

UNIVERSIDADE SÃO FRANCISCO
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

**ESTUDO DE CASO DO FORNECIMENTO DE ENERGIA POR FONTES
ALTERNATIVAS EM UMA ESCOLA DA REDE PÚBLICA**

Área de Engenharia Elétrica

por

Vinicius Otávio Bocaletto

Geraldo Peres Caixeta, Doutor
Orientador

Itatiba (SP), Dezembro de 2009

UNIVERSIDADE SÃO FRANCISCO
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

**ESTUDO DE CASO DO FORNECIMENTO DE ENERGIA POR FONTES
ALTERNATIVAS EM UMA ESCOLA DA REDE PÚBLICA**

Área de Engenharia Elétrica

por

Vinicius Otávio Bocaletto

Monografia apresentada à Banca Examinadora
do Trabalho de Conclusão do Curso de
Engenharia Elétrica para análise e aprovação.
Orientador: Geraldo Peres Caixeta, Doutor.

Itatiba (SP), Dezembro de 2009

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS.....	iii
LISTA DE FIGURAS	iv
LISTA DE TABELAS	v
RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. OBJETIVOS	2
1.1.1. Objetivo Geral.....	2
1.1.2. Objetivos Específicos	2
1.2. METODOLOGIA.....	2
1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO	2
2. ENERGIA CONVENCIONAL.....	4
2.1. NÃO RENOVÁVEIS.....	4
2.1.1. Petróleo	4
2.1.2. Carvão Mineral	6
2.1.3. Gás Natural.....	8
2.1.4. Energia Nuclear.....	10
2.2. RENOVÁVEIS.....	12
2.2.1. Energia Hidráulica.....	12
2.2.2. Energia Solar	15
2.2.3. Energia Eólica	25
3. PROJETO.....	42
3.1. A UNIDADE DE ENSINO.....	43
3.1.1. O Consumo da Unidade Escolar.....	43
3.2. COMPONENTES DO SISTEMA.....	45
3.2.1. Aerogerador.....	45
3.2.2. Baterias	48
3.2.3. Controlador de Carga.....	49
3.2.4. Inversor	50
3.2.5. Conexão Direta na Rede de Entrada.....	50
3.3. COTAÇÃO DE SISTEMAS COM AEROGERADORES	53
3.4. TEMPO DE RETORNO DO INVESTIMENTO.....	54
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	57
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
ANEXO 1 – UMA MEGA USINA SOLAR NO SAARA	60
ANEXO 2 – EFEITO GARRAFA TÉRMICA	61

LISTA DE ABREVIATURAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BIG	Banco de Informações da Geração
CGH	Central Geradora Hidrelétrica
CONEM	Congresso Nacional de Engenharia Mecânica
CRESCESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
IEA	Agência Internacional de Energia
INB	Indústrias Nucleares do Brasil
OMM	Organização Mundial de Meteorologia
OPEP	Organização dos Países Exportadores de Petróleo
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
RPM	Rotação por Minuto
UHE	Usina Hidrelétrica de Energia

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Investimento Global em Energias Renováveis entre 2004 e 2008.	1
Figura 2. Geração de Energia Elétrica no Mundo Pelo Petróleo Entre 1973 e 2006.	5
Figura 3. Usina Para Geração de Energia Elétrica Através do Petróleo.	6
Figura 4. Geração de Energia Elétrica no Mundo Pelo Carvão Mineral Entre 1973 e 2006....	7
Figura 5. Geração de Energia Elétrica no Mundo Pelo Gás Natural Entre 1973 e 2006..	9
Figura 6. Geração de energia elétrica pelo Carvão Mineral.....	9
Figura 7. Geração de Energia Elétrica Nuclear no Mundo Entre 1973 e 2006.....	11
Figura 8. Perfil Esquemático de uma Usina Nuclear... ..	11
Figura 9. Geração de Energia Elétrica no Mundo Por Hidrelétrica Entre 1973 e 2006.....	14
Figura 10. Esquema de Uma Usina Hidrelétrica.....	14
Figura 11. A Estrutura Básica de uma Célula Fotovoltaica de Silício.....	16
Figura 12. Modelo Funcional da Célula Fotovoltaica.....	17
Figura 13. Perdas na Célula Solar.	19
Figura 14. Ligação em Paralelo de Painéis Solares	20
Figura 15. Ligação em Série de Painéis Solares	20
Figura 16. Aplicação do diodo Bypass e diodo de bloqueio.....	21
Figura 17. Esquema Básico de um Sistema Solar.....	22
Figura 18. Sistemas Isolados Usuais e Cargas.	22
Figura 19. Esquema de um Sistema Híbrido.....	23
Figura 20. Sistema Conectado à Rede.....	24
Figura 21. Piranômetro de segunda classe.	25
Figura 22. Parque Eólico de Osório – RS.	27
Figura 23. Mapa do Potencial Eólico Brasileiro	28
Figura 24. Mapa da Velocidade dos Ventos no Brasil Durante o Ano e Escala de Velocidade.....	29
Figura 25. Variação do Potencial Eólico no Estado de São Paulo e Localização de Itatiba.....	30
Figura 26. Mapa de Satélite da Localização da Cidade de Itatiba.	30
Figura 27. Turbina pequena, média (terra firme) e grande (off-shore).....	31
Figura 28. Desenho de um Gerador eólico Atualmente Usado.....	32
Figura 29. Tipos de Aero geradores de Eixo Vertical.....	33
Figura 30. Interior da Nacele de uma Turbina Eólica Utilizando um Gerador Convencional.....	35
Figura 31. Sistema Elétrico de um Aero gerador.	40
Figura 32. Sistema Eólico Isolado.....	41
Figura 33. Modelos de aero geradores de 6000W e de 1000W de potência.....	47
Figura 34. Bateria de Ciclo Profundo Desenvolvidas Para Uso em Sistemas Solares e Eólicos.....	49
Figura 35. Controlador de Carga Para uso em Conjunto com Baterias.	50
Figura 36. Inversor DC/AC 1000W (12VDC - 120VAC)	50
Figura 37. Esquema de Ligação do Aero gerador no modo Conexão Direta.....	51
Figura 38. Inversor de Conexão Direta na Rede GCI-1500 Wind de 1500 Watts.....	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Componentes da Unidade Escolar.....	43
Tabela 2. Consumo da Unidade Escolar durante o ano de 2008.....	44
Tabela 3. Comparação Entre Energia Consumida e Velocidade do Vento.....	44
Tabela 4. Equipamentos não Viáveis no Sistema.	46
Tabela 5. Características Técnicas do Aerogerador de 6000 Watts.....	47
Tabela 6. Características Técnicas do Aerogerador de 1000 Watts.....	48
Tabela 7. Cotação do Aerogerador Modelo Gerar 246 de 1000W de potência	53
Tabela 8. Cotação do Aerogerador Modelo Verne 555 de 6000W de potência	53
Tabela 9. Orçamento do Sistema Completo.....	54

RESUMO

BOCALETTO, Vinícius Otávio. Estudo de Caso do Fornecimento de Energia por Fontes Alternativas em uma Escola da Rede Pública. Itatiba, 2009. 70 f. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade São Francisco, Itatiba, 2009.

Neste trabalho foi realizado um estudo dos meios tradicionais de produção de energia elétrica, para que pusesse ser verificada a situação das principais matérias primas utilizadas no processo da produção de energia, verificar a participação de cada uma delas na matriz energética mundial, apresentando também as estimativas de tempo restante do fornecimento desses recursos com base em dados atuais.

O trabalho também foi realizado para determinar qual seria a energia mais apropriada para o projeto de fornecer energia elétrica de forma alternativa para uma unidade escolar da rede pública de Itatiba – São Paulo. Com ênfase nas energias solar e eólica, que após serem estudadas e comparadas, foi escolhida a fonte mais apropriada para o caso.

Após isso foi realizada uma análise da existência de recursos naturais na região para verificar a viabilidade do projeto, um levantamento dos custos da instalação e o tempo para o retorno do investimento nesse sistema. O projeto tem a finalidade de criar um meio de fornecer energia através de uma fonte nova e não poluente, que atuaria em conjunto com o atual sistema da concessionária e forneceria a energia necessária para o funcionamento da unidade escolar.

Palavras-chave: Energia Alternativa. Meio Ambiente. Energia Solar. Energia Eólica. Unidade de Escolar.

ABSTRACT

In this work was made a study of traditional means of producing electricity, to check the situation of major raw materials used in the process of energy production, monitor the participation of each of the world energy grid and also provides the estimated remaining time of the supply of such resources based on current information.

The work was also carried out to determine what would be the most appropriate energy for the project to provide electricity by alternative means in a public teaching unit of the city of Itatiba – São Paulo. With an emphasis on solar and wind energies, which after being studied and compared, was chosen the most appropriate source for the case.

After that there was made an assessment of the existence of natural resources in the region to investigate the feasibility of the project, a survey of the installation costs and time for return on investment in this system. The project aims to create a means of providing energy through a new source and clean, that would work in conjunction with the current utility system and provide the energy needed to run the teaching unit.

Keywords: *Alternative Energy. Environment. Solar Energy. Wind Energy. Teaching Unit.*

1. INTRODUÇÃO

A energia elétrica é sem dúvida uma das maiores invenções da humanidade, desde o princípio dos estudos feitos por Benjamin Franklin e Alessandro Volta que contribuíram para o seu entendimento, ela é responsável por grandes avanços na produção industrial, conforto e tecnologia. Sendo responsável direta pelo desenvolvimento de uma nação.

Segundo a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) é um desafio levar energia elétrica a mais de 61 milhões de consumidores, espalhados num território de dimensão continental. O Brasil superou, no ano de 2007, a marca de 100 mil Megawatts (MW) em potência instalada (sendo 75% de fonte hídrica e 25% de fonte térmica).(ANEEL, 2008)

Uma grande preocupação para com o desenvolvimento sustentável vem fazendo com que vários países, além do Brasil, comecem a investir mais em novas fontes de energia, por isso é crescente o investimento em pesquisas para a produção de energia através de fontes renováveis e menos poluentes, como podemos observar na figura 1.

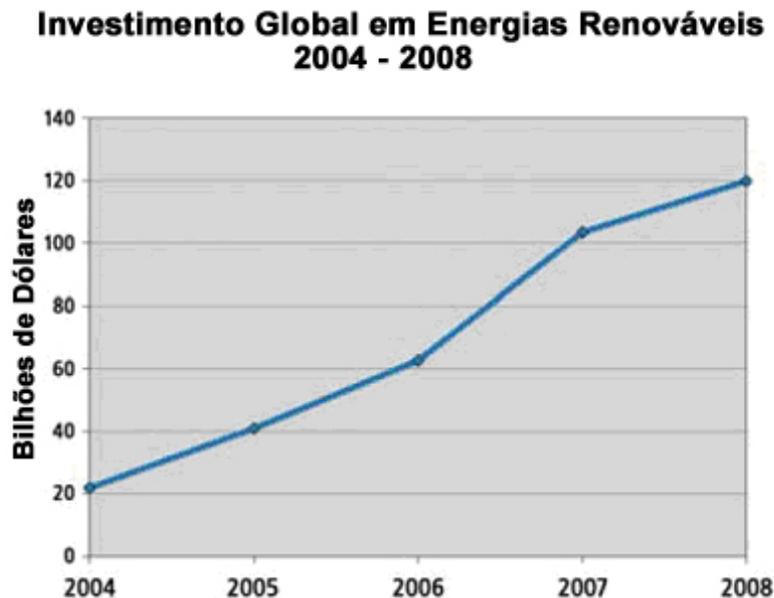


Figura 1. Investimento Global em Energias Renováveis entre 2004 e 2008.
Fonte: Adaptado de Renewables Global Status Report 2009 - Update (2009)

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é estudar os diferentes meios de produção de energia, apresentando as principais características de cada uma e quais seriam os custos para a implantação de um sistema de fornecimento de energia de forma alternativa para uma unidade de ensino.

1.1.2. Objetivos Específicos

A idéia de desenvolver um sistema para fornecer energia através de uma fonte alternativa tem como finalidade:

- Redução do consumo de energia de fontes tradicionais como hidrelétrica, térmica e nuclear;
- Redução do impacto ambiental causado pela instalação de novas usinas para suprir a demanda do consumidor;
- Redução de gastos com energia fornecida pela concessionária e aumento na confiabilidade no fornecimento.

1.2. METODOLOGIA

Serão estudadas as principais formas de produção de energia elétrica e as formas de produção alternativa, bem como avaliar qual forma de energia alternativa seria mais viável para o projeto.

1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está dividido em quatro partes nas quais:

1 - Apresentação das formas tradicionais de geração de energia como a hidrelétrica, térmica e nuclear e as formas alternativas como a fotovoltaica e a eólica mostrando a atual situação das reservas dos recursos e projeções de cada uma, assim como a utilização e importância delas ao longo das últimas décadas.

2 – Determinar qual a melhor fonte de energia para realizar o projeto, considerando as fontes alternativas como sendo a eólica e a solar, através da teoria apresentada e analisando casos pesquisados. Através dessa etapa será determinada qual energia será utilizada no projeto final.

3 – Realizar um projeto para o fornecimento para uma unidade escolar, levando em consideração a demanda do prédio, a disponibilidade de recursos naturais na região e de equipamentos atualmente presentes no mercado nacional.

4 – Conclusão do trabalho apresentando observações sobre a atual situação das energias renováveis e a perspectiva para o futuro.

2. ENERGIA CONVENCIONAL

As formas de energias convencionais são aquelas que vem sendo utilizadas ao longo de algum tempo e devido ao conhecimento da tecnologia necessária para sua produção tem o seu uso mais disseminado. As formas de produção de energia convencional são principalmente a hidrelétrica, a térmica e a nuclear. Dentre as energias convencionais podemos citar dois grupos, as renováveis e as não renováveis.

2.1. NÃO RENOVÁVEIS

As energias não renováveis são caracterizadas pelo uso de fontes finitas encontradas na natureza e que em um curto espaço de tempo se esgotarão. Como exemplo dessas fontes podemos citar: o carvão mineral, o petróleo, gás natural e o minério de urânio.

2.1.1. Petróleo

O petróleo é um óleo inflamável, formado a partir da decomposição (durante milhões de anos) de matéria orgânica como plantas, animais marinhos e vegetação típica das regiões alagadiças, e encontrado apenas em terreno sedimentar. A base de sua composição é o hidrocarboneto, substância composta por carbono e hidrogênio, à qual podem se juntar átomos de oxigênio, nitrogênio e enxofre, além de íons metálicos, principalmente de níquel e vanádio. Recentemente foi descoberta no Brasil uma grande reserva de petróleo chamado pré-sal na bacia de Santos. A expectativa é que toda a reserva tenha algo em torno de 30 bilhões de barris. O petróleo tem grande influência mundial, estando presente em praticamente todo setor produtivo, tanto que após essa descoberta o Brasil foi convidado pelo Irã para participar da OPEP – Organização dos Países Exportadores de Petróleo.

2.1.1.1. Reservas de Petróleo

A IEA publicou em 2000 um relatório estimando que as reservas conhecidas seriam suficientes para o abastecimento mundial apenas por mais cerca de 40 anos, se mantidos o ritmo de produção e consumo da época: 74,916 milhões de barris por dia e 76,076 milhões de barris por dia, respectivamente. Por região, o Oriente Médio tem as maiores reservas (61% do total mundial) e é o maior produtor. Na divisão por países, no entanto, logo após a Arábia Saudita, maior produtora mundial com 10,4 milhões de barris por dia, figuram a Rússia com 9,98 milhões de barris por dia

apesar de ter apenas 6,4% das reservas mundiais e os Estados Unidos com 6,9 milhões de barris por dia. Já o Brasil tinha uma produção de 1,8 milhões de barris por dia, e 12,6 bilhões de barris de reservas, as quais devem aumentar significativamente com a recente descoberta de reservas na camada do pré-sal no mar brasileiro. Mas a produção deve aumentar lentamente nos próximos anos isso porque será necessário um alto investimento para a exploração dessas reservas.

2.1.1.2. Geração de Energia Elétrica pelo Petróleo

A geração de energia elétrica mundial pelo petróleo tem diminuído, o que pode ser observada, em destaque, no gráfico da figura 2, isso é devido à busca por fontes alternativas menos agressivas ao meio ambiente, com preços menores e mais estáveis. Um dos motivos dessa queda é ambiental, pois as cadeias produtivas do petróleo e derivados são extremamente agressivas ao meio ambiente, produzindo em várias etapas, como na geração de energia elétrica e no consumo de combustíveis, emissões de gases que contribuem para o efeito estufa. Outro motivo é a perspectiva de esgotamento das reservas hoje existentes em médio prazo. Os derivados mais utilizados são óleo diesel, óleo combustível, gás de refinaria e, com menor frequência, o óleo ultraviscoso, cuja combustão produz o vapor necessário à movimentação das turbinas, na figura 3 pode-se observar a planta de uma usina termoelétrica, que utiliza o petróleo como combustível.

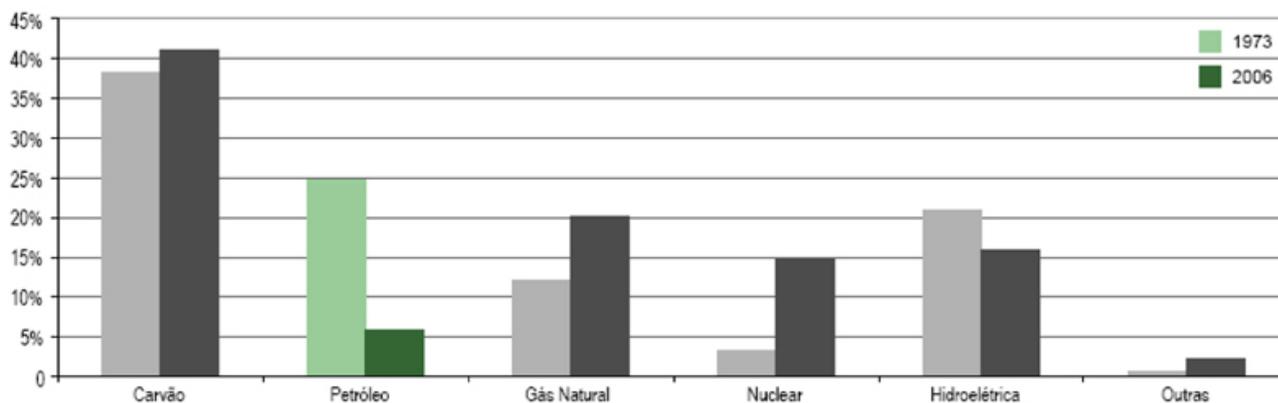


Figura 2. Geração de Energia Elétrica no Mundo Pelo Petróleo Entre 1973 e 2006.

Fonte: Adaptado de Atlas da Energia Elétrica do Brasil – ANEEL (2008).

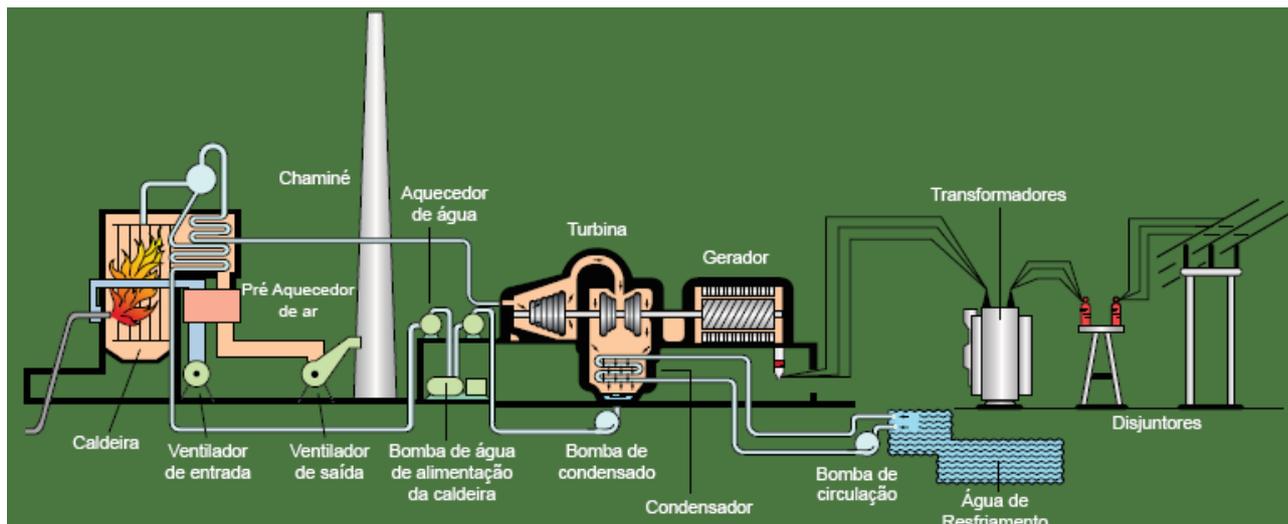


Figura 3. Usina Para Geração de Energia Elétrica Através do Petróleo.
 Fonte: Adaptado de Atlas da Energia Elétrica do Brasil – ANEEL (2008).

2.1.2. Carvão Mineral

O carvão mineral é formado pela decomposição da matéria orgânica (como restos de árvores e plantas) durante milhões de anos, sob determinadas condições de temperatura e pressão. O carvão é composto por átomos de carbono, oxigênio, nitrogênio, enxofre, associados a outros elementos rochosos e minerais. Ele foi uma das primeiras fontes de energia utilizadas em larga escala pelo homem. Sua aplicação na geração de vapor para movimentar as máquinas foi um dos pilares da Primeira Revolução Industrial, iniciada na Inglaterra no século XVIII. Já no fim do século XIX, o vapor foi aproveitado na produção de energia elétrica. Ao longo do tempo, contudo, o carvão perdeu espaço na matriz energética mundial para o petróleo e o gás natural, com o desenvolvimento dos motores a explosão.

2.1.2.1. Reservas de Carvão Mineral

O carvão é o combustível fóssil com a maior disponibilidade do mundo. As reservas totalizam 847,5 bilhões de toneladas, quantidade suficiente para atender a produção atual por 130 anos. Diferentemente do petróleo e do gás natural, as reservas de carvão não estão concentradas em poucas regiões. As reservas são bem distribuídas pelos continentes sendo sua maior concentração no hemisfério norte. São encontradas em quantidades expressivas em 75 países, sendo que três deles – Estados Unidos (28,6%), Rússia (18,5%) e China (13,5%) – concentram mais de 60% do volume total. No Brasil as maiores reservas estão nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina e

menores reservas no Paraná e em São Paulo. As reservas brasileiras totalizam 23 bilhões de toneladas de carvão, mesmo assim o Brasil importa anualmente 12 milhões de toneladas de carvão siderúrgico. No entanto, uso energético do carvão mineral ainda é bastante restrito, representando apenas 6,6% da matriz energética brasileira. Entre outras restrições, os altos teores de cinza e enxofre (da ordem de 50% e 2,5%, respectivamente) são os principais responsáveis pelo baixo índice de aproveitamento do carvão no Brasil.

2.1.2.2. Geração de Energia Elétrica pelo Carvão Mineral.

O carvão é a fonte mais utilizada para geração de energia elétrica no mundo, conforme mostrado no gráfico da figura 4, respondendo por 41% da produção total graças a sua grande e pulverizada oferta e o comportamento dos preços é outra vantagem competitiva, a *commodity* do carvão registrou movimentos suaves ao longo dos últimos dez anos. A principal restrição à utilização do carvão é o forte impacto sócio ambiental provocado em todas as etapas do processo de produção e também no consumo. A extração, por exemplo, provoca a degradação das áreas de mineração. A combustão é responsável por emissões de gás carbônico (CO₂). Projetos de mitigação e investimentos em tecnologia (*clean coal technologies*) estão sendo desenvolvidos para amenizar este quadro.

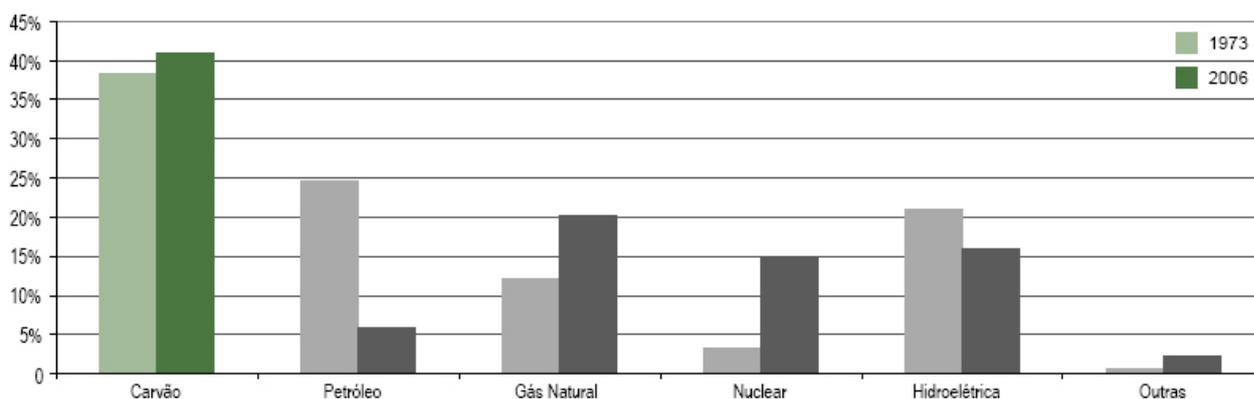


Figura 4. Geração de Energia Elétrica no Mundo Pelo Carvão Mineral Entre 1973 e 2006.
Fonte: Adaptado de Atlas da Energia Elétrica do Brasil – ANEEL (2008).

2.1.3. Gás Natural

O gás natural é um hidrocarboneto resultante da decomposição da matéria orgânica durante milhões de anos. É encontrado no subsolo, em rochas porosas isoladas do meio ambiente por uma camada impermeável. Em suas primeiras etapas de decomposição, esta matéria orgânica de origem animal produz o petróleo e em seus últimos estágios de degradação, o gás natural. Por isso, é comum a descoberta do gás natural tanto associado ao petróleo quanto em campos isolados (gás natural não associado). A maior parte da produção do gás natural é utilizada nas indústrias como matéria-prima.

2.1.3.1. Reservas de Gás Natural

As reservas de gás natural na região das Américas Central e do Sul não são significativas, elas correspondem por apenas 4,4% do total da reserva mundial e se mantiveram praticamente inalteradas ao longo dos últimos 20 anos. Levando em consideração a relação de produção e consumo os recursos existentes são suficientes para cerca de 50 anos. Os maiores produtores são Argentina (44,8 bilhões de m³ em 2007), Trinidad & Tobago (39 bilhões de m³), Venezuela (28,5 bilhões de m³) e Bolívia (13,5 bilhões de m³). A participação individual de cada um desses países na oferta mundial de gás natural é pouco expressiva: oscila em torno de 1%. A importância da produção, portanto, é regional. (ANEEL, 2008).

As reservas de gás naturais no Brasil correspondem à cerca de 0,2% da reserva mundial sendo suficiente para abastecer o país por aproximadamente 32 anos. Levando em consideração que a maior parte dessa reserva está associada ao petróleo e encontra-se em alto mar, é preciso um grande investimento para sua exploração.

2.1.3.2. Geração de Energia por Gás Natural

No Brasil, o gás natural apresenta-se hoje de forma ainda discreta, não respondendo por mais de 5% da atual matriz energética nacional. As metas governamentais apontam para a faixa de 10-12% nos próximos 5 anos, em razão do amplo programa de massificação do uso do gás, que levará o produto à quase todos os estados da federação.

Uma característica do mercado do gás natural é o aquecido comércio internacional. De um lado ela favorece a expansão do consumo mas de outro o país comprador acaba subordinado à política externa do país fornecedor, o que causa uma certa insegurança com relação ao

fornecimento. Um exemplo foi à redução dos volumes de gás natural enviado ao Brasil por Bolívia e Argentina a partir de 2007, que comprometeram a operação de várias termelétricas abastecidas pelo combustível em um período de seca – quando, portanto, era crucial preservar a água dos reservatórios. Outras características são os baixos índices de emissão de poluentes, em comparação a outros combustíveis fósseis, uma rápida dispersão em caso de vazamentos, os baixos índices de odor e de contaminantes. A figura 6 mostra uma usina termoeletrica que utiliza o gás natural como matéria prima.

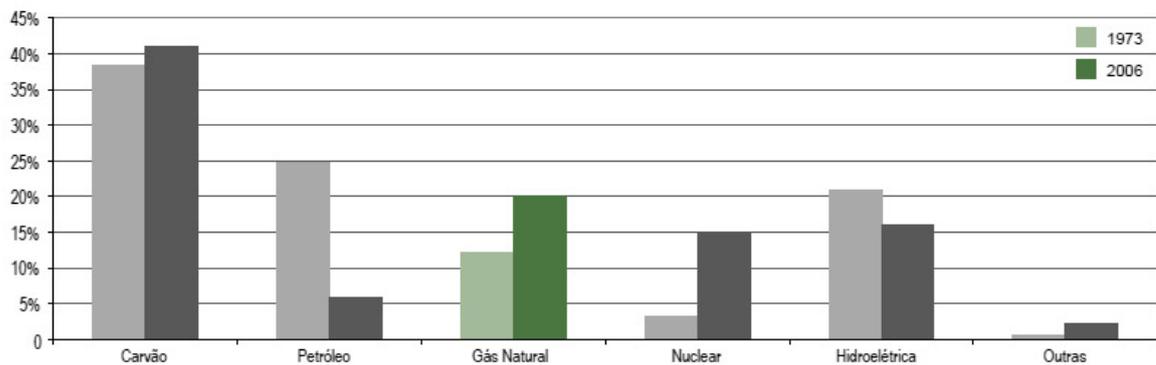


Figura 5. Geração de Energia Elétrica no Mundo Pelo Gás Natural Entre 1973 e 2006.
 Fonte: Adaptado de Atlas da Energia Elétrica do Brasil – ANEEL (2008).

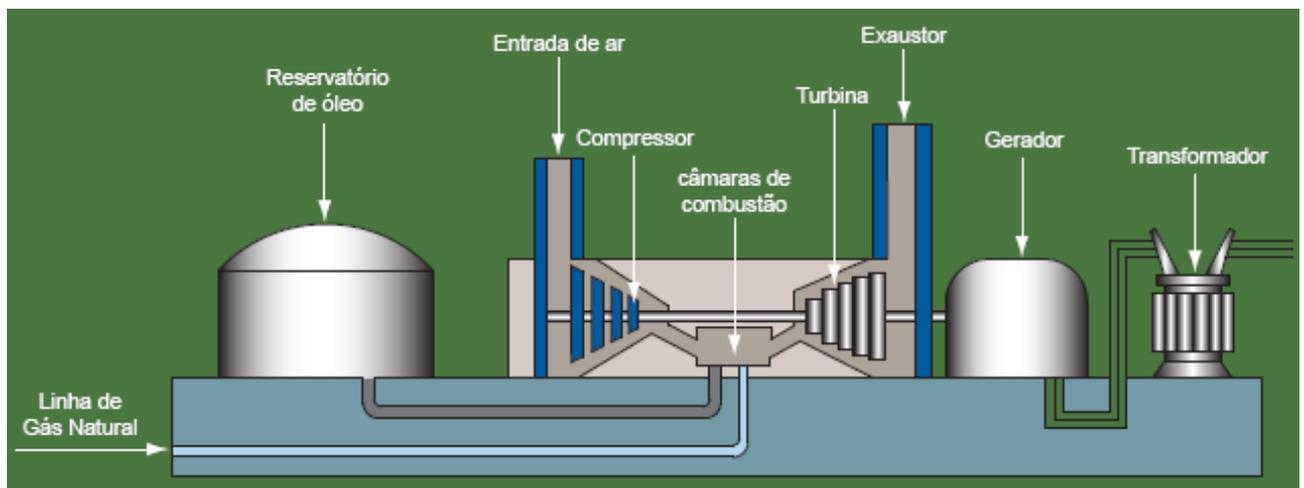


Figura 6. Geração de energia elétrica pelo Carvão Mineral.
 Fonte: Adaptado de Atlas da Energia Elétrica do Brasil – ANEEL (2008).

2.1.4. Energia Nuclear

2.1.4.1. O Minério de Urânio

A matéria-prima para a produção da energia nuclear é o minério de urânio, encontrado em estado natural nas rochas da crosta terrestre. Desse minério é extraído o átomo de urânio utilizado na geração nuclear.

2.1.4.2. Reservas de Minério de Urânio

Em 2007 essas reservas totalizaram 4,6 milhões de toneladas distribuídas por 14 países, com destaque para a Austrália, Cazaquistão e Canadá que, juntos, respondem por mais de 50% do volume total. No Brasil, apenas 25% do território foi prospectado em busca do minério. Ainda assim, o país ocupa o 7º lugar do *ranking*, com 278,7 mil toneladas em reservas conhecidas e correspondentes a cerca de 6% do volume total mundial. As jazidas estão localizadas principalmente na Bahia, Ceará, Paraná e Minas Gerais, conforme informações das Indústrias Nucleares do Brasil (INB). A principal delas, em Caetité, Bahia, possui 100 mil toneladas, volume suficiente para abastecer o complexo nuclear de Angra I, II e III por 100 anos. (ANEEL, 2008).

2.1.4.3. Produção de Energia Nuclear

Aproximadamente 439 reatores nucleares, distribuídos por 31 países, estavam em operação em todo o mundo no ano de 2007. Os Estados Unidos concentravam o maior número de unidades (104), mas foi a França, com 59 reatores, que demonstrou maior dependência da produção nuclear: 76,85% da energia total produzida. No Brasil existem duas usinas nucleares em operação e estão localizadas no estado do Rio de Janeiro, são as usinas Angra I e II e uma terceira usina, a Angra III está prevista para entrar em funcionamento em 2014. Com isto, a participação da capacidade nuclear instalada no Brasil deve passar de 1,98% (2,007 GW) para 2,5% (3,357 GW) da capacidade instalada total, considerando que esta última terá um crescimento anual de 4% passando de 103 GW (2008) para 130 GW em 2014 (ANEEL, 2008).

Alguns dos maiores problemas da produção de energia elétrica pelo minério de urânio são o processo de enriquecimento que é um processo custoso, dominado por poucos países e de forma sigilosa, pois o minério enriquecido pode também ser usado em armas nucleares; e a destinação dos resíduos desta usina, mostrada na figura 8, que além tóxicos são radioativos, devendo ser armazenados de forma muito rigorosa.

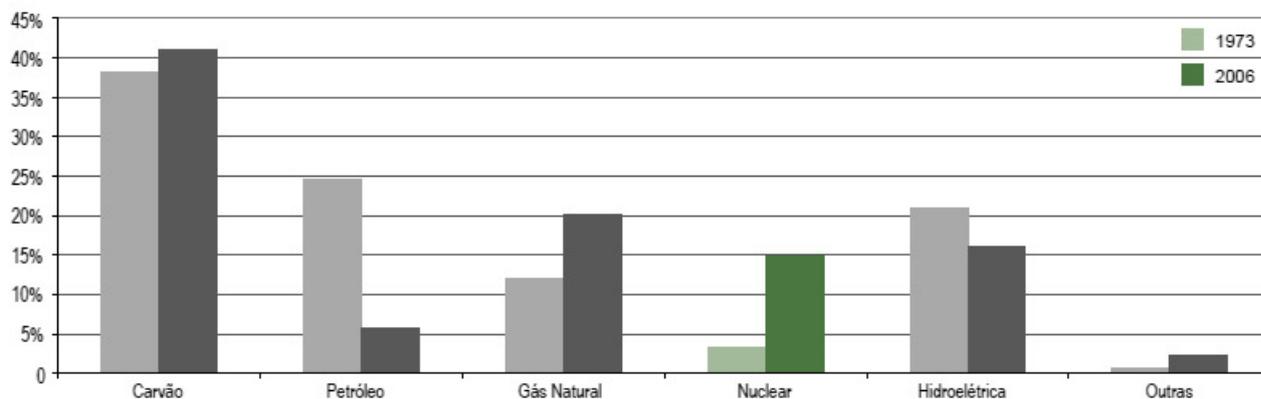


Figura 7. Geração de Energia Elétrica Nuclear no Mundo Entre 1973 e 2006.

Fonte: Adaptado de Atlas da Energia Elétrica do Brasil – ANEEL (2008).

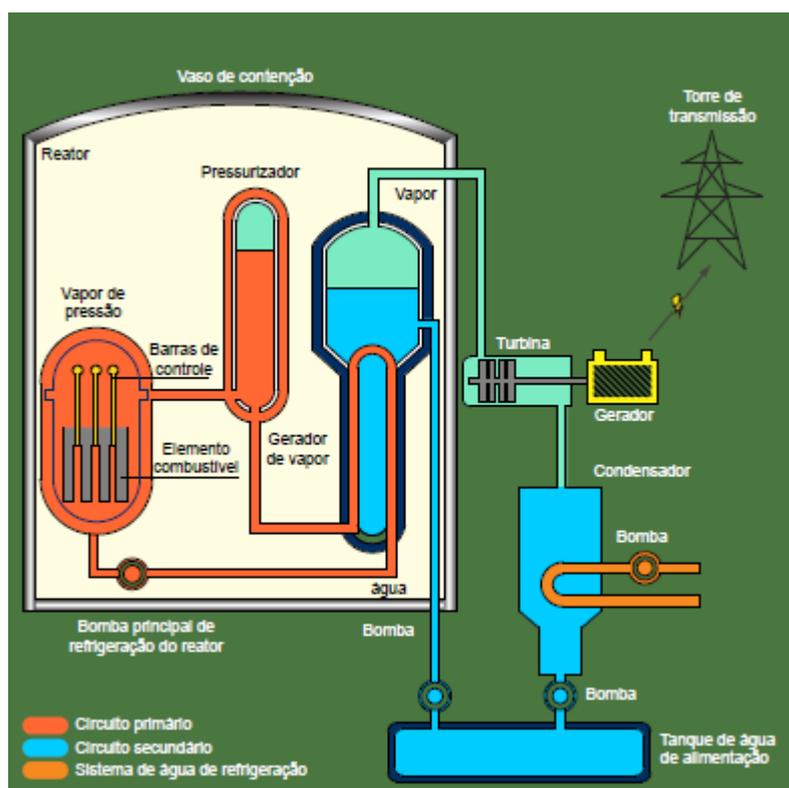


Figura 8. Perfil Esquemático de uma Usina Nuclear.

Fonte: Adaptado de Atlas da Energia Elétrica do Brasil – ANEEL (2008).

2.2. RENOVÁVEIS

A energia renovável é aquela que mesmo depois de utilizada para a obtenção de energia pode vir a ser reutilizada, como é o caso da energia proveniente das barragens das hidrelétricas e de fontes como o vento ou a luz solar.

2.2.1. Energia Hidráulica

2.2.1.1. Usinas Hidrelétricas

Foi no reinado de Dom Pedro II, que o Brasil construiu a primeira hidrelétrica, no município de Diamantina, utilizando as águas do Ribeirão do Inferno, afluente do rio Jequitinhonha, com 0,5 MW de potência e linha de transmissão de dois quilômetros.

Desde então o sistema brasileiro cresceu e vem operando de forma coordenada, buscando dessa forma minimizar os custos globais de produção de energia elétrica. Um dos destaques no Brasil é a Usina Hidrelétrica de Itaipu Binacional (empreendimento desenvolvido pelo Brasil e Paraguai no rio Paraná.), chegando a produção de aproximadamente 14 mil MW, através de 19 unidades geradoras de 700 MW. Conforme dados da Itaipu Binacional, a usina atingiu em 2006 a segunda maior produção de energia de sua história, cerca de 92.689.936 Megawatts por hora.

As principais variáveis utilizadas na classificação de uma usina hidrelétrica são: altura da queda d'água, vazão, capacidade ou potência instalada, tipo de turbina empregada, localização, tipo de barragem e reservatório. Todos são fatores interdependentes, a altura da queda d'água e a vazão dependem do local de construção e determinam qual será a capacidade instalada - que, por sua vez, determina o tipo de turbina, barragem e reservatório. Existem dois tipos de reservatórios: acumulação e fio d'água. A figura 10 mostra uma usina hidrelétrica do tipo reservatório.

Os primeiros, geralmente localizados na cabeceira dos rios, em locais de altas quedas d'água, dado o seu grande porte permitem o acúmulo de grande quantidade de água e funcionam como estoques a serem utilizados em períodos de estiagem. Além disso, como estão localizados a montante das demais hidrelétricas, regulam a vazão da água que irá fluir para elas, de forma a permitir a operação integrada do conjunto de usinas. As unidades a fio d'água geram energia com o fluxo de água do rio, ou seja, pela vazão com mínimo ou nenhum acúmulo do recurso hídrico.

2.2.1.2. Reservas de Água

A água é o recurso natural mais abundante na natureza, com um volume estimado de 1,36 bilhão de quilômetros cúbicos, está sobre 2/3 da superfície da Terra em forma de oceanos, calotas polares, rios e lagos, sendo renovável através do ciclo das chuvas, transformando-se em vapor que se condensa em nuvens, que retornam à superfície terrestre sob a forma de chuva.

Mas nem toda água do planeta é de fácil utilização para a geração de energia elétrica, uma vez que a maior parte se encontra nos oceanos e o restante da água doce nem sempre está em condições ideais de uso, como em quedas naturais de rios com grande vazão para ser utilizada nas usinas hidrelétricas. Sendo assim vemos que apesar do grande volume de água no planeta, pouca parte deste total pode ser aproveitada de forma adequada.

2.2.1.3. Geração de Energia por Hidrelétricas

De acordo com o último relatório Key World Energy Statistics feito pela Agência Internacional de Energia (IEA) e publicado em 2008, que analisou dados colhidos entre 1973 e 2006, a participação da água na matriz energética mundial é pouco expressiva e decrescente, mesmo com o imenso volume de água existente. No mesmo período, a posição na matriz da energia elétrica sofreu recuo acentuado, inferior à do carvão e à do gás natural, ambos combustíveis fósseis não-renováveis, cuja combustão é caracterizada pela liberação de gases na atmosfera e sujeitos a um possível esgotamento das reservas no médio e longo prazo. Um dos fatores que contribuíram para essa queda relaciona-se às características de distribuição da água na superfície terrestre como citado no item acima.

No Brasil a geração de energia hidráulica tem grande destaque, de acordo com o Banco de Informações da Geração (BIG) da ANEEL, em novembro de 2008, existiam em operação 227 CGH, com potência total de 120 MW, 320 PCH com 2,4 mil MW de potência instalada, e 159 UHE com uma capacidade total instalada de 74,632 mil MW. Em novembro de 2008, as usinas hidrelétricas, independentemente de seu porte, responderam por 75,68% da potência total instalada no país, de 102,262 mil MW. No passado, o parque hidrelétrico chegou a representar 90% da capacidade instalada. Esta redução tem três razões. Primeira, a necessidade da diversificação da matriz elétrica prevista no planejamento do setor elétrico de forma a aumentar a segurança do abastecimento. Segunda, a dificuldade em ofertar novos empreendimentos hidráulicos pela ausência da oferta de estudos e inventários. A terceira, o aumento de entraves jurídicos que protelam o

licenciamento ambiental de usinas de fonte hídrica e provoca o aumento constante da contratação em leilões de energia de usinas de fonte térmica, a maioria que queimam derivados de petróleo ou carvão.

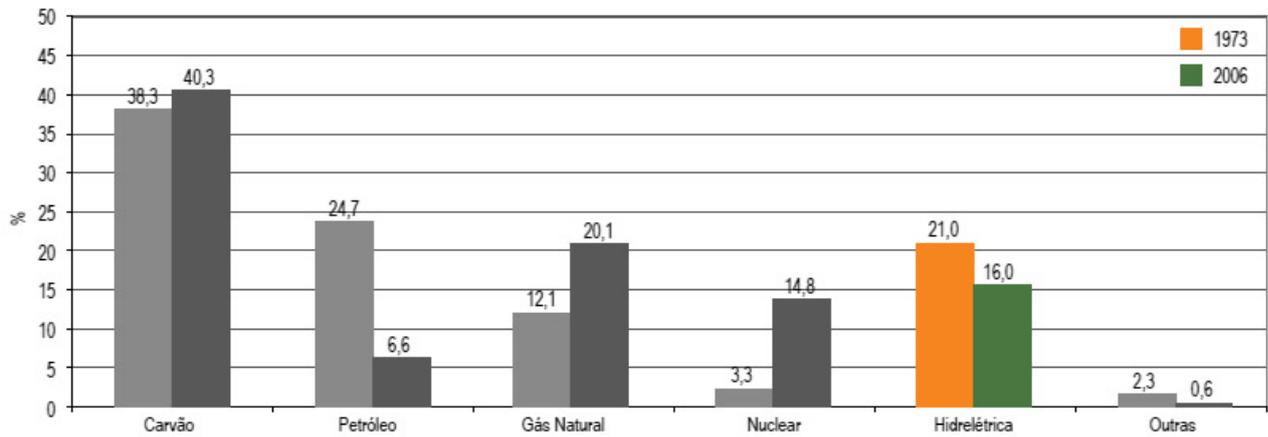


Figura 9. Geração de Energia Elétrica no Mundo Por Hidrelétrica Entre 1973 e 2006.

Fonte: Adaptado de Atlas da Energia Elétrica do Brasil – ANEEL (2008).

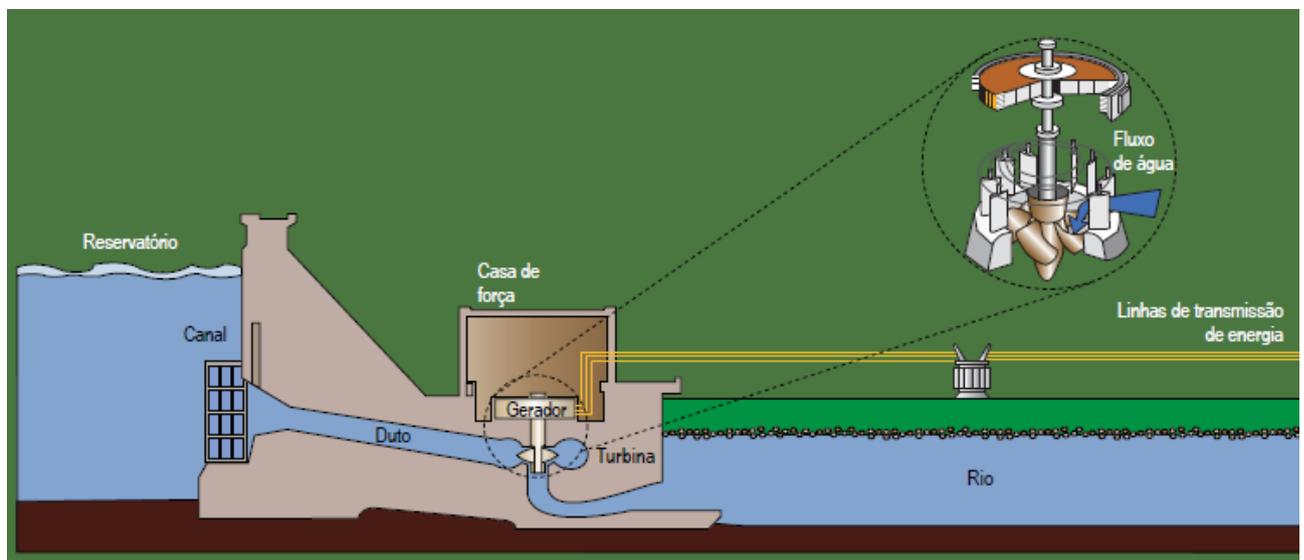


Figura 10. Esquema de Uma Usina Hidrelétrica.

Fonte: Adaptado de Atlas da Energia Elétrica do Brasil – ANEEL (2008).

2.2.2. Energia Solar

A energia solar chega a Terra nas formas térmica e luminosa, sua irradiação por ano na superfície da Terra é suficiente para atender milhares de vezes o consumo anual de energia do mundo. Essa radiação, porém, não atinge de maneira uniforme toda a crosta terrestre. Depende da latitude, da estação do ano e de condições atmosféricas como nebulosidade e umidade relativa do ar. Ao passar pela atmosfera terrestre, a maior parte da energia solar manifesta-se sob a forma de luz visível de raios infravermelhos e de raios ultravioleta. É possível captar essa luz e transformá-la em alguma forma de energia utilizada pelo homem: térmica ou elétrica.

São os equipamentos utilizados nessa captação que determina qual será o tipo de energia a ser obtida. O efeito fotovoltaico, relatado por Edmond Becquerel, em 1839, é o aparecimento de uma diferença de potencial nos extremos de uma estrutura de material semicondutor, produzida pela absorção da luz. A célula fotovoltaica é a unidade fundamental no processo de conversão, através de várias células se forma um painel fotovoltaico. Para a produção de energia elétrica existem dois sistemas: o heliotérmico e o fotovoltaico. No primeiro, a irradiação solar é convertida em calor que é utilizado em usinas termelétricas para a produção de eletricidade. O processo completo compreende quatro fases: coleta da irradiação, conversão em calor, transporte e armazenamento e, finalmente, conversão em eletricidade. Para o aproveitamento da energia heliotérmica é necessário um local com alta incidência de irradiação solar direta, o que implica em pouca intensidade de nuvens e baixos índices pluviométricos, como ocorre no semi-árido brasileiro.

2.2.2.1. Painéis Fotovoltaicos

O material que é empregado na fabricação nas células fotovoltaicas dos painéis é um material semicondutor, as células possuem pelo menos duas camadas de semicondutores: uma positivamente carregada e outra negativamente carregada, formando uma junção elétrica. Quando a luz do sol atinge o semicondutor na região dessa junção, o campo elétrico existente permite o estabelecimento do fluxo elétrico, e dá início ao fluxo de energia na forma de corrente contínua. Quanto maior a intensidade de luz, maior o fluxo de energia elétrica. Um sistema fotovoltaico não precisa do brilho do sol para operar, podendo também gerar eletricidade em dias nublados.

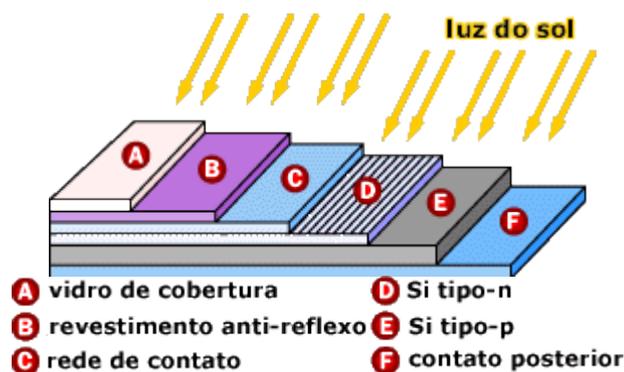


Figura 11. A Estrutura Básica de uma Célula Fotovoltaica de Silício.

Fonte: Adaptado de How Stuff Works (2000).

O material mais comum na fabricação das células fotovoltaicas é o silício por causa da sua estrutura atômica. Um átomo de silício tem 14 elétrons, organizados em três camadas diferentes. As duas primeiras camadas, aquelas mais próximas do centro, estão completamente cheias. Já a camada mais externa é preenchida pela metade, tendo apenas quatro elétrons que se ligam aos átomos vizinhos, formando uma rede cristalina. Um átomo de silício sempre tem a tendência de completar até sua última camada, que gostaria de ter oito elétrons, para fazer isso, ele vai partilhar os elétrons com quatro de seus átomos vizinhos de silício.

Acabamos de descrever o silício cristalino puro. O silício puro é um mal condutor de eletricidade, porque nenhum de seus elétrons está livre para se mover. Bons condutores, como o cobre, têm elétrons livres. No silício os elétrons estão todos presos à estrutura cristalina. O silício em uma célula solar é levemente modificado para que a célula conduza. Ao adicionar átomos com cinco elétrons de ligação, como o fósforo, por exemplo, haverá um elétron em excesso que não poderá ser combinado e que ficará de sobra, fracamente ligado a seu átomo de origem. Isto faz com que mesmo com pouca energia térmica, este elétron se solte, indo para a banda de condução. Diz-se assim, que o fósforo é um dopante doador de elétrons e denomina-se dopante n ou impureza n.

Este fluxo de elétrons gera uma corrente elétrica que é captada colocando contatos de metal na parte superior e na parte inferior da célula fotovoltaica, esta corrente pode ser drenada para usá-la externamente. Quando energia é adicionada ao silício puro, por exemplo, na forma de calor, ela pode causar a liberação de alguns elétrons de suas ligações, e eles deixam seus átomos. Uma lacuna é deixada para trás em cada caso. Estes elétrons, então, vagam aleatoriamente ao redor da distribuição dos átomos do cristalino, procurando outro lugar para se encaixar. Esses elétrons são

chamados de portadores livres e podem carregar a corrente elétrica. O processo de adicionar impurezas de propósito é chamado de dopagem, e quando "dopado" com fósforo o silício resultante é chamado tipo-N (negativo) por causa do predomínio dos elétrons livres. O silício dopado tipo-N é um condutor muito melhor do que o silício puro.

Apenas parte da nossa célula solar é tipo-N. A outra parte é dopada com boro (que tem apenas três elétrons, em vez de quatro, em sua camada mais externa) para se tornar um silício do tipo-P. Em vez de ter elétrons livres, o silício tipo-P (positivo) tem lacunas livres. As lacunas, na verdade é a ausência de elétrons, então eles possuem carga oposta. O efeito começa quando você coloca o silício tipo-N junto com o silício tipo-P.

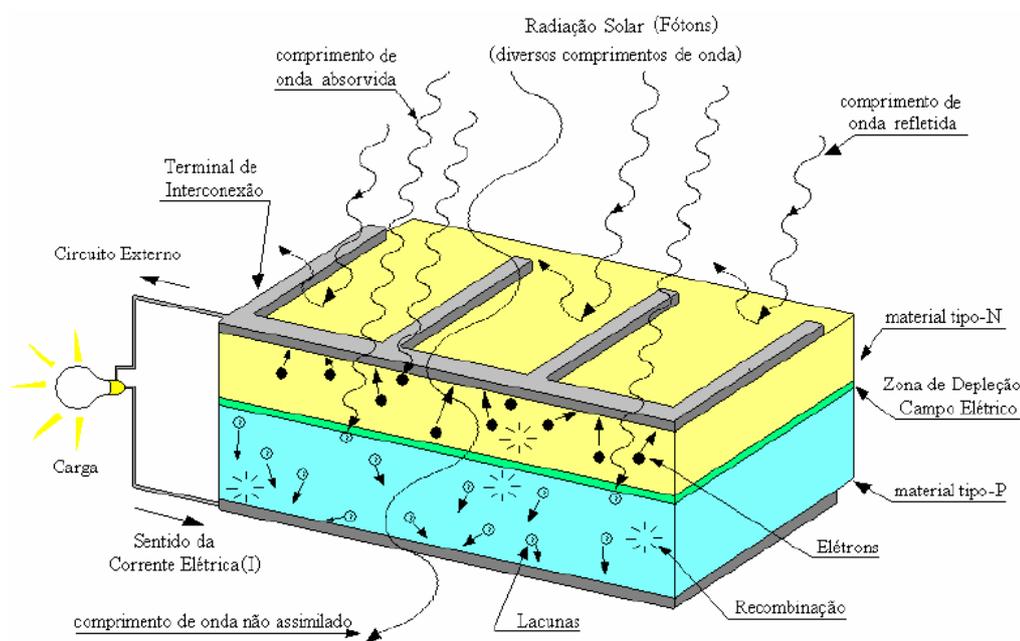


Figura 12. Modelo Funcional da Célula Fotovoltaica.
 Fonte: Adaptado de Almir Ghensev (2006).

Na junção eles se misturam formando uma barreira, dificultando cada vez mais para os elétrons no lado N atravessarem para o lado P. Finalmente, o equilíbrio é alcançado e temos um campo elétrico separando os dois lados. Este campo elétrico atua como um diodo, permitindo (e mesmo empurrando) os elétrons para fluírem do lado P para o lado N, mas não ao contrário. Então, conseguimos um campo elétrico atuando como um diodo no qual os elétrons apenas podem se mover em um sentido.

Quando a luz, na forma de fótons, atinge nossa célula solar, sua energia libera os pares de elétrons e prótons. Cada fóton tem energia suficiente para liberar exatamente um elétron, resultando em um espaço vazio também. Se isto acontece muito perto do campo elétrico, ou se acontecer do elétron livre e do espaço livre estarem na região de influência do campo, ele enviará o elétron para o lado N e a lacuna para o lado P. Isto causa ruptura inicial da neutralidade elétrica e, se fornecermos um caminho externo para a corrente, os elétrons fluirão, através deste caminho, para seu lado original (P) para unirem-se com as lacunas que o campo elétrico enviou para lá, alimentando uma carga ao longo do caminho. O fluxo de elétrons fornece a corrente e o campo elétrico das células causa uma voltagem. O silício é um material muito brilhante e, portanto, reflete muito. Os fótons que são refletidos não podem ser usados pela célula. Por esta razão, um revestimento anti-reflexo é aplicado no topo da célula para reduzir a perda de reflexo para menos de 5%.

A etapa final é a placa de cobertura de vidro que protege a célula dos fenômenos atmosféricos. Os módulos são feitos pela conexão de várias células em série e em paralelo para atingir níveis úteis de voltagem e corrente.

2.2.2.2. Rendimento da célula solar

A luz visível é parte do espectro eletromagnético. A radiação eletromagnética não é monocromática, é composta de uma variação de comprimentos de onda diferentes e conseqüentemente de níveis de energias diferentes. A luz que atinge a célula tem fótons com uma grande variedade de energia, alguns não possuem energia suficiente para mover um elétron. Somente uma certa quantidade de energia, medida em elétron-volts (eV) e definida pelo material da célula (cerca de 1,1 eV para o silício cristalino), é requerida para arrancar um elétron. Chamamos isso de energia de espaçamento entre as bandas de um material. Se um fóton tem mais energia do que a quantidade necessária, então a energia extra é perdida. Estes dois efeitos sozinhos são responsáveis pela perda de cerca de 70% da energia de radiação incidente na célula solar.

Um material com um espaçamento entre as bandas realmente baixo para que possamos usar mais fótons não pode ser utilizado, pois o espaçamento determina a intensidade (voltagem) do campo elétrico, e se este for muito baixo, teremos uma voltagem baixa. O espaçamento ideal entre as bandas, balanceando estes dois efeitos, está em torno de 1,4 eV para uma célula de um único material. Também há outras perdas e estas somadas as descritas acima levam a placa solar a ter um rendimento médio de 20%.

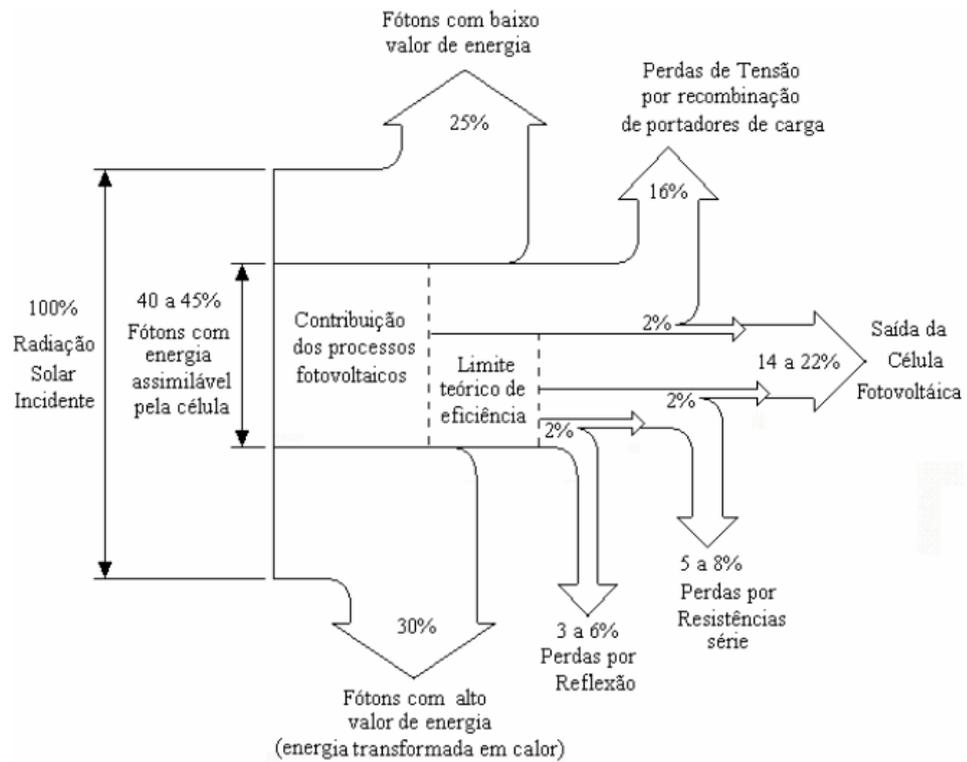


Figura 13. Perdas na Célula Solar.
 Fonte: Adaptado de Almir Ghensev (2006).

2.2.2.3. Módulos Fotovoltaicos

Para se formar um sistema solar, geralmente é necessário à utilização de mais de um painel solar por conta da baixa tensão e corrente de saída em uma única célula fotovoltaica, assim agrupam-se várias células formando um módulo, que podem ser arranjos em série ou em paralelo.

Ao conectar as células em paralelo, somam-se as correntes de cada módulo e a tensão do módulo é exatamente a tensão da célula. A corrente produzida pelo efeito fotovoltaico é contínua. Pelas características típicas das células (corrente máxima por volta de 3A e tensão muito baixa, em torno de 0,7V) este arranjo não é muito utilizado.

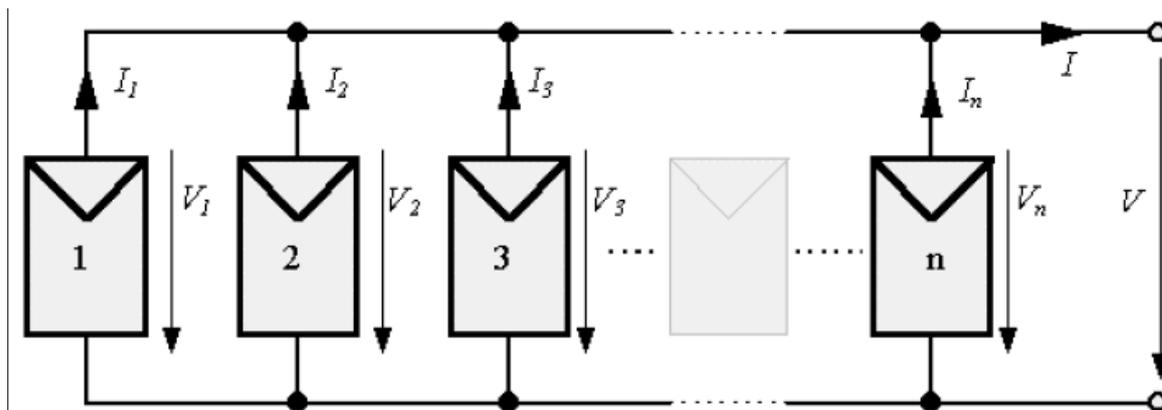


Figura 14. Ligação em Paralelo de Painéis Solares.
 Fonte: Adaptado de Energia Solar – Princípios e Aplicações CRESCESB (2003).

A conexão mais utilizada das células fotovoltaicas é o arranjo em série, que consiste em agrupar o maior número de células, onde então, se somam as tensões de cada célula chegando a um valor final de 12V o que possibilita a carga de baterias que também funcionam na faixa dos 12V.

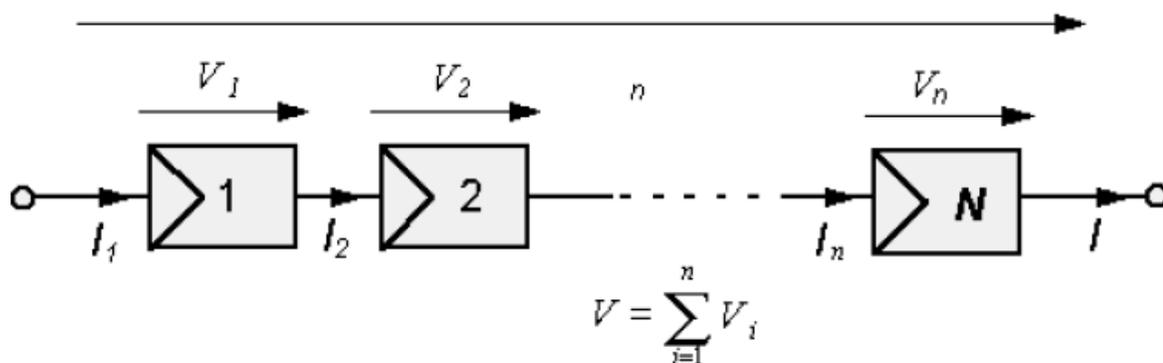


Figura 15. Ligação em Série de Painéis Solares.
 Fonte: Adaptado de Energia Solar – Princípios e Aplicações CRESCESB (2003).

Quando uma célula fotovoltaica dentro de um módulo, por algum motivo, estiver encoberta a potência de saída do módulo sofrerá uma queda drástica e que por estar ligada em série, comprometerá todo o funcionamento das demais células no módulo. Para que toda a corrente de um módulo não seja limitada por uma célula de pior desempenho, usa-se um diodo de passo ou “bypass”. Este diodo serve como um caminho alternativo para a corrente e limita a dissipação de

calor na célula defeituosa. Geralmente o uso do diodo bypass é feito em grupamentos de células o que, torna muito mais barato comparado ao custo de se conectar um diodo em cada célula.

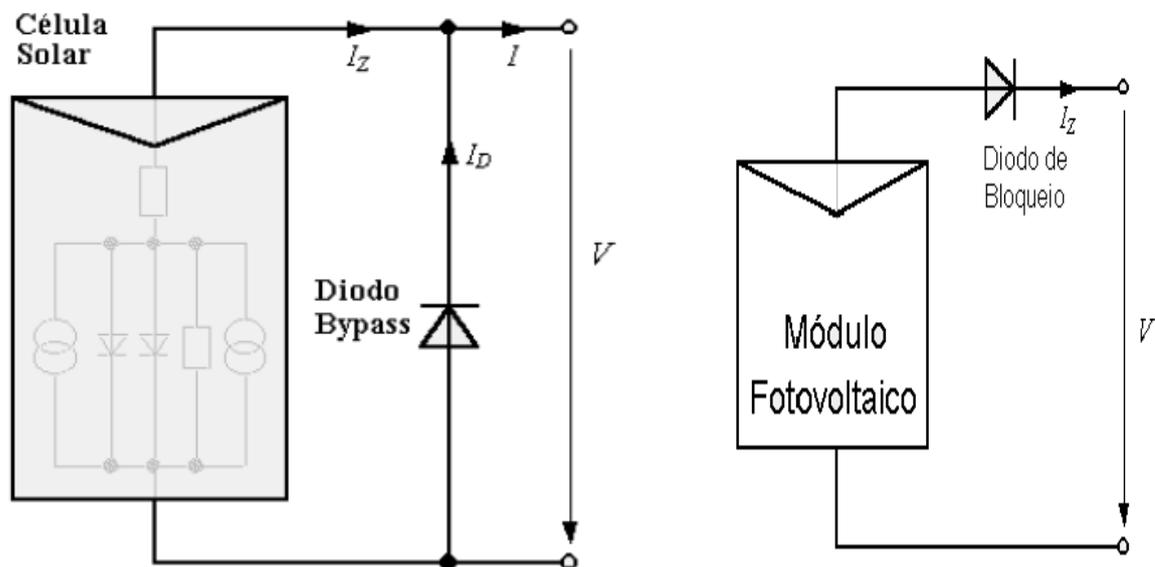


Figura 16. Aplicação do diodo Bypass e diodo de bloqueio.

Fonte: Adaptado de Energia Solar – Princípios e Aplicações CRESCESB (2003).

Um outro problema que pode ocorrer é quando surge uma corrente negativa fluindo pelas células ou seja, ao invés de gerar corrente o módulo passa a receber. Esta corrente pode causar queda na eficiência das células e em um caso mais drástico, a célula pode ser desconectada do arranjo causando assim a perda total do fluxo de energia do módulo. Para evitar esses problemas, usa-se um diodo de bloqueio impedindo assim correntes reversas que podem ocorrer caso liguem o módulo diretamente em um acumulador.

2.2.2.4. Classificação dos sistemas fotovoltaicos

Um sistema fotovoltaico pode ser classificado em três categorias distintas: sistemas isolados, híbridos e conectados a rede. Os sistemas obedecem a uma configuração básica onde o sistema deverá ter uma unidade de controle de potência e também uma unidade de armazenamento.

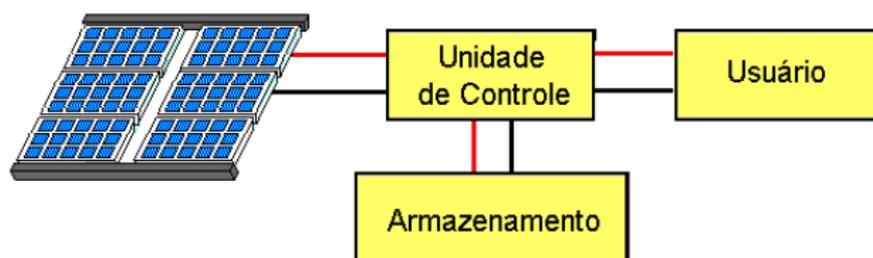


Figura 17. Esquema Básico de um Sistema Solar.

Fonte: Adaptado de Energia Solar – Princípios e Aplicações CRESCESB (2003).

Sistemas isolados, em geral, utiliza-se de alguma forma de armazenamento de energia que pode ser feito através de baterias. Para isso é utilizado um dispositivo para controlar a carga e a descarga na bateria, chamado de controlador de carga e tem como principal função não deixar que haja danos na bateria por sobrecarga ou descarga profunda. O controlador de carga é usado em sistemas pequenos, onde os aparelhos utilizados são de baixa tensão e corrente contínua (CC). Para alimentação de equipamentos de corrente alternada (CA) é necessário o uso de um inversor. Este sistema é usado quando se deseja mais conforto na utilização de eletrodomésticos convencionais.

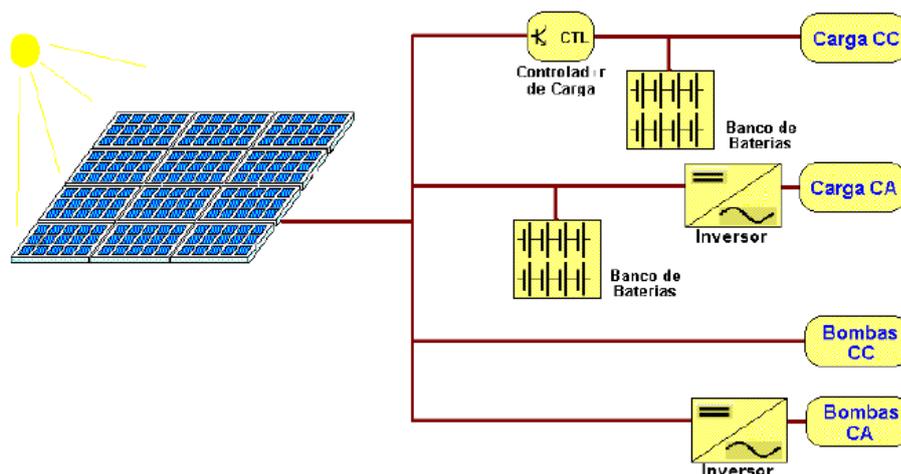


Figura 18. Sistemas Isolados Usuais e Cargas.

Fonte: Adaptado de Energia Solar – Princípios e Aplicações CRESCESB (2003).

Sistemas híbridos são aqueles que são desconectados da rede convencional, apresenta várias fontes de geração de energia como por exemplo: turbinas eólicas, geração diesel, módulos

fotovoltaicos entre outras. Sua implementação é complexa e envolve um estudo particular para cada caso, pois envolve vários tipos de fontes sendo necessário um controle de todas as fontes para que haja máxima eficiência na entrega da energia para o usuário. Em geral, os sistemas híbridos são empregados para sistemas de médio a grande porte vindo a atender um número maior de usuários. Por trabalhar com cargas de corrente contínua, o sistema híbrido também apresenta um inversor.

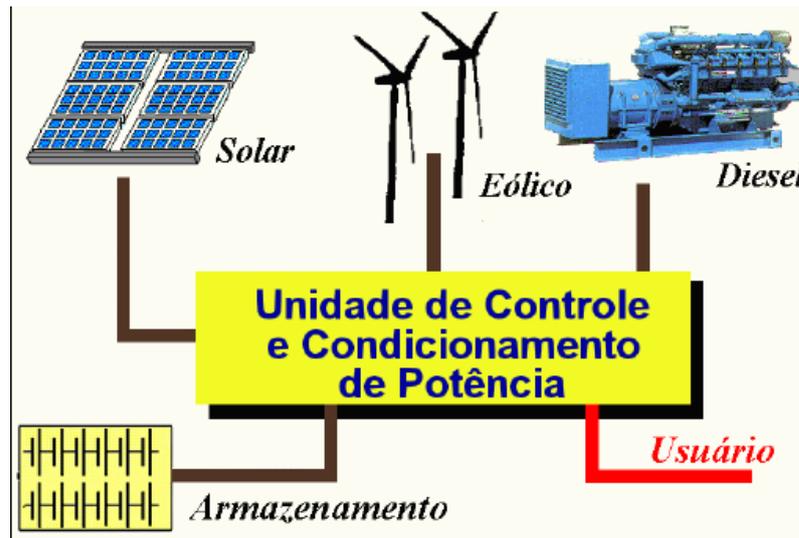


Figura 19. Esquema de um Sistema Híbrido.

Fonte: Adaptado de Energia Solar – Princípios e Aplicações CRESCESB (2003).

Os sistemas interligados a rede utilizam grandes números de painéis fotovoltaicos e não se utiliza armazenamento de energia pois toda a geração é entregue diretamente na rede. Este sistema representa uma fonte complementar ao sistema elétrico de grande porte ao qual esta conectada. Todo o arranjo é conectado em inversores e logo em seguida guiados diretamente na rede. Estes inversores devem satisfazer as exigências de qualidade e segurança para que a rede não seja afetada.

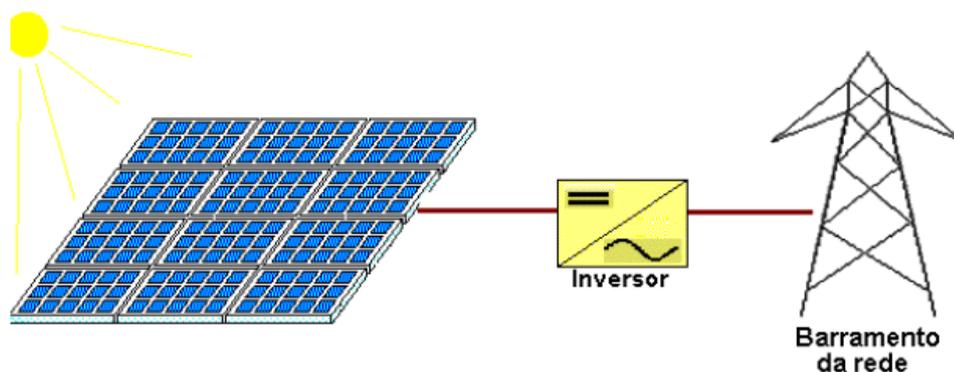


Figura 20. Sistema Conectado à Rede.

Fonte: Adaptado de Energia Solar – Princípios e Aplicações CRESCESB (2003).

2.2.2.5. Dados Meteorológicos

Primeiramente devemos saber em qual posição o painel fotovoltaico deve ser instalado, para que haja um melhor aproveitamento da energia solar. Nesta etapa são utilizados instrumentos para medir a radiação solar, que geram um histórico dessas medidas, o que indica a viabilidade de instalações de sistemas térmicos e fotovoltaicos em uma determinada região, garantindo o máximo aproveitamento ao longo do ano uma vez que a variação da intensidade da radiação solar sofre significativas alterações.

De acordo com as normas preestabelecidas pela OMM (Organização Mundial de Meteorologia) são determinados limites de precisão para quatro tipos de instrumentos: de referência ou padrão, instrumentos de primeira, segunda e terceira classe. As medições padrões são: radiação global e difusa no plano horizontal e radiação direta normal.

Os dados meteorológicos dão uma média mensal de níveis de raios solares para áreas geográficas diferentes. Eles levam em consideração também as chuvas e os dias nublados, bem como a altura e umidade relativa do ar. O planejamento deve ser feito com base nos dados obtidos para o pior mês, para assim ter eletricidade o suficiente para o ano inteiro. Com esses dados, e sabendo sua demanda média é possível determinar exatamente quantos módulos serão necessários para suprir a demanda.

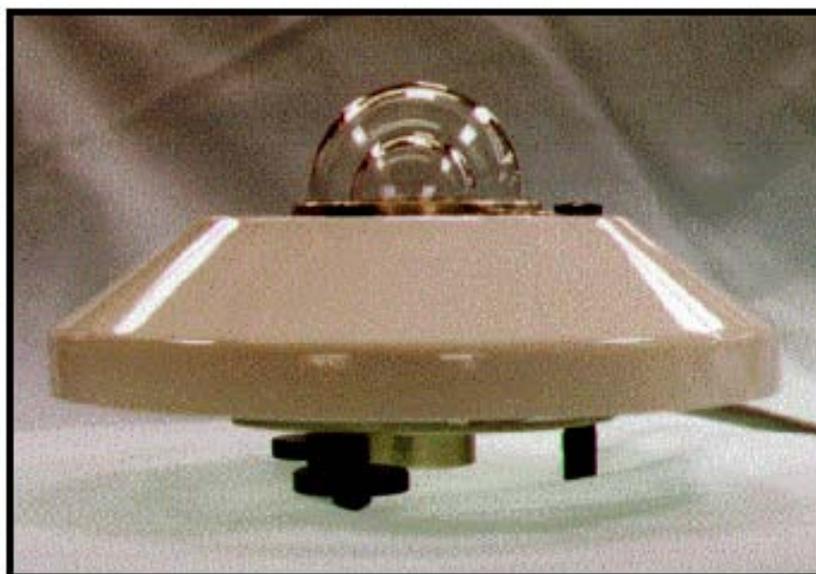


Figura 21. Piranômetro de segunda classe.

Fonte: Adaptado de Energia Solar – Princípios e Aplicações CRESCESB (2003).

2.2.3. Energia Eólica

A energia eólica é a energia cinética contida nas massas de ar em movimento, ou seja o vento. Assim como a energia hidráulica, a energia eólica é utilizada há milhares de anos com as mesmas finalidades como o bombeamento de água, a moagem de grãos e outras aplicações que envolvem energia mecânica. O início da adaptação dos cata-ventos para geração de energia elétrica teve início em 1888 com o industriário Charles F. Brush, que montou na cidade de Cleveland, Ohio, o primeiro cata-vento gerador de energia elétrica. Este cata-vento fornecia 12kW em corrente contínua para o carregamento de baterias, as quais eram destinadas para o fornecimento de energia para 350 lâmpadas incandescentes. Brush utilizou-se da configuração de um moinho para o seu invento. A roda principal, possuía 144 pás, 17m de diâmetro em uma torre de 18m de altura. Todo o sistema era sustentado por um tubo metálico central de 36m que possibilitava o giro de todo o sistema acompanhando, assim, o vento predominante. Esse sistema esteve em operação por 20 anos, sendo desativado em 1908. Sem dúvida, o cata-vento de Brush foi um marco na utilização dos cata-ventos para a geração de energia elétrica.

Desde então diversos protótipos em diversos países como Rússia, Estados Unidos, Dinamarca, França e Alemanha foram desenvolvidos principalmente como fonte para estudos sobre os aerogeradores, a possibilidade da ligação direta na rede e de materiais diversos.

Mas somente um século depois, com a crise internacional do petróleo na década de 1970, é que houve interesse e investimentos suficientes para viabilizar o desenvolvimento e aplicação de equipamentos em escala comercial. A primeira turbina eólica comercial ligada à rede elétrica pública foi instalada em 1976, na Dinamarca. Atualmente, existem mais de 30 mil turbinas eólicas em operação no mundo. Em 1991, a Associação Européia de Energia Eólica estabeleceu como metas à instalação de 4.000 MW de energia eólica na Europa até o ano 2000 e 11.500 MW até o ano 2005. Essas e outras metas estão sendo cumpridas muito antes do esperado (4.000 MW em 1996, 11.500 MW em 2001). As metas atuais são de 40.000 MW na Europa até 2010. Nos Estados Unidos, o parque eólico existente é da ordem de 4.600 MW instalados e com um crescimento anual em torno de 10%. Estima-se que em 2020 o mundo terá 12% da energia gerada pelo vento, com uma capacidade instalada de mais de 1.200GW (EWEA, 2009).

2.2.3.1. A Energia Eólica no Brasil

Em 2007, a oferta interna de energia eólica aumentou de 236 GW/h para 559 GW/h, uma variação de 136,9%, segundo os dados do Balanço Energético Nacional, produzido pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE).

De acordo com o BIG, da ANEEL as 17 usinas eólicas em operação no Brasil em novembro de 2008 apresentavam capacidade instalada de 273 MW e também registrava a existência de 22 projetos em construção a partir da energia eólica, com potência total de 463 MW. Além deles, outros 50, com potência total de 2,4 mil MW, estavam registrados como outorgados, porém sem que as obras tivessem sido iniciadas. Tanto em um quanto em outro grupo, as potências previstas por algumas centrais já eram bastante superiores àquelas verificadas nos parques construídos nos anos 90. A usina de Praia Formosa, em construção no Ceará, por exemplo, terá potência instalada de 104 MW. A de Redonda, também no Ceará, e apenas outorgada, tem potência prevista de 300 MW.

Este quadro é resultado tanto da forma como esses parques se desenvolveram quanto da adesão do país à tendência de expansão das usinas eólicas. Até a construção das três plantas de Osório, todos os projetos implementados foram de pequeno porte, a primeira turbina eólica instalada no país - em 1992, no Arquipélago de Fernando de Noronha - possuía gerador com potência de 75 kW, rotor de 17 metros de diâmetro e torre de 23 metros de altura. No entanto, nos últimos anos, tem sido crescente o interesse pelas usinas. Os Parques Eólicos Osório, Sangradouro e

dos Índios, que compõem o empreendimento de Osório, possuem individualmente 25 turbinas, cada uma com potência de 2 MW, 70 metros de diâmetro e 100 de altura.



Figura 22. Parque Eólico de Osório – RS.

Fonte: Internet (2009).

2.2.3.2. Potencial Eólico Brasileiro

Os especialistas e as instituições através de vários estudos estimam o potencial eólico brasileiro com valores extremamente consideráveis perto dos 60.000MW. Os diversos levantamentos e estudos realizados e em andamento (locais, regionais e nacionais) têm dado suporte e motivado a exploração comercial da energia eólica no País. Os primeiros estudos foram feitos na região Nordeste, principalmente no Ceará e em Pernambuco. Outro estudo importante, em âmbito nacional, foi publicado pelo Centro de Referência para Energia Solar e Eólica – CRESESB/CEPEL. Trata-se do Atlas do Potencial Eólico Brasileiro, que estudou e estimou um potencial eólico brasileiro da ordem de 143 GW.

O Brasil é favorecido em termos de ventos, que se caracterizam por uma presença duas vezes superior à média mundial e por uma oscilação de velocidade baixa, cerca de 5%, o que dá maior previsibilidade ao volume a ser produzido. Além disso, como a velocidade costuma ser maior em períodos de estiagem, é possível operar as usinas eólicas em sistema complementar com as usinas hidrelétricas, de forma a preservar a água dos reservatórios em períodos de poucas chuvas.

Na região que se estendem aproximadamente de São Paulo até os limites ao sul do Rio Grande do Sul possui velocidades médias anuais de 5,5m/s a 6,5m/s sobre grandes áreas. Entretanto, esse escoamento é significativamente influenciado pelo relevo e pela rugosidade do terreno. Os ventos mais intensos estão entre 7m/s e 8m/s e ocorrem nas maiores elevações montanhosas, bem como em planaltos de baixa rugosidade, como os Campos de Palmas. Outra área com velocidades superiores a 7m/s encontra-se ao longo do litoral sul, onde os ventos predominantes leste-nordeste são acentuados pela persistente ação diurna das brisas marinhas.

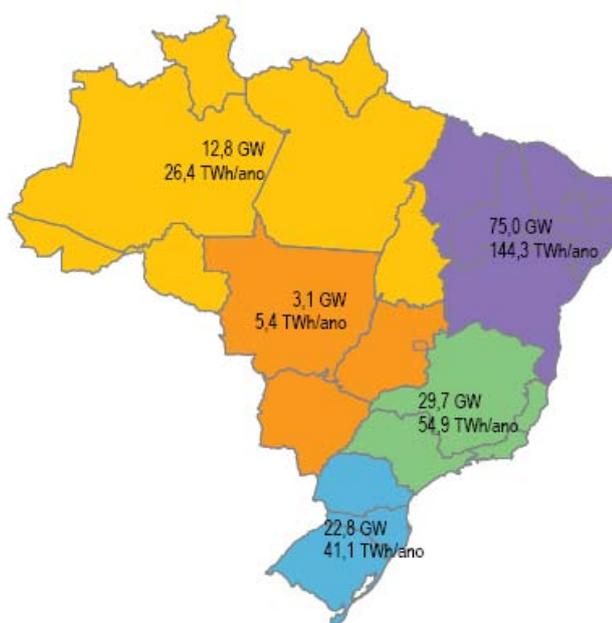


Figura 23. Mapa do Potencial Eólico Brasileiro

Fonte: Energia Eólica – Princípios e Tecnologias CRESCESB (2009).

Na figura podemos observar que as regiões com maior potencial medido são Nordeste, principalmente no litoral (75 GW); Sudeste, particularmente no Vale do Jequitinhonha (29,7 GW); e Sul (22,8 GW), região em que está instalado o maior parque eólico do país, o de Osório, no Rio Grande do Sul, com 150MW de potência.

Nas próximas figuras podemos observar o potencial eólico do Brasil dividido em quatro grupos de meses. Mais abaixo em detalhe o potencial eólico do estado de São Paulo, destacando a cidade de Itatiba. Podemos observar que o movimento das massas de ar é pequeno nos meses de Dezembro a Fevereiro, aumentando a partir de Março a Maio e alcançando o maior potencial nos meses de inverno, de Junho a Agosto, diminuindo nos meses seguintes de Setembro a Novembro.

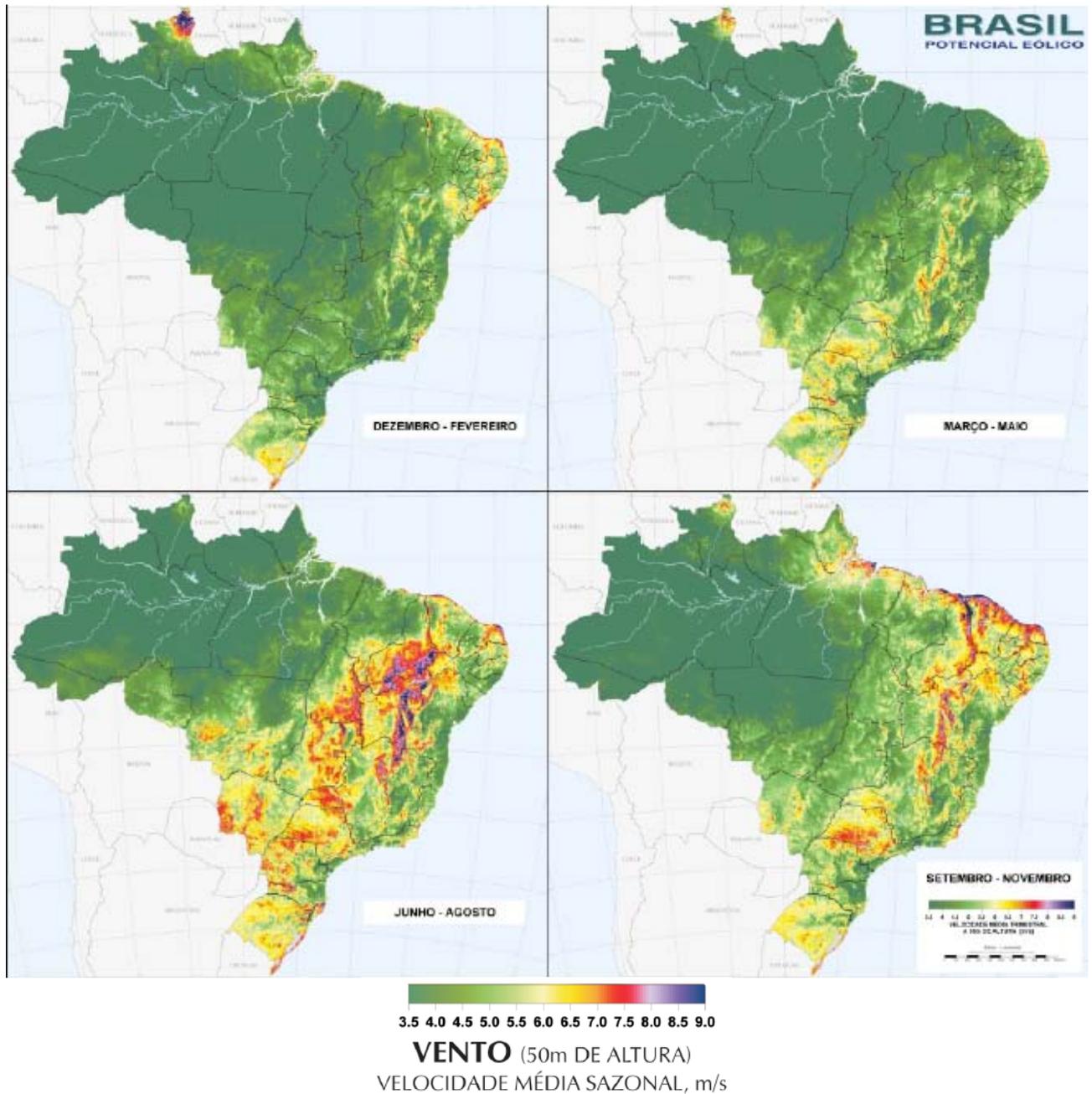


Figura 24. Mapa da Velocidade dos Ventos no Brasil Durante o Ano e Escala de Velocidade.

Fonte: Adaptado de Energia Eólica – Princípios e Tecnologias CRESCESB (2009).

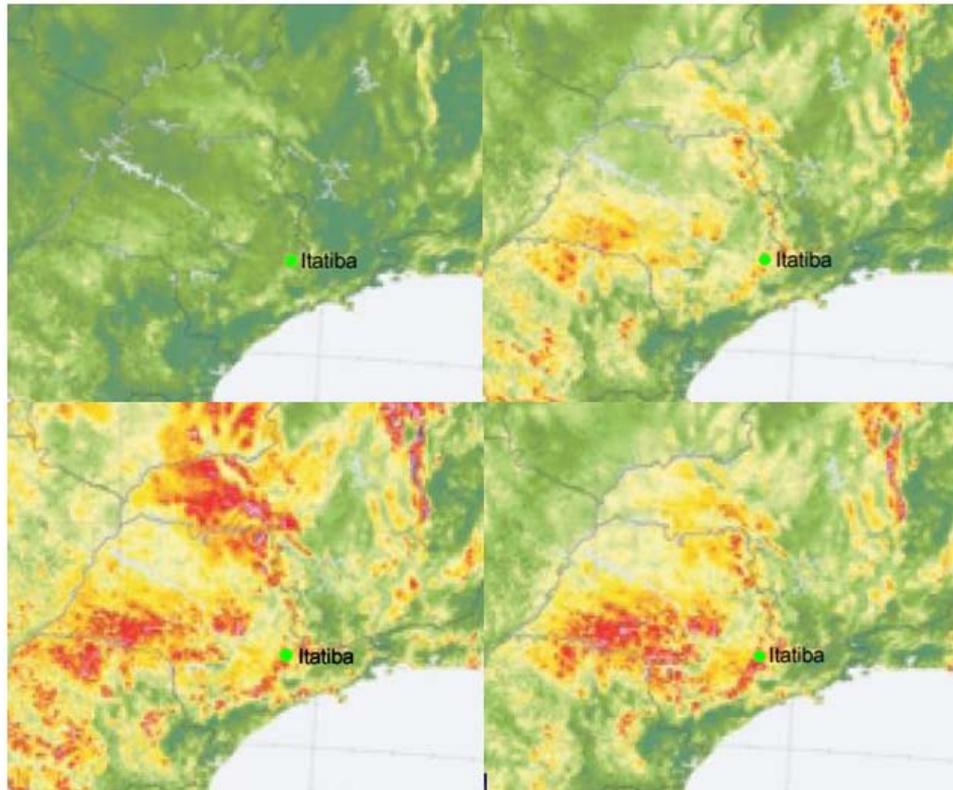


Figura 25. Variação do Potencial Eólico no Estado de São Paulo e Localização de Itatiba.
 Fonte: Adaptado de CRESESB – Energia Eólica Princípios e Tecnologias (2009).

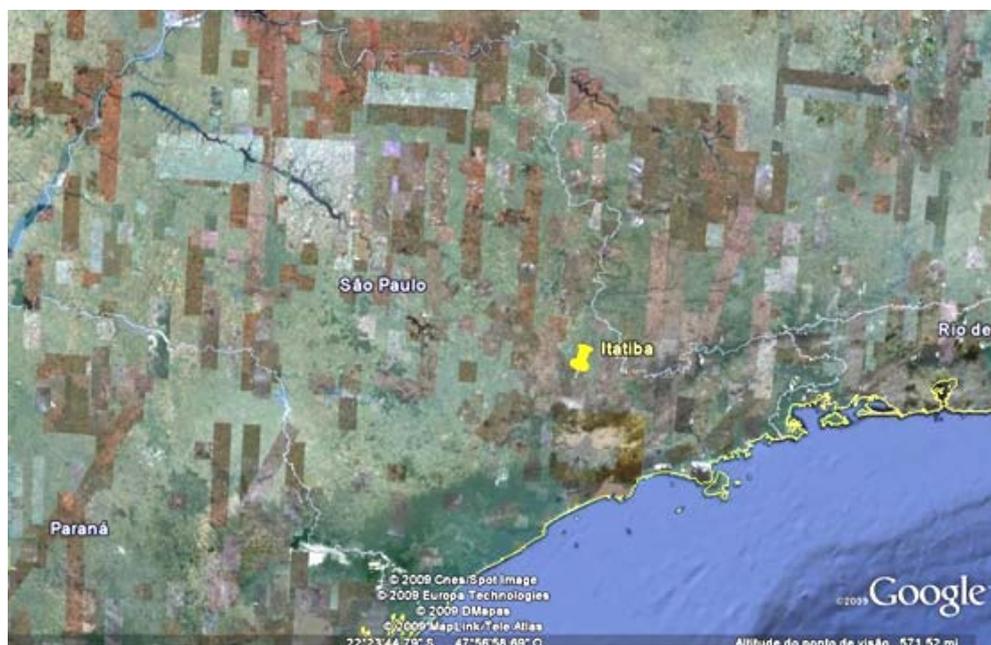


Figura 26. Mapa de Satélite da Localização da Cidade de Itatiba.
 Fonte: Adaptado de Google Earth (2009).

2.2.3.3. Tipos de Aerogeradores Para Geração de Energia Elétrica

No começo do desenvolvimento surgiram turbinas de vários tipos – eixo horizontal, eixo vertical, com apenas uma pá, com duas e três pás, gerador de indução, gerador síncrono etc. Ao longo dos anos o desenho mais utilizado de turbinas eólicas ficaram com as seguintes características: eixo de rotação horizontal, três pás, alinhamento ativo, gerador de indução e estrutura não-flexível, como mostrado na Figura 28.

As potências nominais inicialmente ficavam entre 10 kW e 50 kW. Nos anos 90 a potência aumentou para a faixa de 100 kW a 300 kW. Em 1995 muitos dos fabricantes de grandes turbinas ofereciam modelos de 300 kW a 750 kW. Em 1997, foram introduzidas comercialmente as turbinas eólicas de 1 MW e 1,5 MW,. Em 1999 surgiram as primeiras turbinas eólicas de 2MW e hoje existem protótipos de 3,6MW e 4,5MW sendo testados na Espanha e Alemanha.

Quanto ao porte, as turbinas eólicas são classificadas em: pequenas – potência nominal menor que 500 kW; médias – potência nominal entre 500 kW e 1000 kW; e grandes – potência nominal maior que 1 MW.

Nos últimos anos, as maiores inovações tecnológicas foram à utilização de acionamento direto (sem multiplicador de velocidades), com geradores síncronos e novos sistemas de controle que permitem o funcionamento das turbinas em velocidade variável, com qualquer tipo de gerador. Em relação ao local, a instalação pode ser feita em terra firme ou off-shore, dentro do mar.



Figura 27. Da esquerda para a direita – Turbina pequena, média (terra firme) e grande (off-shore).

Fonte: Adaptado de CRESESB – Energia Eólica Princípios e Tecnologias (2009).

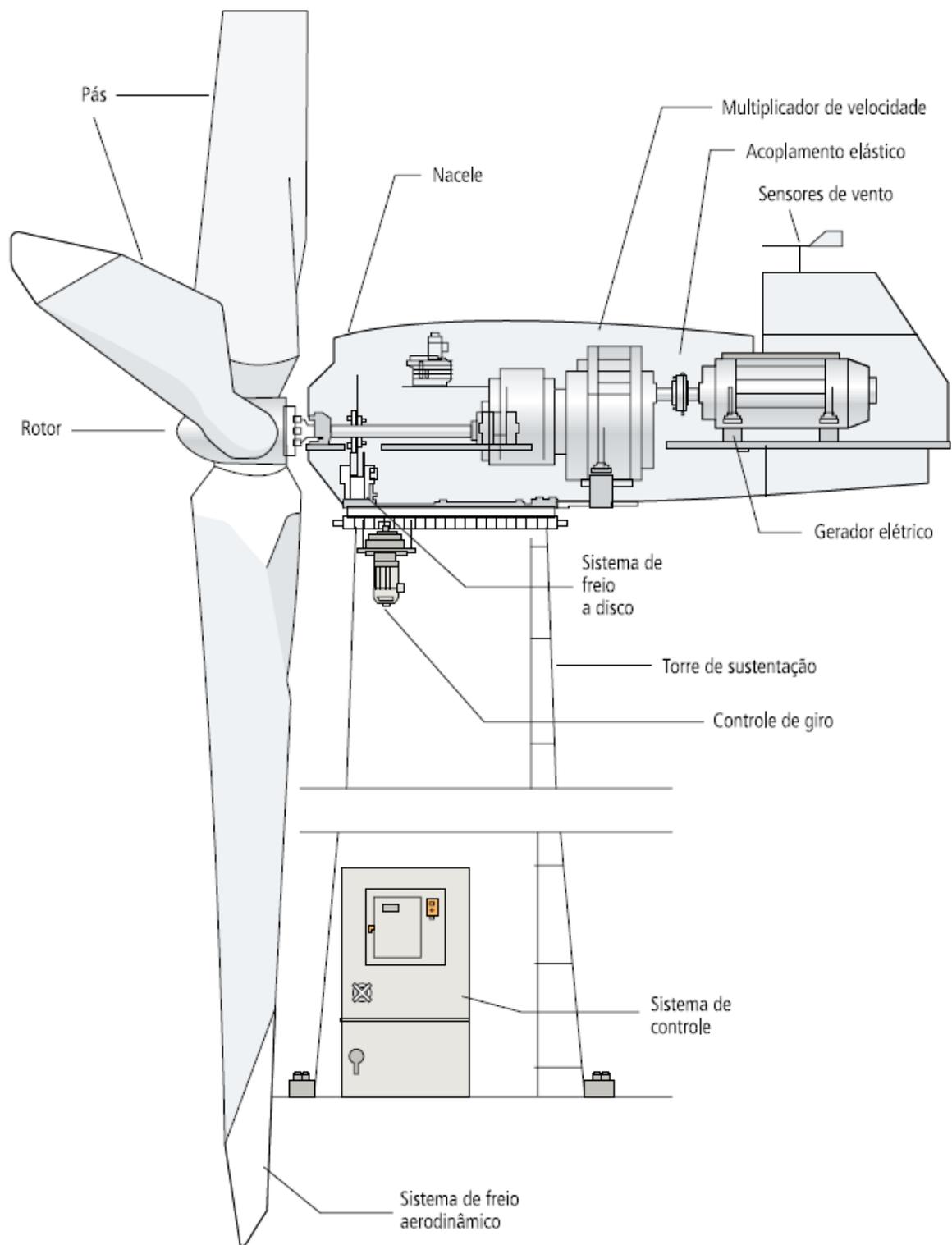


Figura 28. Desenho de um Gerador eólico Atualmente Usado.

Fonte: Adaptado de CRESESB – Energia Eólica Princípios e Tecnologias (2009).

2.2.3.3.1. Rotores de Eixo Vertical

Em geral, os rotores de eixo vertical têm a vantagem de não necessitarem de mecanismos de acompanhamento para variações da direção do vento, o que reduz a complexidade do projeto. Os rotores de eixo vertical também podem ser movidos por forças de sustentação (*lift*) e por forças de arrasto (*drag*). Os principais tipos de rotores de eixo vertical são *Darrieus*, *Savonius* e turbinas com torre de vórtices. A Figura 29 (a) mostra uma turbina tipo H de três pás, em (b) é apresentado um modelo de alta solidez com pás de perfil assimétrico, esta turbina apresenta solidário ao eixo um perfil simétrico que facilita o escoamento do ar que passa pelas pás e em (c) é uma variação do modelo de Darrieus, onde as pás foram torcidas com um ângulo de 180° entre as extremidades em torno de um cilindro imaginário, o que dá uma forma helicoidal ao rotor. Esta turbina leva o nome de seu criador, Gorlov, e foi projetada especificamente como turbina hidráulica para gerar eletricidade através da força das águas, em rios, sem a necessidade de represas e em oceanos. Sua forma helicoidal permite que a turbina entre em funcionamento em qualquer direção do fluxo.



(a) Tipo H



(b) Alta solidez



(c) Helicoidal

Figura 29. Tipos de Aero geradores de Eixo Vertical.

Fonte: CONEM (2006).

Atualmente estes tipos não são empregados para produção de energia em grande escala, mas existem diversos protótipos para a produção de energia em centros urbanos por conta de seu menor tamanho e menor emissão de ruídos.

2.2.3.3.2. Rotores de Eixo Horizontal

Os rotores de eixo horizontal são os mais comuns, e grande parte da experiência mundial está voltada para a sua utilização. São movidos por forças aerodinâmicas de sustentação (*lift*) e forças de arrasto (*drag*). Um corpo que obstrui o movimento do vento sofre a ação de forças que atuam perpendicularmente ao escoamento (forças de sustentação) e de forças que atuam na direção do escoamento (forças de arrasto).

Na construção geralmente utilizam-se pás rígidas de madeira, alumínio ou fibra de vidro reforçada. Quanto à posição do rotor em relação à torre, o disco varrido pelas pás pode estar a jusante do vento ou a montante do vento. No primeiro caso, a “sombra” da torre provoca vibrações nas pás. No segundo caso, a “sombra” das pás provoca esforços vibratórios na torre. Sistemas a montante do vento necessitam de mecanismos de orientação do rotor com o fluxo de vento, enquanto nos sistemas a jusante do vento, a orientação realiza-se automaticamente.

Os rotores mais utilizados para geração de energia elétrica são os de eixo horizontal do tipo hélice, normalmente compostos de 3 pás ou em alguns casos (velocidades médias muito altas e possibilidade de geração de maior ruído acústico) 1 ou 2 pás.

Componentes de um aerogerador de eixo horizontal

Estes aerogeradores são diferenciados pelo tamanho e formato da nacela, pela presença ou não de uma caixa multiplicadora e pelo tipo de gerador utilizado (convencional ou múltiplos). A seguir são apresentados os principais componentes do aerogerador que são, de uma forma geral, a torre, a nacela e o rotor.

Nacela

É a carcaça montada sobre a torre, onde se situa o gerador, a caixa de engrenagens, todo o sistema de controle, medição do vento e motores para rotação do sistema para o melhor posicionamento em relação ao vento. A figura 30 mostra os principais componentes instalados na nacela.

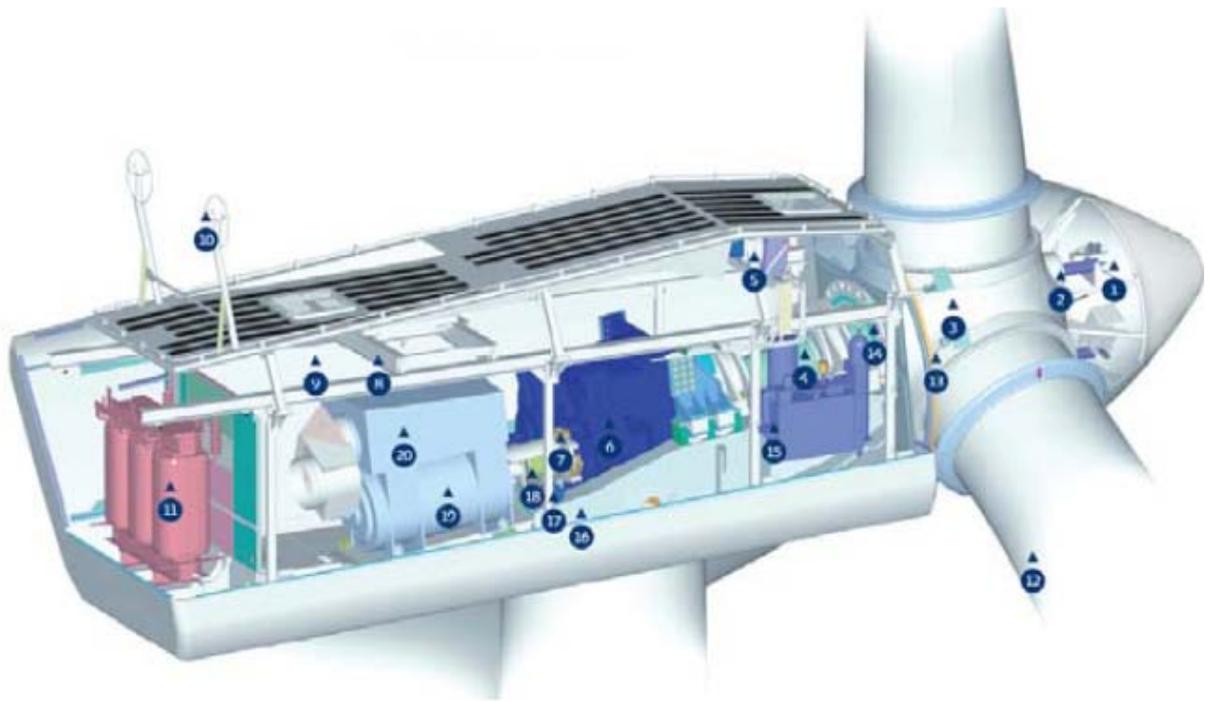


Figura 30. Interior da Nacela de uma Turbina Eólica Utilizando um Gerador Convencional.

Fonte: Vestas (2006).

- | | |
|---|---|
| 1. Controlador do Cubo | 11. Transformador de alta tensão |
| 2. Controle pitch | 12. Pás |
| 3. Fixação das pás no cubo | 13. Rolamento das pás |
| 4. Eixo principal | 14. Sistema de trava do rotor |
| 5. Aquecedor de óleo | 15. Sistema hidráulico |
| 6. Caixa multiplicadora | 16. Plataforma da nacela |
| 7. Sistema de freios | 17. Motores de posicionamento da nacela |
| 8. Plataforma de serviços | 18. Luva de acoplamento |
| 9. Controladores e Inversores | 19. Gerador |
| 10. Sensores de direção e velocidade do vento | 20. Aquecimento de ar |

Pás, cubo e eixo

As pás são perfis aerodinâmicos responsáveis pela interação com o vento, convertendo parte de sua energia cinética em trabalho mecânico. Inicialmente fabricadas em alumínio, atualmente são fabricadas em fibras de vidro reforçadas com epóxi. Nos aerogeradores que usam controle de velocidade por passo, a pá dispõe de rolamentos em sua base para que possa girar, modificando assim seu ângulo de ataque. As pás são fixadas através de flanges em uma estrutura metálica à

frente do aerogerador denominado cubo. Esta estrutura é construída em aço ou liga de alta resistência.

Para os aerogeradores que utilizem o controle de velocidade por passo, o cubo, além de apresentar os rolamentos para fixação das pás, também acomoda os mecanismos e motores para o ajuste do ângulo de ataque de todas as pás. É importante citar que por se tratar de uma peça mecânica de alta resistência, o cubo é montado de tal forma que, ao sair da fábrica, este se apresenta como peça única e compacta viabilizando que, mesmo para os aerogeradores de grande porte, seu transporte seja feito sem a necessidade de montagens no local da instalação.

O eixo é o responsável pelo acoplamento do cubo ao gerador, fazendo a transferência da energia mecânica da turbina. É construído em aço ou liga metálica de alta resistência.

Transmissão e Caixa Multiplicadora

A transmissão, em conjunto com a caixa multiplicadora, possui a finalidade de transmitir a energia mecânica entregue pelo eixo do rotor até o gerador. São compostas por eixos, mancais, engrenagens de transmissão e acoplamentos. O projeto tradicional de uma turbina eólica consiste em colocar a caixa de transmissão mecânica entre o rotor e o gerador, de forma a adaptar a baixa velocidade do rotor à velocidade de rotação mais elevada dos geradores convencionais.

A velocidade angular dos rotores geralmente varia na faixa de 20 a 150rpm, entretanto, geradores trabalham em rotações muito mais elevadas, entre 1.200 a 1.800 rpm, tornando necessária a instalação de um sistema de multiplicação entre os eixos. Mais recentemente, alguns fabricantes desenvolveram com sucesso aerogeradores sem a caixa multiplicadora e abandonaram a forma tradicional de construí-los. Assim, ao invés de utilizar a caixa de engrenagens com alta relação de transmissão, necessária para alcançar a elevada rotação dos geradores, utilizam-se geradores multipolos de baixa velocidade e grandes dimensões.

Gerador

A transformação da energia mecânica de rotação em energia elétrica através de equipamentos de conversão eletro-mecânica é um problema tecnologicamente dominado e, portanto, encontram-se vários fabricantes de geradores disponíveis no mercado. Entretanto, a

integração de geradores no sistema de conversão eólica constitui-se em um grande problema, que envolve principalmente, as variações na velocidade do vento (extensa faixa de rotações por minuto para a geração), variações do torque de entrada, exigência de frequência e tensão constante na energia final produzida e dificuldade de instalação, operação e manutenção devido ao isolamento geográfico de tais sistemas, sobretudo em caso de pequena escala de produção.

Torre

As torres são necessárias para sustentar e posicionar o rotor a uma altura conveniente para o seu funcionamento. É um item estrutural de grande porte e de elevada contribuição no custo do sistema. Inicialmente, as turbinas utilizavam torres de metal treliçado. Com o uso de geradores com potências cada vez maiores, as nacelles passaram a sustentar um peso muito elevado tanto do gerador quanto das pás. Desta forma, para dar maior mobilidade e segurança para sustentar toda a nacelle em alturas cada vez maiores, tem-se utilizado torres de metal tubular ou de concreto que podem ser sustentadas ou não por cabos tensores.

Mecanismo de Controle

Os mecanismos de controle destinam-se à orientação do rotor, ao controle de velocidade, ao controle de carga, etc. Pela variedade de controles, existe uma enorme variedade de mecanismos que podem ser mecânicos (velocidade, passo, freio), aerodinâmicos (posicionamento do rotor) ou eletrônicos (controle da carga). Os modelos modernos utilizam dois diferentes princípios de controle aerodinâmico para limitar a extração de potência a potência nominal do aerogerador. São chamados de controle estol (*Stall*) e controle de passo (*Pitch*).

Controle de Passo (Pitch)

O controle de passo é um sistema ativo que normalmente necessita de uma informação vinda do sistema de controle. Sempre que a potência nominal do gerador é ultrapassada, devido a um aumento da velocidade do vento, as pás mudam o seu ângulo de passo para reduzir o ângulo de ataque. Esta redução do ângulo de ataque diminui as forças aerodinâmicas atuantes e conseqüentemente, a extração de potência do vento.

Para todas as velocidades de vento superiores à velocidade nominal, o ângulo é escolhido de forma que o aerogerador produza apenas a potência nominal. Aerogeradores com controle de passo são mais sofisticadas do que os de passo fixo controlado por estol, porque necessitam de um sistema de variação de passo. Por outro lado, eles possuem certas vantagens como uma maior produção de energia sob as mesmas condições, partida simples do rotor pela mudança do passo, freios mais fortes não são necessários para uma parada de emergência do rotor, cargas das pás do rotor decrescentes com ventos aumentando acima da potência nominal e posição de embandeiramento das pás do rotor para cargas pequenas em ventos extremos.

Controle Estol (Stall)

O controle estol é um sistema passivo que reage conforme a velocidade do vento, as pás do rotor são fixas em seu ângulo de passo e não podem girar em torno de seu eixo longitudinal. O ângulo de passo é escolhido de forma que, para velocidades de vento superiores a velocidade nominal, o escoamento em torno do perfil da pá do rotor descola da superfície da pá, reduzindo as forças de sustentação e aumentando as forças de arrasto. Menores sustentações e maiores arrastos atuam contra um aumento da potência do rotor.

Para evitar que o efeito estol ocorra em todas as posições radiais das pás ao mesmo tempo, o que reduziria significativamente a potência do rotor, as pás possuem uma pequena torção longitudinal que as levam a um suave desenvolvimento deste efeito. Aerogeradores com controle estol são mais simples do que as de controle de passo porque elas não necessitam de um sistema de mudança de passo. Em comparação com os aerogeradores com controle de passo, eles possuem, em princípio, as seguintes vantagens - inexistência de sistema de controle de passo, estrutura de cubo do rotor simples e menor manutenção devido a um número menor de peças móveis. Mundialmente o conceito de controle através de estol é predominante, sendo que a maioria dos fabricantes utiliza esta possibilidade simples de controle de potência.

Apenas nos dois últimos anos uma mistura de controle por estol e de passo surgiu, chamada de “estol ativo”. Neste caso, o passo da pá do rotor é girado na direção do estol e não na direção da posição de embandeiramento (menor sustentação) como é feito em sistema de passo normal. As vantagens deste sistema são, necessidade de mudanças mínimas no ângulo do passo, possibilidade

de controle da potência sob condições de potência parcial (ventos baixos) e a posição de embandeiramento das pás do rotor para cargas pequenas em situação de ventos extremos.

Sistema Elétrico do Aerogerador de Velocidade Variável

Os aerogeradores com velocidade variável podem usar geradores síncronos ou assíncronos e a conexão ao sistema elétrico é feita por meio de um conversor de frequência eletrônico, formado por um conjunto retificador e inversor. A tensão produzida pelo gerador síncrono é retificada e a corrente contínua resultante é invertida, com o controle da frequência de saída sendo feito eletronicamente através dos tiristores. Como a frequência produzida pelo gerador depende de sua rotação, esta será variável em função da variação da rotação da turbina eólica. Entretanto, por meio do conversor, a frequência da energia elétrica fornecida pelo aerogerador será constante e sincronizada com o sistema elétrico.

Quando são usados geradores assíncronos ou de indução, é necessário fornecer energia reativa para a excitação do gerador, isso pode ser feito por auto-excitação usando-se capacitores. Neste caso, deve-se instalar os capacitores antes do retificador, uma vez que o conversor de frequência faz isolamento galvânico no sistema, não permitindo a absorção de energia reativa externa, seja do sistema elétrico ou de capacitores. Outra alternativa é o uso de geradores assíncronos duplamente alimentados, isto é, com dois enrolamentos que apresentam velocidades síncronas diferentes. O uso de enrolamento rotórico associado a uma resistência variável, em série, permite o controle da velocidade do gerador pela variação do escorregamento, mantendo a frequência elétrica do gerador no valor definido pelo sistema elétrico ao qual o aerogerador está conectado. A ideia básica do aerogerador com velocidade variável é o desacoplamento da velocidade de rotação e, conseqüentemente, do rotor do aerogerador, da frequência elétrica da rede. O rotor pode funcionar com velocidade variável ajustada à situação real da velocidade do vento, garantindo um desempenho aerodinâmico maximizado. Uma vantagem é a redução das flutuações de carga mecânica. As desvantagens são os altos esforços de construção e a geração de harmônicos, associados à conversão de frequência, que podem ser reduzidos significativamente com o uso de filtros que, por sua vez, aumentam os custos.

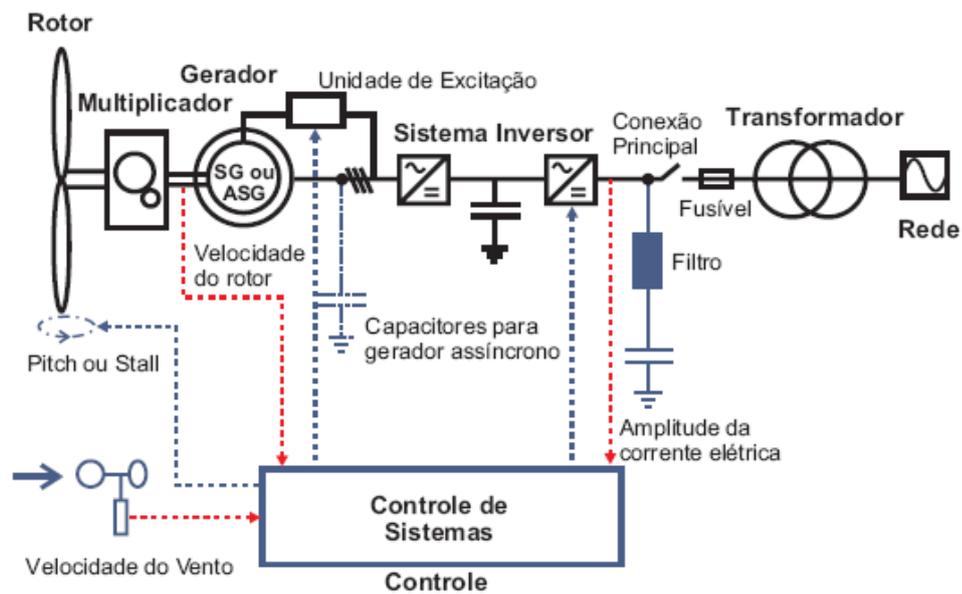


Figura 31. Sistema Elétrico de um Aerogerador.

Fonte: Adaptado de CRESESB – Energia Eólica Princípios e Tecnologias (2009).

2.2.3.4. Aplicações dos Sistemas Eólicos

Um sistema eólico, assim como o sistema solar, pode ser utilizado em três aplicações distintas: sistemas isolados, sistemas híbridos e sistemas interligados à rede. Os sistemas obedecem a uma configuração básica, necessitam de uma unidade de controle de potência e, em determinados casos, de uma unidade de armazenamento.

2.2.3.4.1. Sistemas Isolados

Os sistemas isolados em geral utilizam-se de alguma forma de armazenamento de energia, geralmente pode ser feito através de baterias. Os sistemas que armazenam energia em baterias necessitam de um dispositivo para controlar a carga e a descarga da bateria. O controlador de carga tem como principal objetivo evitar danos à bateria por sobrecarga ou descarga profunda. Para alimentação de equipamentos que operam com corrente alternada (CA) é necessária a utilização de um inversor. Este dispositivo geralmente incorpora um seguidor do ponto de máxima potência necessário para otimização da potência produzida. Este sistema é usado quando se deseja utilizar eletrodomésticos convencionais.

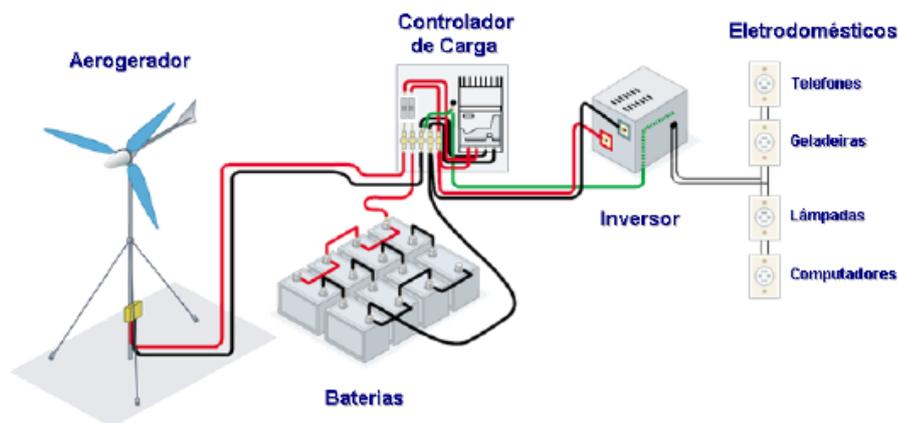


Figura 32. Sistema Eólico Isolado.

Fonte: Adaptado de CRESESB – Energia Eólica Princípios e Tecnologias (2009).

2.2.3.4.2. Sistemas Híbridos

Os sistemas híbridos são desconectados da rede convencional, apresentando várias fontes de geração de energia como turbinas eólicas, gerador a diesel, módulos fotovoltaicos e outras. A utilização de diversas formas de geração de energia faz com que o sistema se torne complexo exigindo uma otimização do uso de cada uma das fontes. Sendo necessário realizar um controle de cada uma das fontes para que o sistema trabalhe na máxima eficiência. Em geral, os sistemas híbridos são empregados em sistemas de médio a grande porte e são destinados a atender um número maior de usuários. O sistema híbrido também necessita de um inversor e devido à sua complexidade e multiplicidade de opções para cada sistema tem que haver um estudo particular.

2.2.3.4.3. Sistemas Interligados à Rede

Os sistemas interligados à rede utilizam um grande número de aerogeradores e não necessitam de sistemas de armazenamento de energia, pois toda a geração é entregue diretamente à rede elétrica.

3. PROJETO

É crescente o consumo de energia elétrica no Brasil aumentando a demanda das usinas existentes, por isso é necessário pensar em meios alternativos para fornecer a energia, diversificando a matriz energética e aumentando a confiabilidade no sistema. Atrelado a isso, temos a consciência ambiental, que se faz presente e importante no desenvolvimento de novos projetos, levando a pesquisas e melhorias dos sistemas considerados “limpos”. Há também a questão do Brasil ser muito dependente de uma única fonte de energia, a hidrelétrica, fornecida principalmente pela Usina Binacional de Itaipu e que recentemente sofreu uma pane em seu sistema deixando milhões de unidades consumidoras sem energia ao longo de horas, gerando inúmeros prejuízos.

Este projeto tem como objetivo elaborar um sistema que através da energia eólica, produzida pelos aerogeradores, alimente uma unidade escolar da rede pública de Itatiba, para isso será realizado um levantamento da carga instalada e a demanda dos equipamentos elétricos do prédio escolar, avaliar as condições climáticas da cidade, pesquisar sobre aerogeradores disponíveis no mercado e com base nesses dados, verificar se a implantação de um sistema de energia eólica para suprir essa demanda será economicamente viável.

3.1. A UNIDADE DE ENSINO

A Unidade Escolar é mantida pela Prefeitura Municipal de Itatiba, está instalada em uma área de 1.142m², atende 95 alunos de 0 a 3 anos, funcionando das 7:00 às 17:00 de segunda-feira à sexta-feira e conta com 20 funcionários. A tabela 1 mostra os equipamentos elétricos da unidade.

Tabela 1. Componentes da Unidade Escolar.

Componentes	Quantidade	Potência (Watts)	Horas de uso Dia (médio)
Aparelho de DVD	1	25	1,5
Aparelho de Fax	1	4	24
Bebedouro elétrico	1	68	9
Chuveiro elétrico	1	5000	0,5
Computador	1	120	10
Forno Microondas	1	1200	1
Máquina Fotocopiadora	1	1000	0,5
Freezer Horizontal	2	130	24
Geladeira	3	100	24
Impressora Jato de Tinta	1	20	0,1
Impressora Laser	1	120	10
Lâmpada Fluorescente	210	40	9
Liquidificador Industrial	1	300	1
Máquina de Lavar Roupas	1	500	2
Máquina de Secar Roupas	1	1000	1
Rádio Portátil com CD	5	20	4
Receptor de Parabólica	1	20	0,5
Telefone sem Fio	1	20	24
Televisão 29"	1	110	2
Ventilador de parede	16	120	3

Fonte: Levantamento Realizado Pelo Autor (2009)

3.1.1. O Consumo da Unidade Escolar

Para que fosse possível saber exatamente qual é a quantidade de energia consumida pela unidade, realizou-se um pedido junto ao setor de Protocolo da Prefeitura de Itatiba, e requeridas cópias das contas de energia durante todo o ano de 2008. Com base nesses dados foi montada a tabela 2, na qual mostra o mês, o consumo e a respectiva tarifa cobrada, em reais.

Tabela 2. Consumo da Unidade Escolar durante o ano de 2008.

Mês	Consumo (kWh)	Fatura (R\$)
Janeiro	514	204,56
Fevereiro	1276	506,44
Março	1351	608,51
Abril	1478	549,91
Mai	1442	469,32
Junho	1759	569,74
Julho	1657	529,09
Agosto	1687	542,00
Setembro	1667	538,76
Outubro	1489	480,61
Novembro	1426	459,85
Dezembro	1465	473,22
Total	17.211	5.932,01
Média Mensal	1.434,25	494,33

Fonte: Levantamento Realizado Pelo Autor (2009)

Pode-se observar que pela Tabela 2 no mês de janeiro o consumo da unidade é baixo por ser o mês das férias escolares assim depois do início do ano letivo o consumo aumenta até o mês de junho, se mantendo no período de inverno nos meses de Julho a Setembro e depois sofre uma leve queda, estabilizando-se até dezembro. A média mensal consumida é de 1.434,25 Quilowatts, com uma tarifa média de R\$ 494,33. Ao confrontar estes dados com os fornecidos pelos mapas do potencial eólico da cidade de Itatiba mostrado na figura 25, obteve-se a seguinte tabela:

Tabela 3. Comparação Entre Energia Consumida e Velocidade do Vento.

Mês	Consumo (kWh)	Velocidade dos Ventos
Janeiro	514	5 a 5,5 m/s
Fevereiro	1276	5 a 5,5 m/s
Março	1351	6 a 6,5 m/s
Abril	1478	6 a 6,5 m/s
Mai	1442	6 a 6,5 m/s
Junho	1759	6,5 a 7 m/s
Julho	1657	6,5 a 7 m/s
Agosto	1687	7 a 7,5 m/s
Setembro	1667	7 a 7,5 m/s
Outubro	1489	7 a 7,5 m/s
Novembro	1426	6 a 6,5 m/s
Dezembro	1465	5 a 5,5 m/s

Fonte: Levantamento Realizado Pelo Autor (2009)

Comparando os dados da tabela 3, percebe-se que a velocidade dos ventos é maior quando o consumo da unidade também é maior. A média de velocidade é de 6,5 m/s ao longo do ano, o que poderia garantir o funcionamento da turbina eólica, no momento de maior necessidade e durante a maior parte do ano.

3.2. COMPONENTES DO SISTEMA

3.2.1. Aerogerador

Os aerogeradores são projetados para uma determinada faixa de variação da velocidade do vento, geralmente de 4 a 30m/s (de 14,4Km/h a 108Km/h). Acima desta faixa, os componentes como gerador e pás, passam a atuar com sobrecarga. Abaixo da faixa não é viável gerar energia, e sendo que o máximo retirado é de 45% da potência contida no vento, além disso consideram-se algumas perdas, pois o aerogerador não consegue extrair 100% de potência dos 45%, então outras perdas como as aerodinâmicas, elétricas, resistivas e qualidade do vento devem ser consideradas.

Sendo assim, de forma prática, uma turbina eólica do modelo de 1000W, especificada na tabela 6, fornece de forma contínua no máximo 20% de sua potência nominal ou seja 200W. Com este dado, multiplica-se, 200W pelas 720 horas do mês para obter o resultado de 144 kWh/mês, que é a produção estimada mensal do aerogerador de 1000W em locais com média de vento anual acima de 6m/s.

De acordo com a teoria apresentada nas seções anteriores, a energia produzida pelas turbinas eólicas não é aconselhada para a alimentação de equipamentos que demandem grandes quantidades de energia, tais como o chuveiro elétrico, refrigeradores, geladeiras e demais equipamentos de grande potência, devido a isso estes equipamentos foram excluídos do projeto.

Tabela 4. Equipamentos não Viáveis no Sistema.

Componentes	Quantidade	Potência (watts)	Horas de uso Dia (médio)	Potência Consumida kWh/ Mês
Chuveiro elétrico	1	5000	0,5	50
Forno Microondas	1	1200	1	24
Máquina Fotocopiadora	1	1000	0,5	10
Máquina de Secar Roupas	1	1000	1	20
Máquina de Lavar Roupas	1	500	2	20
Freezer Horizontal	2	170	10	102
Geladeira	3	100	10	60
Total mensal	-	-	-	286

Fonte: Levantamento Realizado Pelo Autor (2009)

Deduziu-se então o valor apresentado na tabela 4 do consumo total (conforme tabela 2), o resultado obtido é de 1.148,75 kWh/mês. Assim o consumo da Unidade Escolar que o projeto deve suprir será de 1.148,75 kWh/mês, para isso seja possível, seriam necessárias 8 turbinas eólicas com potência de 1000W, conforme mostrado na Equação 1:

$$1.148,75 / 144 = 7,9 \text{ ou seja, } 8 \text{ turbinas eólicas com potência de } 1000\text{W.} \quad \text{Equação 1}$$

Considerando um outro modelo de turbina, com 6000W de potência, especificada na tabela 5, fornecendo 20% de sua capacidade (1200W) e gerando 864 kWh mês. Seriam necessárias 1,4 turbinas eólicas, conforme mostrado na Equação 2:

$$1.148,75 / 864 = 1,4 \text{ , ou } 2 \text{ turbinas eólicas com potência de } 6000\text{W.} \quad \text{Equação 2}$$

Com base nas Equações 1 e 2, o sistema poderia ser montado com uma turbina com 6000W de potência e mais duas outras de 1000W de potência, para que seja assegurado o fornecimento para a demanda pretendida. Levando em consideração uma média anual de ventos com velocidade maior do que 6m/s. Teríamos uma potência instalada de:

$$864 + (2 \times 144) = 1.152 \text{ kW/ mês.} \quad \text{Equação 3}$$



Figura 33. Modelos de aerogeradores de 6000W e de 1000W de potência.

Fonte: Adaptado da Internet (2009).

Tabela 5. Características Técnicas do Aerogerador de 6000 Watts

Descrição	Características
Diâmetro da hélice	5,55 m
Potência a 12 m/s	6000 Watts
Rpm a 12 m/s	240 rpm
Número de pás	3
Tipo de pás	torcida, (5 aerofólios)
Velocidade de partida	2,2 m/s
Torque de partida	0,3 Nm
Controle de velocidade	stall
Proteção contra altas velocidades	Active Stall (Controle de Passo)
Sistema magnético	neodímio (ímã permanente)
Sistema elétrico	trifásico
Tensão de saída	120 volts
Topologia	Fluxo Axial
Peso total (alternador+hélice+cab. Rot.)	198 Kg
Material Anti Corrosão	Alumínio / Inox / Mat. Galvanizado
Balaceamento	Estático (confirmação após pintura)

Fonte: Adaptado de Eólicario (2009)

Tabela 6. Características Técnicas do Aerogerador de 1000 Watts

Descrição	Características
Diâmetro da hélice	2,46 m
Potência a 12 m/s	1000 Watts
Rpm a 12 m/s	630 rpm
Número de pás	3
Tipo de pás	torcida, (5 aerofólios)
Velocidade de partida	2,2 m/s
Torque de partida	0,3 Nm
Controle de velocidade	stall
Proteção contra altas velocidades	Active Stall (Controle de Passo)
Sistema magnético	neodímio (imã permanente)
Sistema elétrico	trifásico
Tensão de saída	12/24/48 volts
Topologia	Fluxo Axial
Peso total (alternador+hélice+cab. Rot.)	32 Kg
Material Anti Corrosão	Alumínio / Inox / Mat. Galvanizado
Balanceamento	Estático (confirmação após pintura)

Fonte: Adaptado de Eólicario (2009)

3.2.2. Baterias

Para que o sistema de fornecimento de energia funcione é aconselhável à utilização de outros componentes além do aerogerador. Uma das características do sistema é que a energia produzida deve ser consumida no mesmo instante, porém se for desejável que ela seja armazenada para um consumo posterior, deve-se considerar o uso de baterias. Entretanto seu uso pode ser dispensado, trazendo a desvantagem de não ter energia armazenada para consumir quando o sistema não estiver produzindo e a vantagem de economia de custos para implantação do sistema.

Embora existam diversos tipos de baterias, a única característica que elas devem possuir para serem usadas com a finalidade deste projeto é serem de ciclo profundo, este tipo possui a vantagem de descarregar mais a energia armazenada enquanto preserva sua vida útil. As baterias de ciclo profundo mais usadas são as de chumbo e as de níquel-cádmio. As baterias de níquel-cádmio são mais caras, mas duram mais e podem ser descarregadas quase que completamente sem se danificar. Mesmo as baterias de chumbo de ciclo profundo não podem ser descarregadas 100% sem reduzir seriamente o tempo de vida e, geralmente, os sistemas são projetados para descarregar não mais de 40% ou 50%. A vida útil da bateria é de 3 a 5 anos, o que pode ser considerada curta se

comparada com o restante dos equipamentos do sistema, gerando ainda, problemas ambientais no seu descarte.

As baterias aumentam muito o custo e a manutenção do sistema instalado, por isso existe ainda outra forma de ligar o sistema, é possível associá-lo à rede de serviços públicos, comprando energia quando necessário e vendendo quando produzir demais. Desta forma, o serviço público atua como um sistema de armazenamento infinito.



Figura 34. Bateria de Ciclo Profundo Desenvolvida Para uso em Sistemas Solares e Eólicos.

Fonte: Adaptado da Internet (2009).

3.2.3. Controlador de Carga

O uso das baterias também requer a instalação de outro componente, o controlador de carga, que faz com que as mesmas não sejam sobrecarregadas ou descarregadas demais, aumentando sua vida útil. Uma vez que as baterias estejam totalmente carregadas, o controlador não deixa que a corrente gerada continue fluindo para elas. Também controlam a descarga até certo nível, não permitindo que mais corrente seja drenada das baterias até que elas tenham sido recarregadas, tornando seu uso essencial para a vida longa da bateria.



Figura 35. Controlador de Carga Para uso em Conjunto com Baterias.

Fonte: Adaptado da Internet (2009).

3.2.4. Inversor

A eletricidade gerada pelo sistema ou extraída das baterias é uma corrente direta, enquanto que a eletricidade fornecida pela concessionária de energia é de corrente alternada. Sendo assim é necessário um inversor, um aparelho que converte a DC (corrente direta) para a CA (corrente alternada).



Figura 36. Inversor DC/AC 1000W (12VDC - 120VAC)

Fonte: Adaptado da Internet (2009).

3.2.5. Conexão Direta na Rede de Entrada

O aerogerador fornece energia DC para um inversor de conexão em rede que mantém a energia em 110 ou 220V AC para que seja injetada diretamente na rede elétrica em paralelo com o relógio, assim caso o aerogerador estiver gerando mais energia do que o consumo da Unidade Escolar o relógio estaria girando para trás e de certa forma “armazenando a energia” na rede

elétrica, mas se o aerogerador não estiver gerando o suficiente o relógio forneceria normalmente a diferença necessária, este tipo de ligação direta (grid-tie) possui o benefício de não necessitar de um banco de baterias.

É necessário informar a ANEEL que através da Resolução N° 112 de 18 de Maio de 1999, estabelece os requisitos necessários para se obter o registro ou autorização para a implantação desse tipo de instalação, além de ser preciso informar também a concessionária local sobre a instalação diferenciada, sendo que isso não gera nenhum ônus para o consumidor.

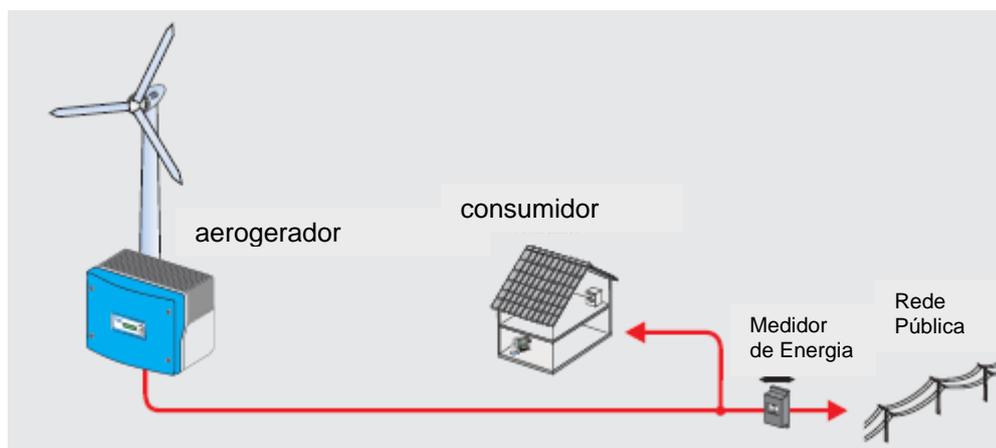


Figura 37. Esquema de Ligação do Aerogerador no modo Conexão Direta.

Fonte: Adaptado da Internet (2009).



Figura 38. Inversor de Conexão Direta na Rede GCI-1500 Wind de 1500 Watts.

Fonte: Adaptado da Internet (2009).

O Inversor do tipo conexão direta na rede, modelo mostrado na figura 38, é conectado diretamente a rede elétrica convencional sem a necessidade do uso de baterias, eles são usados tanto em aplicações com energia solar ou eólica, são controlados por micro-processadores de 32 bits, funcionando de forma totalmente automática, supervisionando a produção de energia e entregando a mesma diretamente no quadro de força do usuário.

Seu funcionamento é da seguinte maneira, calcula-se o valor da potência que está sendo consumida pela unidade, se esta for maior que a produção do aerogerador ele irá buscar a diferença na rede da concessionária. Se a energia produzida estiver sobrando, ele irá fornecer a diferença para a rede. Este tipo de inversor é um equipamento útil em áreas servidas por rede elétrica convencional, produzindo energia a todo o momento para consumo e descartando o excesso produzido na rede elétrica. As principais características deste componente estão descritas a seguir:

- Controle de corrente por PWM
- Eficiência maior que 94%
- Potência nominal AC: 1.5 kW - Potência máxima DC: 1.6 kW
- Tensão de entrada DC: de 70 a 400 VDC (programável)
- Tensão de saída: 212 - 255 VAC (ajuste automático)
- Frequência: de 59 - 61 (ajuste automático)
- Distorção Harmônica total: < 4% THD AC
- Fator de Potência: >0.99
- Seguranças: contra curto-circuito, sobre-aquecimento, sobre-carga e falta de terra.

3.3. COTAÇÃO DE SISTEMAS COM AEROGERADORES

Para que fosse possível determinar o montante a ser investido em uma instalação dessa natureza, foi realizado um orçamento junto à empresa Enersud, com sede no estado do Rio de Janeiro a qual disponibilizou os seguintes orçamentos:

Tabela 7. Cotação do Aerogerador Modelo Gerar 246 de 1000W de potência:

ITENS – fornecidos pela Enersud	QTD	PREÇO UNIT	TOTAL R\$
Aerogerador 1000W-12/24/48V + controlador de carga	1	5.990,00	5.990,00
Kit Torre de 12 mt.	1	850,00	850,00
Total			6.840,00

ITENS – Comércio Local	QTD	PREÇO UNIT	TOTAL R\$
Cabo Elétrico Trifásico pp 10mm	+/- 30mt	16,00	480,00
Tubo Galvanizado 3” Din 2440	2	300,00	600,00
Tubo Preto 2” Din 2440	1	190,00	190,00
Bateria Estacionária 12V – 150Ah	4	750,00	3.000,00
Inversor DC – AC – 1000W	1	1.200,00	1.200,00
Cabos de Aço e Acessórios para Torre	1	500,00	500,00
Transportadora e outros	1	500,00	500,00
Total do sistema			13.310,00

Fonte: Adaptado de Proposta Comercial ENERSUD (2009)

Tabela 8. Cotação do Aerogerador Modelo Verne 555 de 6000W de potência:

ITENS – fornecidos pela Enersud	QTD	PREÇO UNIT	TOTAL R\$
Aerogerador 6000W – 120V + controlador de carga.	1	29.500,00	29.500,00
Total			29.500,00

ITENS – Comércio Local – (Valores aproximados)	QTD	PREÇO UNIT	TOTAL R\$
Cabo Elétrico Trifásico pp 10mm	+/- 30mt	16,00	480,00
Tubo Preto 6” Din 2440 + Flanges, parafusos, solda(torre)	1	7.000,00	7.000,00
Tubo Preto 4” Din 2440	2	500,00	1.000,00
Bateria Estacionária 12V – 150Ah	10	750,00	7.500,00
Inversor DC – AC 120V - 5.000W	1	6.000,00	6.000,00
Cabos de Aço e Acessórios para Torre	1	2.000,00	2.000,00
Transportadora	1	2.800,00	2.800,00
Total Sistema			56.280,00

Fonte: Adaptado de Proposta Comercial ENERSUD (2009)

3.4. TEMPO DE RETORNO DO INVESTIMENTO

Para que seja possível estimar em quanto tempo teríamos um retorno do capital investido, é necessário o cálculo do valor de quanto seria economizado pelo sistema mensalmente resolvendo a equação 4, levando em consideração, o preço do quilowatt cobrado pela concessionária, multiplicado pelo quilowatt gerado pelo sistema, assim obtendo o resultado do valor economizado.

Então,

$$\text{R\$ } 0,33 \times 1.152 \text{ kW} = \text{R\$ } 380,16 \quad \text{Equação 4}$$

A economia obtida com a produção do sistema é de R\$ 380,16 por mês, sendo que o preço médio da fatura mensal é de R\$ 494,33, nesse valor também estão contabilizadas as taxas de impostos, como o ICMS (18%), PIS (1,65%) e COFINS (7,6%). Como o sistema está projetado para suprir parte da demanda total de 1.434,25 quilowatts em 1.152 quilowatts mensais, a unidade escolar ainda teria que consumir uma quantidade de 282,25 kWh/mês, considerando o mesmo valor do quilowatt cobrado:

$$\text{R\$ } 0,33 \times 282,25 \text{ kW} = \text{R\$ } 93,14 \quad \text{Equação 5}$$

Portanto o sistema economizaria mensalmente, $\text{R\$ } 380,16 - \text{R\$ } 93,14 = \text{R\$ } 287,02$. Com base nesses valores é possível realizar uma prévia do tempo do retorno do montante investido na instalação do sistema.

Tabela 9. Orçamento do Sistema Completo.

Itens do sistema	Qtd	Preço Unitário R\$	Preço Total R\$
Aerogerador 6000W	1	29.500,00	29.500,00
Aerogerador 1000W	2	5.990,00	11.980,00
Torre 12mt para aerogerador 1000W	2	850,00	1.700,00
Cabo Elétrico Trifásico pp 10mm	50mt	16,00	800,00
Tubo Preto 6" Din 2440 (torre aerogerador 6000W)	1	7.000,00	7.000,00
Tubo Galvanizado 3" Din 2440	4	300,00	1.200,00
Tubo Preto 4" Din 2440	2	500,00	1.000,00
Tubo Preto 2" Din 2440	2	190,00	380,00
Bateria Estacionária 12V – 150Ah	18	750,00	13.500,00
Inversor DC-AC 12/24/48V – 1000W	2	1.200,00	2.400,00

Inversor dc – ac 120V - 5.000W	1	6.000,00	6.000,00
Cabos de Aço e Acessórios para Torre	1	3.000,00	3.000,00
Transportadora	1	3.000,00	3.000,00
Total Sistema			84.460,00
Sistema Grid-Tie (sem baterias)	-	-13.500,00	0,00
Total Sistema Sem Bateria	-	-	70.960,00

Fonte: Levantamento Realizado Pelo Autor (2009)

O sistema possui três aerogeradores produzindo um total aproximado de 1.150 kW/mês e teria um custo total de R\$ 84.460,00, para reduzir o valor desse sistema é possível ligá-lo diretamente a rede (grid-tie), descartando assim a necessidade de baterias. É importante salientar que essa medida reduziria o valor total, mas o sistema não teria como armazenar a energia a produzida. Contudo, levando em consideração que as baterias tem uma vida útil menor se comparadas com os demais componentes e o fornecimento do sistema não deverá ultrapassar o total da demanda, essa medida poderia gerar economias futuras, ao evitar várias trocas de baterias além de não gerar descartes. O tempo de retorno em meses foi calculado com a seguinte equação levando em consideração, o total investido dividido pela economia obtida menos a taxa de manutenção mensal.

$$\text{R\$ } 70.960,00 / (\text{R\$ } 287,02 - \text{R\$ } 90,00) = 322,9 \text{ meses} \quad \text{Equação 6}$$

$$\text{Em anos, } 322,9 / 12 = \text{aproximadamente } 27 \text{ anos.} \quad \text{Equação 7}$$

Em seguida calculou-se o custo anual do sistema, para isso foi resolvida a equação:

$$\text{Custo anual} = (\text{Custo Inicial} / \text{Expectativa de vida}) + \text{Custo de operação anual.} \quad \text{Equação 8}$$

$$(\text{R\$ } 70.960,00 / 25 \text{ anos}) + \text{R\$ } 1.080 = \text{R\$ } 3.918,4 \text{ seria o valor do custo anual.}$$

A próxima equação foi usada para calcular o custo do Quilowatt hora:

$$\text{Custo Anual/ Energia Produzida Ano} = \text{Custo do kWh} \quad \text{Equação 9}$$

$$\text{R\$ } 3.918,4 / (1150 \times 12) = \text{R\$ } 0,29$$

Finalmente, pode-se verificar que o valor do custo do quilowatt hora produzido pelo sistema eólico é de R\$ 0,29 centavos, o que seria menor do que o valor cobrado pela concessionária de R\$ 0,33 centavos, lembrando que nesse valor estão contabilizadas outras taxas como, encargos, geração e transmissão da energia elétrica.

Pressupondo que a vida do sistema é de aproximadamente 25 anos e que os resultados obtidos apontam para um tempo de retorno de 27 anos para um retorno financeiro, o sistema poderá não trazer resultados positivos no que diz respeito ao retorno do investimento do capital, não gerando lucros ao usuário, sendo que seu custo seria pago pela economia gerada ao longo desse período. O que levaria a uma decisão de se implantar um sistema desse tipo não seria pelo fato de haver lucros, mas pelo desejo de um sistema menos poluente e diversificando a sua fonte de energia.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Levando em consideração todas as informações que foram apresentadas ao longo desse projeto, é de grande valia não considerar somente o preço para se produzir a energia, não devendo ser este também o fator decisivo para a construção de novas usinas elétricas. Pode-se verificar também que a maioria dos combustíveis fósseis utilizados atualmente se esgotarão em um pequeno ou médio espaço de tempo, como o carvão mineral, o petróleo, o gás natural e o minério de urânio, mas uma vez que eles ainda são responsáveis pela maior parte da energia produzida no mundo, devem ser substituídos de forma gradual pelas fontes renováveis.

Além desses fatores é importante salientar a questão ambiental, que está sendo cada vez mais priorizada nas decisões governamentais, principalmente nas reuniões sobre o aquecimento global onde se pretendem diminuir a emissão de gás carbônico na atmosfera de modo que não se agrave o aquecimento global. Certamente para que isso seja possível, a implantação de usinas por fontes não poluentes como a solar e eólica devem ser aumentadas consideravelmente e priorizadas no longo prazo, como pode ser visto na matéria em anexo 1, além da criação de novos sistemas mais eficientes do que os atuais.

Uma prova de que o governo do Brasil está preocupado com a diversificação da matriz energética brasileira e a conservação do meio ambiente é a notícia de que a ANEEL realizará neste ano o primeiro leilão para usinas eólicas. Até julho a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) recebeu cerca de 441 projetos, com capacidade para gerar um total de 13.341 MW de energia em usinas distribuídas nas regiões norte, nordeste e sul, sendo que o preço do MW/h será fixado em R\$ 189,00, próximo do preço de leilão das usinas hidrelétricas, cerca de R\$ 120,00.

É pertinente observar ainda, que a utilização de energia solar para suprir grandes necessidades tem um alto valor para sua instalação a ser comparada às outras formas de energia, por isso estão sendo estudadas novas maneiras de se aproveitar a energia proveniente do sol como pode ser visto no anexo 2, pois seu uso ainda é principalmente destinado para fornecer energia em localidades remotas e que possuem um baixo consumo.

A energia eólica é a fonte que apresenta as maiores taxas de expansão no mundo nos últimos anos, gerando além da energia para produção e desenvolvimento, a criação de emprego em todo ciclo de fabricação, instalação, operação e manutenção. O tempo para início da produção de energia eólica é

menor do que das outras fontes, podendo implantar um sistema em menos de um ou dois anos. O desenvolvimento econômico e a melhoria da qualidade de vida, a descentralização da geração e os benefícios ao meio ambiente, também são muito relevantes. A energia eólica está mais acessível, sendo possível instalar em sua própria residência um aerogerador de pequeno porte para suprir parte ou a demanda total. Estes sistemas ainda têm um custo mais elevado se comparado com as formas de geração de energia mais utilizadas, porém seu uso deve crescer muito nos próximos anos, o que deverá provocar um barateamento do sistema eólico.

A fonte inesgotável de ventos, a rapidez de instalação, descentralização da geração, os custos de instalação cada vez menores, a não agressão ao meio ambiente a utilização das terras ocupadas pelas usinas eólicas, com outras atividades como a pecuária e a agricultura, são fatores que devem ser considerados pela escolha desse tipo de energia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). 2008. Atlas de Energia Elétrica do Brasil – 3ª Edição. Disponível em <http://www.aneel.gov.br>. Acesso em: 31 de Agosto de 2009.
2. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). 2005. Banco de Informação de Geração - BIG. Disponível em <http://www.aneel.gov.br>. Acesso em: 08 de Setembro 2009.
3. CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO (CRECESB). 2005. Disponível em <http://www.cresesb.cepel.br>. Acesso em: 08 de Setembro de 2009.
4. CONEM – Congresso Nacional de Engenharia Mecânica - Disponível em www.ufpe.br/conem2006/. Acesso em 20 de Outubro de 2009.
5. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE).2009. Disponível em <http://www.epe.gov.br>. Acesso em 10 de Outubro de 2009.
6. EÓLICA RIO. Disponível em <http://www.eolicario.com.br>. Acesso em 14 de Outubro de 2009.
7. EUROPEAN WIND ENERGY ASSOCIATION (EWEA). Disponível em <http://www.ewea.org/>. Acesso em 08 de Setembro 2009.
8. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Disponível em, <http://www.iea.org/>. Acesso em 08 de Setembro de 2009.
9. RENEWABLES GLOBAL STATUS REPORT 2009 - Update (2009). Disponível em <http://www.ren21.net/> . Acesso em 28 de Agosto de 2009.
10. VESTAS - Wind Power Solutions. Disponível em <http://www.vestas.com/>. Acesso em 20 de Outubro de 2009.

ANEXO 1 – UMA MEGA USINA SOLAR NO SAARA

Consórcio de empresas lança projeto megalômico que pretende produzir eletricidade no deserto africano, cruzar o Mar Mediterrâneo e abastecer a Europa. A maior barreira é o custo: 400 bilhões de euros.

Luís Guilherme Barrucho - Revista Veja – 22/07/2009

Os desertos do planeta recebem mais energia do sol em seis horas do que todo o consumo da humanidade em um ano. Estima-se que apenas 1% da superfície de 9,1 milhões de quilômetros quadrados do Saara, onde o sol brilha 4800 horas por ano, seria suficiente para suprir as necessidades energéticas de todo o mundo. Esse potencial de fonte alternativa, no entanto, permanece até hoje mal aproveitado, pelas limitações logísticas que se impõem à geração de eletricidade em grande escala a partir da radiação solar. Um passo significativo no sentido de utilizar melhor a energia do sol foi dado na semana passada, com a assinatura na Alemanha de uma carta de intenções num consórcio de doze empresas, que apresentou o Desertec, um projeto para produzir eletricidade no Saara, no norte da África, e abastecer a Europa.

Os números envolvidos são megalômicos. O custo estimado para a conclusão da obra é de 400 bilhões de euros, um valor equivalente a 40% do PIB brasileiro. O sistema de espelhos refletores, redes de transmissão e usinas cobrirá uma área de 6 000 quilômetros quadrados, em países no norte da África. Concluso, o megaprojeto teria uma capacidade instalada de 100 gigawatts. O sistema conseguiria atender a 15% da demanda europeia em 2050. Com ele seria possível produzir energia o bastante para suprir o Brasil por seis meses, ou o equivalente a quatro Itaipus. Seus idealizadores acreditam que, num mundo de crescente escassez energética e de necessidade premente de buscar fontes que não sejam de origem fóssil, são boas as chances de que o plano saia do papel. O investimento ganhou o apoio da chanceler alemã, Angela Merkel, e do presidente da Comissão Europeia, José Manuel Barroso.

"O Desertec nasceu de um desafio global de produzir energia limpa e atender às crescentes demandas energéticas no mundo", afirmou a VEJA Gerhard Knies, coordenador da Cooperação de Energia Renovável Transmediterrânea (TREC), fundação que conduziu o projeto. Para construí-lo, seriam empregadas 240 000 pessoas, seis vezes o número de trabalhadores que ergueram Itaipu. Já existem outras usinas de geração de energia a partir do sol no mundo, mas numa escala muito menor. A maior delas se encontra no Deserto de Mojave, na Califórnia. Mas a capacidade do Desertec será 300 vezes superior à dessa usina americana.

Quatro Itaipus no deserto

A tecnologia será baseada na produção de energia solar por meio de placas fototérmicas. Milhares de espelhos enfileirados refletem os raios de sol para canos que contêm um fluido. No caso do Desertec, será um óleo especial. Esse líquido é aquecido a 100 graus e leva o calor até um reservatório com água. O contato do óleo quente com a água fria libera vapor, que é conduzido a turbinas. A transmissão da energia será feita a partir de tecnologia de corrente contínua em alta-tensão. Os cabos percorrerão uma extensão de até 2 000 quilômetros e cruzarão o fundo do Mediterrâneo. Até 2050, há ainda um longo caminho a seguir. O principal desafio é, sem dúvida, o financiamento. Estima-se que o valor mínimo para o início das obras seja de 10 bilhões de euros, dinheiro alto em tempos de crise mundial.

ANEXO 2 – EFEITO GARRAFA TÉRMICA

Nova geração de usinas solares garante eletricidade mesmo quando o sol se põe.

Por Paula Neiva - Revista Veja - 14/05/2008

A energia solar, captada por painéis de silício, é apontada como uma das melhores alternativas para diminuir a dependência mundial dos combustíveis fósseis na produção e eletricidade. Seu uso doméstico se disseminou, mas usinas de painéis solares com potência suficiente para iluminar milhares de casas ainda são caras e têm baixa capacidade de armazenamento. Além disso, elas têm uma grande limitação: não funcionam à noite. Uma nova geração de usinas solares, chamadas de térmicas, vem se firmando como uma opção para produzir eletricidade com a ajuda do sol.

Ao contrário das convencionais, que usam a luz para ativar painéis fotovoltaicos, as usinas térmicas utilizam o calor dos raios solares, refletidos por espelhos e captados por uma torre receptora. Esse calor é usado para aquecer um fluido, geralmente sal liquefeito, que permanece estocado em reservatórios em alta temperatura — como café quente numa garrafa térmica.

Quando há demanda por eletricidade, o fluido é conduzido até um gerador e o vapor que ele desprende move uma turbina, produzindo eletricidade. O fluido é reaproveitado e, ao longo do dia, o conjunto de espelhos se movimenta para manter o melhor ângulo de captação da luz e do calor do sol. Esse sistema, com tecnologia bem mais simples que a empregada nas usinas fotovoltaicas, é semelhante ao usado nas termelétricas, com a enorme vantagem de não produzir poluição atmosférica.

Há atualmente no mundo cerca de cinquenta usinas solares térmicas em diferentes estágios de planejamento ou construção. A PS10, próxima a Sevilha, na Espanha, está em operação há um ano. Por enquanto, ela consegue armazenar o calor produzido durante meia hora. Quando novas tecnologias já em desenvolvimento forem utilizadas, prevê-se que usinas como a PS10 serão capazes de estocar calor por até vinte horas.

Como ocorre com todas as formas de energia renováveis, o desafio da energia solar térmica é chegar a um custo de produção competitivo. Hoje, o preço médio por quilowatt-hora de uma usina solar térmica é de 17 centavos de dólar, contra 7 nas termelétricas a carvão e 5 nas hidrelétricas. Ainda assim, a eletricidade gerada pelas usinas térmicas é 40% mais barata do que a produzida pelas usinas fotovoltaicas. Atualmente, menos de 1% da eletricidade consumida no mundo provém da energia solar, mas, segundo os especialistas, essa porcentagem deverá crescer significativamente. "Minha aposta é que, em alguns anos, a energia produzida com o sol representará 5% da eletricidade usada no planeta", disse a VEJA o engenheiro William A. Beckman, diretor do laboratório de energia solar da Universidade de Wisconsin-Madison, nos Estados Unidos.

Um estudo do Instituto de Energia da Universidade da Califórnia, divulgado no início do ano, mostra que a energia solar térmica se tornará economicamente competitiva muito antes que a fotovoltaica. O custo de construção das usinas é menor, e o aproveitamento da eletricidade gerada, maior. Uma usina solar térmica a ser construída no estado americano do Arizona, anunciada como a maior do mundo, vai produzir 280 megawatts de eletricidade. Para efeito de comparação, as maiores usinas fotovoltaicas hoje em operação produzem 20 megawatts.

Embora no Brasil ainda não haja projetos de construção de usinas solares térmicas, o país tem enorme potencial para se beneficiar delas. Segundo o Atlas Brasileiro de Energia Solar, produzido recentemente pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), a média diária de radiação solar que incide sobre o território brasileiro ao longo de um ano é de 5,5 quilowatts-hora por metro quadrado. Em regiões como o oeste da Bahia, a média é ainda maior. São índices equivalentes aos do Deserto do Saara. A Alemanha, um dos países que mais usam energia produzida a partir do sol, recebe, por metro quadrado de território, a metade da radiação solar verificada no Brasil.

Pesquisas indicam que, daqui a vinte anos, o mundo vai consumir 50% mais energia do que hoje. Num planeta de recursos naturais limitados e assombrado pelo aquecimento global, os investimentos em fontes renováveis de energia recebem cada vez mais atenção de governos e da iniciativa privada. Atualmente, 20% da eletricidade que ilumina e aquece a Dinamarca vem de usinas de energia eólica. Na Islândia, a energia geotérmica retirada de seus gêiseres se popularizou nos últimos anos.

As primeiras usinas de energia marinha, produzida com as marés, as correntes e as ondas dos oceanos, já estão funcionando em fase experimental. Segundo estimativas do Departamento de Energia dos Estados Unidos, em menos de vinte anos o consumo de eletricidade originária de fontes renováveis de energia vai dobrar. "No mundo todo acabou a era da energia barata e do descaso com o meio ambiente. Por isso, o uso de fontes energéticas renováveis terá de se expandir nos próximos anos", diz o engenheiro Sergio Colle, coordenador do laboratório de energia solar da Universidade Federal de Santa Catarina. As usinas solares térmicas devem ter um papel de destaque nesse novo cenário energético global.