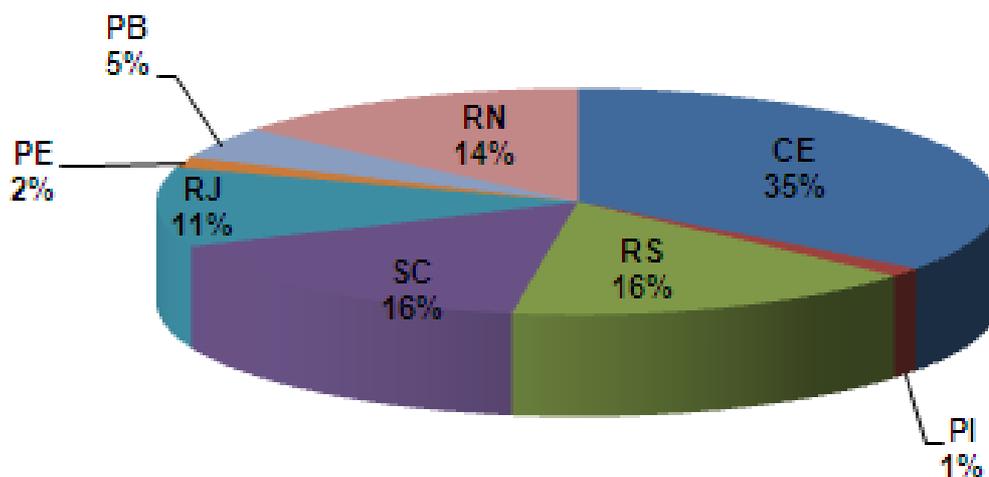


Figura 18 – Percentual de Potência Contratada por Estado: Fonte Livro Geração de Energia Elétrica no Brasil, Mauricio Tiomno Tolmasquim

8.5. Análise Econômica

Tabela 36 – Custos para implantação de uma Usina Eólica

Análises	U.M	Valor
Vida útil do projeto	Anos	20
Depreciação	Anos	20
Investimento	R\$/MW	2.314.000,00
Potencia Elétrica	MW	30,00
Total Investimentos	Milhões R\$	69.420.000,00
Despesas Fixas e Variáveis	R\$/ MWh	46.000,00
Seguro Operacional	% Investimento	0,5
Custos de Transmissão	R\$/MWh	6,43
Impostos	%	34,63
Taxas Fiscalização ANEEL	MR \$/Ano	0,01
P & D	%	0,00
Royalties	R\$ / MWh	0,00
Contribuição Social	%	9,00

* Considerando o cenário Com Conexão

Fonte: Livro Geração de Energia Elétrica no Brasil, Mauricio Tiomno Tolmasquim

A seguir, serão apresentadas as modicidades com os custos de geração considerando os cenários, Com Conexão, Sem Conexão, Com Conexão & Isenção, Sem Conexão & Isenção e Sem Conexão e Isenção Total. Para usinas eólicas, a forma de composição da TEQ é a mesma.

Tabela 37 – Custos considerando os Cenários

Casos	TEQ (R\$/MWh)	Investimentos (R\$/MW)
Com Conexão	153,86	2.314.000,00
Sem Conexão	147,14	2.200.000,00
Com Conexão & Isenção	134,98	1.994.000,00
Sem Conexão & Isenção	128,24	1.880.000,00
Sem Conexão & Isenção Total	101,24	1.790.000,00

Fonte: Livro Geração de Energia Elétrica no Brasil, Mauricio Tiomno Tolmasquim

Na tabela 38 a seguir, estão apresentados os itens que compõe o custo da TEQ - Tarifa de Equilíbrio.

Tabela 38 – Composição da TEQ

Cenários	TEQ R\$/MWh	Composição da TEQ
Custos com Geração	101,22	66%
Imposto sem Faturamento	27,02	18%
Conexão	6,74	4%
Imposto sem Equipamento	18,88	12%
Tarifa Final	153,86	100%

Fonte: Livro Geração de Energia Elétrica no Brasil, Mauricio Tiomno Tolmasquim

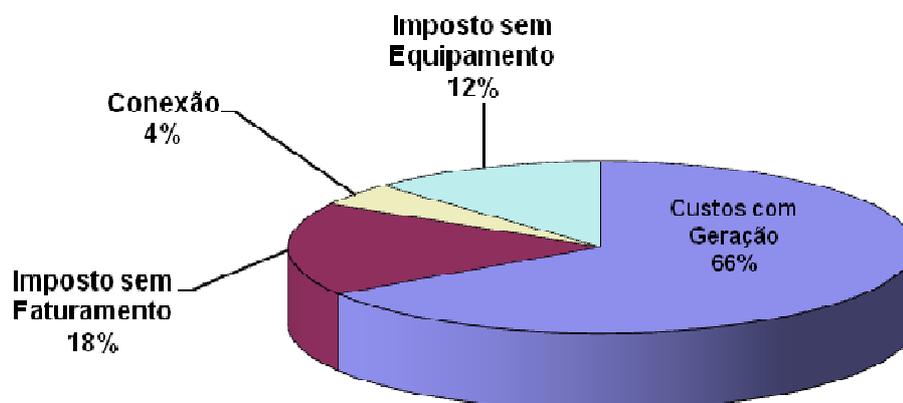


Figura 19 – Composição da TEQ em gráfico (%): Fonte Livro Geração de Energia Elétrica no Brasil, Mauricio Tiomno Tolmasquim

9. Usina Solar

A energia solar é uma das fontes de energia renováveis que pouco contam na matriz mundial de geração. Comparando o ano de 1996 e 2006, a produção de energia através do sol teve um aumento significativo de mais de 2000%.

Em 2007, conforme o último estudo realizado pela *Photovoltaic Power Systems Programme* da *IEA*, a potência total instalada no mundo estava na casa dos 7,8 mil MW, isto corresponde a mais de 50% da capacidade instalada da usina hidrelétrica de Itaipu.

Como na Energia Eólica, na Energia Solar a Alemanha é uma das pioneiras no segmento, sendo produtora de mais de 49% da potência instalada, além do mais, Alemanha, Japão, Estados Unidos e Espanha somam 84% da potência total instalada.

A utilização da tecnologia da geração de energia através do sol ainda são restritos pois sua utilização é destinada ao atendimento de localidades isoladas, porém, nos atuais projetos de expansão este cenário está se alterando. Como por exemplo, em 2007 entrou em operação a Central Solar Fotovoltaica de Serpa localizada em Portugal com capacidade instalada de 11 MW, capaz de atender 8 mil casas.

A figura 20 a seguir apresenta a evolução da geração de energia através do sol no mundo desde o ano de 1992.

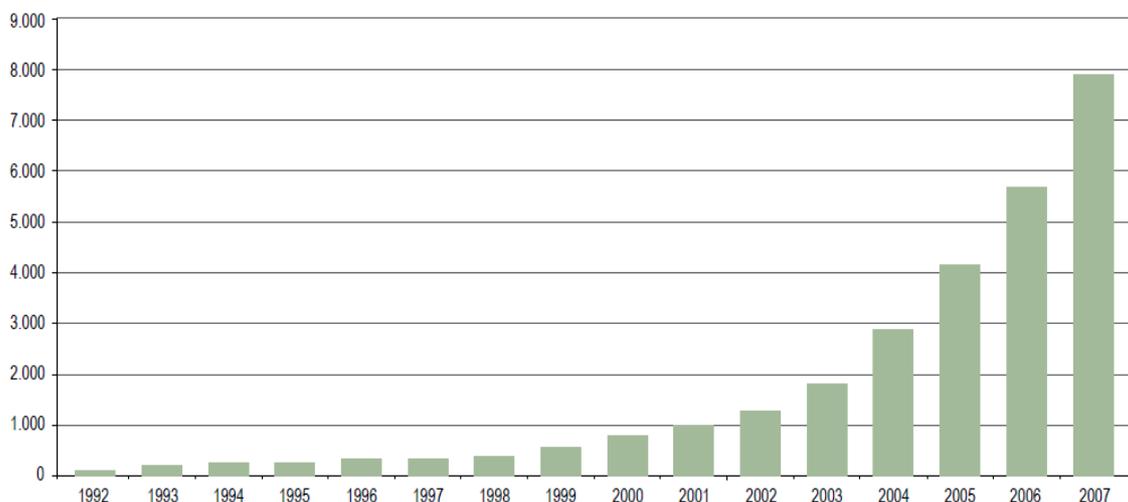


Figura 20 – Potência Instalada de Células Fotovoltaicas no mundo (MW)

Fonte: Atlas de Energia Elétrica no Brasil, 3º Ed., ANEEL

No Brasil, embora a produção de energia através do sol ainda é pouco significativa, a tendência começa a se disseminar mais precisamente nos grandes centros urbanos como a cidade de São Paulo por exemplo.

9.1. O que é a Energia Solar

A energia solar é uma das fontes de energia renováveis e inesgotável do mundo. Ela chega à terra nas formas térmicas e luminosa.

Segundo estudos da EPE, a sua irradiação na superfície da Terra é capaz de atender milhares de vezes o consumo de energia no mundo, considerando a latitude e a estação do ano em condições favoráveis da atmosfera.

Quando passada pela atmosfera terrestre, a maior parte da energia solar apresenta-se em forma de luz visível de raios infravermelhos e ultravioletas. Através destes raios, é possível captá-las e transformar em alguma forma de energia, podendo ser térmica ou elétrica.

Para obter se aquecimento de água, utiliza-se uma superfície escura, agora para obter energia elétrica utilizam-se painéis fotovoltaicos com células de silício mono ou policristalinas.

A produção de energia elétrica através do sol pode ser realizada de duas maneiras, Helio térmico e o fotovoltaico. No Helio térmico, a irradiação do sol é convertida em calor na qual é utilizada em usinas termelétricas, sendo o processo dividido em quatro fases: a coleta de irradiação, conversão em calor, transporte e armazenamento e por último a conversão em eletricidade. Para se obter um melhor aproveitamento através da energia Helio térmico, é fundamental a região ter uma alta incidência de irradiação solar direta e de baixa intensidade de nuvens e densidade pluviométrico, como por exemplo a região Nordeste do Brasil.

No sistema fotovoltaico, a transformação é direta. Para que isto aconteça, é necessária a utilização de material semicondutor, no caso a instalação de painéis solares com silício. Estes painéis solares são basicamente compostos com duas camadas de semicondutores, sendo a positiva e a negativa carregada formando uma junção eletrônica. Com a presença de irradiação solar diretamente ao módulo, o campo elétrico existente permite o estabelecimento do fluxo eletrônico, dando início ao fluxo de energia em corrente contínua (CC). Quanto maior a incidência de raios solares, maior será a produção de energia, porém, mesmo sem o brilho do sol, o sistema gera energia só que de forma mais limitada.

Segundo a REN21, os sistemas fotovoltaicos conectados à rede é uma das tecnologias que está em forte crescimento no mundo. Esta condição é favorável em virtude de quanto mais a procura e instalação destes sistemas, os custos para aquisição estão cada vez menores.

Na figura 21 abaixo apresenta o crescimento exponencial das instalações de sistemas fotovoltaicos conectados e desconectados da rede.

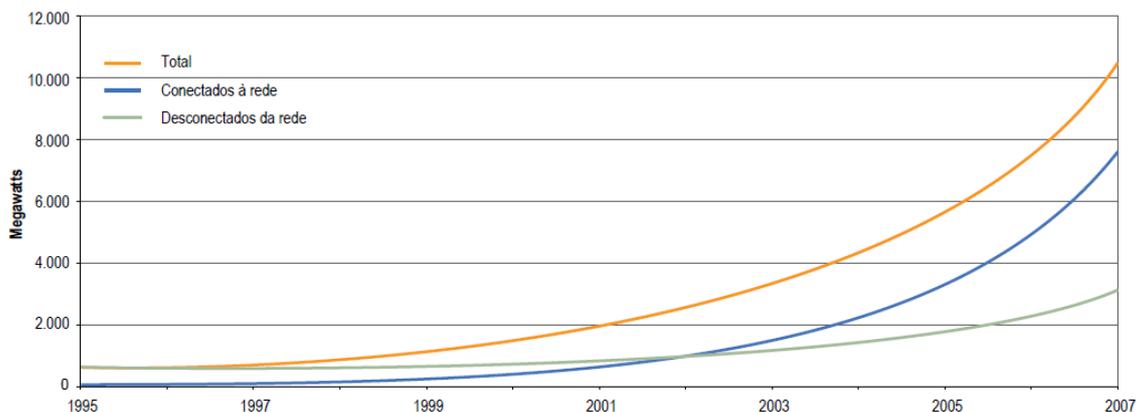


Figura 21 – Evolução sistemas conectados e desconectados da rede (MW)

Fonte: Atlas de Energia Elétrica no Brasil, 3° Ed., ANEEL

Na figura 22 a seguir será apresentado o custo para aquisição de painéis solares, conforme informado no parágrafo anterior, como vem aumentando a procura desta tecnologia, o custo para aquisição está cada vez menor.

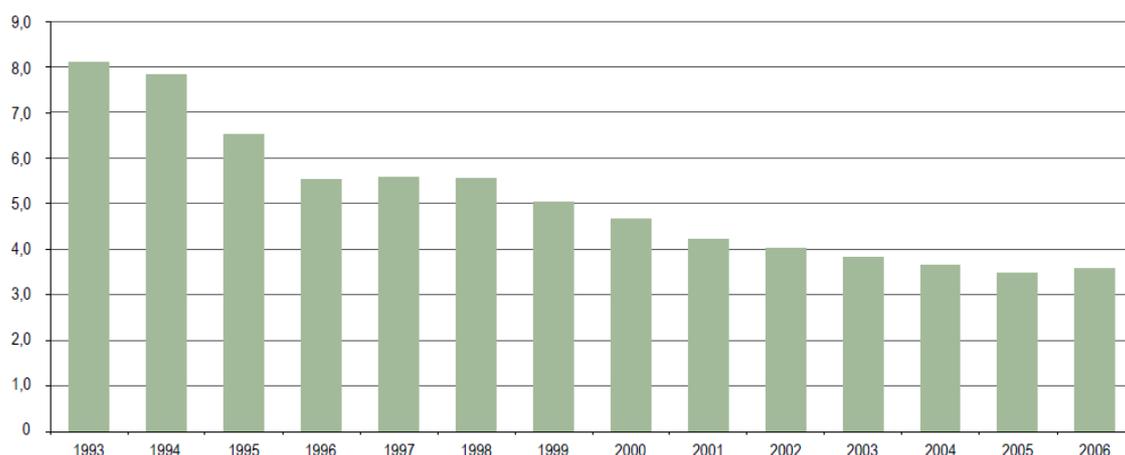


Figura 22 – Preço dos painéis solares no Japão (US\$ / W): Fonte Atlas de Energia Elétrica no Brasil, 3° Ed., ANEEL

9.2. Potencial de Produção de Energia Solar Nacional

No Brasil, além de termos o privilégio dos ventos, o mesmo acontece com a incidência de raios solares. Conforme o Plano Nacional de Energia 2030, através dos dados obtidos no Atlas Solarimétrico do Brasil, a radiação varia de 8 a 22 MJ (megajoules) por metro quadrado durante o dia, sendo que as menores variações ocorrem durante a estação do inverno, variando de 8 a 18 MJ por metro quadrado.

Além do mais, a região Nordeste é a que possui a maior radiação solar, sendo comparada ao deserto do Sudão, diferente das regiões Sul e Sudeste na qual estão situadas a maior concentração da atividade econômica do país.

A figura 23 abaixo ilustra a variação da radiação solar no Brasil.

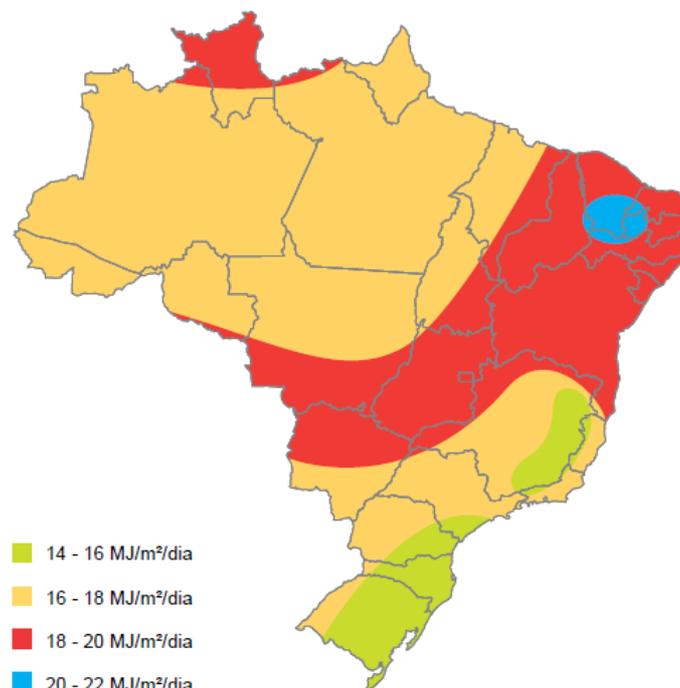


Figura 23 – Variação da radiação solar no país: Fonte Atlas de Energia Elétrica no Brasil, 3° Ed., ANEEL

Mesmo com a tecnologia de aquecedores solares estar bastante difundida através da utilização em residências na área urbana e rural, a participação da geração de energia através do sol na matriz energética nacional é bastante reduzida, tanto que a geração de energia através do sol não é nem citada na relação de fontes que integram o Balanço Energético Nacional e no Banco de Informações de Geração – BIG da ANEEL, sendo comentado apenas de uma usina fotovoltaica no município de Nova Mamoré em Rondônia com potencia instalada de 20,48 MW.

O BIG não possui nenhuma informação referente a empreendimentos fotovoltaicos em construção ou já outorgado. Atualmente o que existe no país são sistemas de geração de energia isolados, na qual estão sendo implantados através do programa Luz para Todos, programa lançado em 2003 que tem como meta atender mais de 10 milhões de pessoas residentes na área rural através de extensão de redes das distribuidoras, sistemas de geração descentralizada com redes isoladas (minirredes) e sistemas de geração individuais (SIGFIs).

9.3. Análise Econômica

Abaixo será apresentada a tabela 39 com o custo estimado para implantação de uma usina solar com painéis fotovoltaicos.

Tabela 39 – Custos estimados para implantação de uma usina solar

Análises	U.M	Valor
Vida útil do projeto	Anos	30
Depreciação	Anos	30
Investimento	R\$/MW	11.570.000,00
Potencia Elétrica	MW	30
Total Investimentos	Milhões R\$	347.100.000,00

Fonte: ANEEL – SCG, 2006, NEGRI et al., 2003

Tabela 40 – Composição estimado da TEQ

Cenários	TEQ R\$/MWh	Composição da TEQ
Custos com Geração	154,09	66%
Imposto sem Faturamento	41,13	18%
Conexão	10,26	4%
Imposto sem Equipamento	28,74	12%
Tarifa Final	234,22	100%

Fonte: ANEEL – SCG, 2006, NEGRI et al., 2003

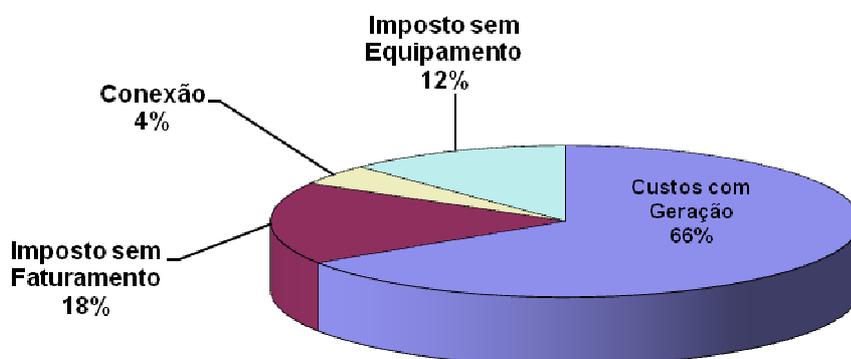


Figura 24 – Composição da TEQ em gráfico (%): Fonte ANEEL – SCG, 2006, NEGRI et al., 2003

10. Geração própria através de SIGFI's x Investimentos x Redução conta de Energia

Nesta etapa do TCC será apresentada a carga típica utilizada em residências comuns e qual será o impacto na fatura de energia com a instalação dos SIGFI's, e o valor o investimento.

10.1. Identificando a carga a ser ligada

Conforme estudos realizados pelo Ministério da Ciência e Tecnologia em 2001, o consumo médio do consumo de energia em residências brasileiras está em torno de 330 kWh por mês. Na tabela abaixo serão apresentados as cargas que compõe esta informação, partindo deste ponto, apresentando quais serão as cargas que iremos separar do circuito atendido pela eletricidade convencional e destinar para atendimento através da energia gerada através do sol.

Aparelhos elétricos	Potência média (W)	Dias estimados de uso no mês	Média de uso por dia (h)	Consumo médio mensal (kWh)	Quantidade	Consumo total (kWh)	Carga será atendida com
APARELHO DE SOM	80	20	4,0	6,40	1	6,4	Solar
APARELHO DE SOM PORTÁTIL	20	20	3,0	1,20	1	1,2	Solar
BATEDEIRA	120	8	0,4	0,38	1	0,4	Convencional
COMPUTADOR	150	20	4,0	12,00	1	12,0	Convencional
CHUVEIRO ELÉTRICO *	4.400	30	1,1	145,20	1	145,2	Convencional
DVD PLAYER	20	5	2,0	0,20	1	0,2	Solar
FERRO ELÉTRICO AUTOMÁTICO	1.000	5	1,0	5,00	1	5,0	Convencional
FOGÃO A GÁS COMUM	60	30	0,1	0,18	1	0,2	Solar
FORNO MICROONDAS	1.200	30	0,3	10,80	1	10,8	Convencional
GELADEIRA 1 PORTA	90	30	11,0	29,70	1	29,7	Convencional
IMPRESSORA DESKJET PEQUENA	20	5	1,0	0,10	1	0,1	Solar
LÂMPADA FLUOR. COMPACTA 15 W	15	30	5,0	2,25	5	11,3	Solar
LÂMPADA FLUOR. COMPACTA 23 W	23	30	4,0	2,76	3	8,3	Solar
LIQUIDIFICADOR	300	15	0,3	1,33	1	1,3	Solar
SECADOR DE CABELO GRANDE	1.400	30	0,2	8,40	1	8,4	Convencional
TORNEIRA ELÉTRICA	4.400	30	0,5	66,00	1	66,0	Convencional
TV EM CORES CRT - 14"	60	30	5,0	9,00	1	9,0	Convencional
TV EM CORES CRT - 20"	90	30	5,0	13,50	1	13,5	Convencional
VÍDEOCASSETE	10	8	2,0	0,16	1	0,2	Solar
VÍDEOGAME	15	15	4,0	0,90	1	0,9	Solar
TOTAL GERAL DA CARGA						330,0	
CARGA A SER DESCONECTADA						30,00	
CARGA A SER FATURADA						300,0	

* Considerando a média de 3,25 habitantes por residência

* Considerando um banho de 20 minutos por pessoa. Cálculo: 20min. / 60 min. = 0,33 x 3,25 ≈ 1,10 h Total

Figura 25 – Composição da carga: Fonte UNESP – FRANCISQUINI, 2006

Aparelhos elétricos	Potência (W)	Qtde.	Total (W) D=B*C	Corrente (A) *E=B / 12	Uso por dia (h)	Ah / dia G=E*F	Tipo de carga a ser ligada	% Perdas na conversão	Ah / dia corrigido
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
APARELHO DE SOM	80	1	80	7	4,0	26,7	CA	25%	33,3
APARELHO DE SOM PORTÁTIL	20	1	20	2	3,0	5,0	CA	25%	6,3
DVD PLAYER	20	1	20	2	2,0	3,3	CA	25%	4,2
FOGÃO A GÁS COMUM	60	1	60	5	0,1	0,5	CA	25%	0,6
IMPRESSORA DESKJET PEQUENA	20	1	20	2	1,0	1,7	CA	25%	2,1
LÂMPADA FLUOR. COMPACTA 15 W	15	5	75	1	5,0	6,3	CA	25%	7,8
LÂMPADA FLUOR. COMPACTA 23 W	23	3	69	2	4,0	7,7	CA	25%	9,6
LIQUIDIFICADOR	300	1	300	25	0,3	7,4	CA	25%	9,2
VÍDEOCASSETE	10	1	10	1	2,0	1,7	CA	25%	2,1
VÍDEOGAME	15	1	15	1	4,0	5,0	CA	25%	6,3
Total									81,4
									Ah / dia

* Considerando a tensão de operação do sistema solar em 12V

Figura 26 – Identificação da corrente Ah / dia: Fonte Solar Brasil

10.2. Dimensionamento do sistema fotovoltaico – (Off-Grid)

Conforme a carga identificada acima, iremos adotar os seguintes parâmetros:

- Sistema Necessário: SIGFI-30 (Geração de 30 kWh por mês);
- Alimentação: Entrada 12 VCC e Saída 127 VCA (Monofásico);
- Potência máxima fornecida pelo Sistema: 500 watts.

1º Painéis Solares: O módulo ou painel solar converte diretamente a energia da luz do Sol em energia elétrica. Cada módulo é formado por uma matriz de células solares de silício, associadas de forma a produzir a tensão e corrente desejada. Os módulos geram energia geralmente em 12V (corrente contínua), mas podem ser agrupados em sistemas de 24 ou 48V, são extremamente resistentes, com vida útil estimada de até 30 anos e manutenção quase inexistente. Podem ser de células monocristalinas, policristalinas, filmes finos ou amorfos.



Figura 27 – Módulos Solares de célula Policristalino: Fonte Kyocera

MÓDULOS SOLARES (Dados Técnicos)										
Modelo	Módulos Solares Disponíveis no mercado									
	-	KS 10	KS 20	KC 45	KC 50	SQ 75	KC85	KC130	KD 135	
Potência Máxima	Wp	10	20	45	50	75	110	130	135	
Tecnologia construtiva	Tipo	Poli	Poli	Poli	Poli	Mono	Poli	Poli	Poli	
Corrente @ potência máxima	A	0,60	1,20	3,00	3,00	4,40	5,02	7,39	7,63	
Corrente de Curto Circuito	A	0,62	1,24	3,10	3,10	4,80	5,34	8,02	8,37	
Tensão @ potência máxima	V	18,9	18,9	15,0	16,7	17,0	17,4	17,6	17,7	
Tensão em aberto	V	21,5	21,5	19,2	21,5	21,7	21,7	21,9	22,1	
Capacidade de carga diária*	Ah/dia	3,0	6,0	15,0	15,0	22,0	25,1	37,0	38,2	
Capacidade de geração mensal**	Kwh	1,1	2,2	5,4	5,4	7,9	9,0	13,3	13,7	
Comprimento	mm	305	520	573	639	1200	1007	1425	1500	
Largura	mm	352	352	652	652	527	652	652	668	
Espessura	mm	22	22	56	56	56	58	58	46	
Peso	Kg	1,8	2,9	4,5	5,0	7,6	8,3	11,9	12,5	
* Insolação média diária (horas)		5								
** Dias de sol por mês		30								

Figura 28 – Dados técnicos módulos solares: Fonte Solar Brasil

Para o estudo serão considerados os seguintes parâmetros:

$$\text{Qtde. Painéis} = \frac{\text{Total Carga Ah/dia}}{\text{Capacidade carga diária}}$$

Qtde. Painéis = $81,4 / 38,2 = 2,13$ painéis. Neste caso arredonda-se para acima = 3 painéis Kyocera

2º Controlador de Carga: O controlador ou regulador de carga é a interface entre o módulo solar, bateria e a carga. Suas principais funções são:

- Carregar adequadamente a bateria;
- Proteger a bateria contra sobrecargas e descargas excessivas;
- Monitoração do sistema por Led's ou Display;
- Não permitir a descarga total da bateria desligando antes a carga;
- Aumento da vida útil da bateria;
- Evitar retorno de energia ao módulo solar.



Figura 29 – Controlador de Carga: Fonte Solar Brasil

Para se determinar qual controlador de carga utilizar, verifica-se qual a corrente de curto circuito de cada painel e multiplica-se pela quantidade de painéis instalados.

Neste caso, como estamos instalando 3 painéis solares da Kyocera modelo KD 135, conforme informações na figura 28, a corrente de curto circuito de cada módulo é de 8,37 A, então:

Controlador = I_{cc} de cada painel x número de painéis instalados

Controlador = 8,37A x 3 = 25,11A

Analisando a figura 30 a seguir obtemos as características de cada controlador do fabricante.

Informações técnicas	Modelos disponíveis		
	CX10	CX20	CX40
Máxima corrente de módulo	10A	20A	40A
Máxima corrente de carga	10A	20A	40A
Tensão de sistema	12/24V	12/24V	12/24V
Consumo próprio	< 4 mA	< 4 mA	< 4 mA
Dimensões (L x A x P)	89 x 90 x 39mm	89 x 90 x 39mm	89 x 90 x 39mm

Figura 30 – Controlador de Carga: Fonte Phocos

Conforme informações obtidas na figura 30, um controlador de carga do modelo **CX20** é suficientemente capaz de proteger o sistema, pois estamos considerando 25% de perdas na conversão de corrente contínua para alternada, ou seja:

Proteção do controlador = 25,11A – 25% = 18,83A

3° Inversor: O inversor é um equipamento eletrônico que converte energia em corrente contínua proveniente de baterias para energia em corrente alternada convencional 127 / 220 VCA. Os inversores podem alimentar lâmpadas, ferramentas, equipamentos eletrônicos e eletrodomésticos, desde que dimensionados de acordo com as potências das cargas a serem alimentadas.



Figura 31 – Conversor DC/AC: Fonte Unitron

A carga total a ser ligada é de 669 watts, neste caso iremos utilizar um inversor de tensão com capacidade de 700 watts de carga. É importante frisar que como as cargas não serão ligadas todos ao mesmo tempo, um inversor de tensão de 500 watts é suficientemente capaz de atender a demanda declarada.

	iVolt 150	iVolt 400	iVolt 700
Potência Máxima de Saída	150 W	400 W	700 W
Potência Extra (tempo)	160 W (1 minuto)	450 W (1 minuto)	800 W (tempo indeterminado)
Potência de Surto	300 W	800 W	1400 W
Consumo em Vazio (sem aparelhos ligados à saída)	<1 W	<1 W	<9 W
Fusível no Plug para Tomada Automotiva	20 A	15 A	---
Fusível Interno	---	40 A	4 x 25 A

Figura 32 – Especificações técnicas do Inversor de Tensão: Fonte Unitron

4° Baterias: As baterias são usadas para armazenar a energia gerada pelos módulos solares com três principais funções: autonomia, estabilização da tensão e fornecer correntes elevadas em curtos períodos.

Existem diversos tipos de baterias e a escolha correta é fundamental para o correto funcionamento do sistema. As baterias para sistemas solares são principalmente do tipo chumbo-ácido e classificadas na categoria **descarga profunda** (*deep cycle*). As baterias utilizadas para os sistemas fotovoltaicos são do tipo **seladas** e podem possuir o eletrólito sob forma de “gel”. Destinam-se a descargas diárias não muito profundas, mas também suportam descargas mais profundas esporadicamente, quando ocorrem dias nublados e não há (ou há pouca) geração de energia no módulo solar.



Figura 33 – Baterias Seladas e chumbo ácido: Fonte FREEDOM

Para dimensionar qual a quantidade de baterias necessárias para suprir a necessidade de ausência de sol em um período de até 2 (dois) dias conforme estabelecido na resolução 083/2004 da ANEEL utiliza-se a seguinte fórmula:

$$\text{Baterias (A)} = \frac{\text{Carga total AH/dia} \times 4}{\text{máx. descarga da bateria}}$$

$$\text{Baterias} = \frac{81,4 \times 4}{0,8} = 407A$$

Na figura 34 a seguir temos as características de cada modelo de bateria selada disponível no mercado da fabricante FREEDOM.

Modelos		DF300	DF500	DF700	DF1000	DF2000	DF2500	DF3000
Capacidade @25°C (Ah)	10 h	24	30	41	54	94	130	156
	20 h	26	36	45	60	105	150	170
	100 h	30	40	50	70	115	165	185
Dimensões (mm)	Comprimento	175	175	210	242	330	510	510
	Largura	175	175	175	175	172	213	213
	Altura	175	175	175	175	240	230	230
Peso (Kg)		8.9	9.6	12.3	15	27.3	42	46

Figura 34 – Especificações técnicas das Baterias: Fonte FREEDOM

Como necessitamos de **407A**, podemos utilizar 4 baterias ligadas em paralelo de chumbo ácido modelo DF2000, na qual se descarregadas em até 100h, a sua capacidade nominal de disponibilidade de corrente é de 115A.

10.3. Apresentação do sistema

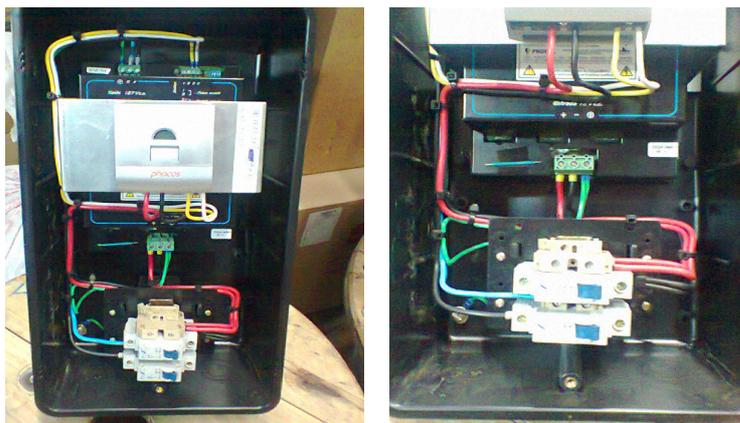


Figura 35 – Apresentação da montagem do controlador e inversor na caixa de acomodação: Fonte GUASCOR



Figura 36 – Caixa de acomodação das Baterias ligadas em paralelo: Fonte GUASCOR



Figura 37 – Sistema pronto para operação: Fonte GUASCOR

10.4. Custos para aquisição do sistema

Identificado a quantidade de equipamentos eletrônicos necessários para geração de energia, vamos agora identificar o valor do investimento.

Tabela 41 – Custo dos itens para geração de energia através do sol

Itens necessários	U.M	Custo unitário	Qtde.	Custo Total (R\$)
Módulos Fotovoltaicos KYOCERA KD 135, 135 Wp. Silício policristalino de alta eficiência (16%). 12 Vcc;	UN	1.200,00	3	3.600,00
Inversor de Tensão Unitron 700 W, 12 Vcc – 127 Vca. Modelo iVolt 700	UN	2.000,00	1	2.000,00
Controlador de Carga PHOCOS CX 40, 40 A, 12/24 Vcc.	UN	460,00	1	460,00
Bateria Estacionária Selada Chumbo-Ácido FREEDOM DF-2000. Sem manutenção;	UN	445,00	4	1.780,00
Estrutura de Fixação dos painéis solares + equipamentos eletrônicos	UN	1.500,00	1	1.500,00
Mão de obra para instalação do sistema fotovoltaico	CJ	3.500,00	1	3.500,00
Total				12.840,00

Fonte: www.guascor.com.br

Como um estudo de caso, vamos obter as informações do município de Itatiba através do último CENSO realizado em 2010 e fazer uma projeção se pelo menos 50% dos habitantes fizessem aquisição desta tecnologia.

- Número de habitantes total: 101.470 pessoas (Urbana + Rural);
- Número de habitantes considerados na projeção: 50.735 pessoas;
- Média de moradores por residência no município: 3.25;
- Quantidade residências a serem considerados na projeção: 16.611 casas
- Carga média por residência: 330 kWh por mês;
- Carga unitária a ser desconectado do sistema: 30 kWh
- Carga total a ser desconectado do sistema: 498.330 kWh
- Custo do kWh aplicado pela CPFL, vigente desde 08/04/2011 obtido no site da ANEEL para clientes residenciais classe B1: R\$ 0,32883 kWh;
- Valor a ser reduzido na fatura de energia: $30 \times 0,32883 = \text{R\$ } 9,87$ por mês;

Diante dos números apresentados acima, é claramente visto que hoje é inviável o investimento, porém, com o passar dos anos e a busca desta tecnologia como fonte alternativa de geração de energia, o custo será cada vez menor.

No Brasil, a forma de geração de energia estão divididas em dois grandes momentos, sendo o primeiro a partir de 2010, as usinas térmicas serão um grande aliado ao país sendo capaz de gerar cerca de 480 TWh ao ano, e, em um segundo momento, a partir de 2020, com a tecnologia mais difundida, a entrada da geração de energia através de fontes Eólicas e Solar, é claro que com incentivos do governo e linhas de crédito acessíveis, pode ser que até 2020 todo este estudo apresentado acima tenha caído por terra, sendo o momento crucial para investir nesta tecnologia.

11. Considerações Finais

Neste TCC foram apresentados o cenário nacional de geração de energia elétrica no país e qual os custos do MWh gerado por sistema.

Atualmente, o Brasil está em forte ascensão econômica e tem grandes possibilidades de se tornar auto-sustentável na produção de petróleo e gás natural. Além da produção de combustíveis fósseis, o Brasil é um dos países pioneiros na geração de energia através das usinas hidrelétricas na qual atende mais de 90% da demanda necessária do país. Usinas nucleares também têm grandes possibilidades de desenvolvimento, pois no país, existe uma grande reserva de Urânio a ser explorada, porém, é um processo muito mais complexo devido às questões ambientais e altos investimentos com as tecnologias empregadas.

Nas questões de geração de energia através dos ventos e do sol, o país tem um potencial de 143 GW, podendo ser aproveitados mais na região Nordeste, Sudeste e Sul do país. Nas últimas 4 décadas, o consumo de energia do país cresceu em torno de 3,0% ao ano. Nos anos 70, a principal fonte de geração de energia era a lenha sendo responsável por quase 50% da geração e o petróleo em torno de 40%. Nos anos 90, este cenário foi alterado, sendo a lenha responsável por apenas 3% da geração.

O custo da geração de energia elétrica no país na forma hidráulica é uma das mais viáveis possíveis, porém, com a grande dificuldade e imparcialidade quanto à questões ambientais, este cenário poderá ser fortemente alterado. Em virtude dos impactos causados ao meio ambiente para implantação de novas usinas hidrelétricas, podemos considerar que no Brasil as formas de geração de energia alternativa será um dos grandes marcos, pois com a tecnologia mais difundida, a entrada da geração de energia através de fontes Eólicas e Solar o custo do kW.h poderá ser equiparada ao custo de geração de uma usina hidrelétrica.

Para que o país possa se desenvolver, a eletricidade é um fator fundamental para atrair investidores estrangeiros com indústrias e para favorecer a inclusão social, desenvolvimento e melhoria da qualidade de vida da população.

A expansão da matriz energética brasileira é o assunto mais falado desde o último apagão ocorrido no país, porém, um dos focos é a busca de fontes renováveis de energia já que os combustíveis fósseis tendem a ficar mais escassos do planeta.

No país, temos a vantagem de termos uma grande abundância de recursos naturais para desenvolvimento, como por exemplo, o Silício para a construção de painéis solares ou o Álcool como fonte de combustível.

Por fim, a busca da sustentabilidade com a busca por fontes de energias renováveis requer muitos estudos com intuito de impactar o mínimo possível o meio ambiente e a população residente em locais onde existe um potencial de inundação para construção de novas usinas hidrelétricas, mesmo com os impasses de órgãos ambientais com a construção de novas usinas hidrelétricas podemos afirmar que o Brasil é um dos poucos países que tem a seu favor diversas matrizes energéticas disponíveis para geração de energia, ou seja, ao invés da frase “Yes, nos temos banana, a nossa frase será, “Yes, nós temos energia, e muito!

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] TOLMASQUIM, M.T. Geração de Energia Elétrica no Brasil. 1. ed. Rio de Janeiro, RJ: Interciência, 2005. 198 p.
- [2] Hidropower / Lafitte, R., disponível em <<http://www.wec.org>> acesso em: 10 set. 2011
- [3] ALVES FILHO, J. Matriz Energética Brasileira – Da Crise a Grande Esperança. 1. ed. Rio de Janeiro, RJ: Mauad, 2003. 188 p.
- [4] BRONZATTI, Fabricio L., NETO, Alfredo Iarozinski. Matrizes Energéticas no Brasil, Cenário 2010 – 2030. XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Rio de Janeiro, 2008. 15 p.
- [5] Tarifas vigentes de concessionárias. Disponível em: < [http:// www.aneel.gov.br](http://www.aneel.gov.br)> acesso em: 01 nov. 2011
- [6] Sinopse CENSO Demográfico 2010. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br>> acesso em: 01 nov. 2011
- [7] REIS, L.B; CUNHA, E.C.N. Energia Elétrica e Sustentabilidade: Aspectos tecnológicos, socioambientais e legais. 1.ed. Barueri, SP: Manole, 2006. 243 p.
- [8] TOLMASQUIM, M. T. et al. Alternativas energéticas sustentáveis no Brasil. 1.ed. Rio de Janeiro, RJ.: Relume Dumará., 2004. 488 p.
- [9] LOBAO, E. Panorama energético brasileiro. Disponível em: < <http://www.mme.gov.br> > acesso em: 10 out. 2011
- [10] Informações de sistemas fotovoltaicos. Disponível em: < <http://www.guascor.com.br>> acesso em: 29 out. 2011