


unesp  **UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CAMPUS DE GUARATINGUETÁ

LUÍS FERNANDO FERREIRA MOTTA BARBOSA

**GERAÇÃO DE ENERGIA RENOVÁVEL EM RESIDÊNCIAS: APLICAÇÃO
DE TECNOLOGIAS EXISTENTES**

GUARATINGUETÁ
2012

LUÍS FERNANDO FERREIRA MOTTA BARBOSA

**GERAÇÃO DE ENERGIA RENOVÁVEL EM RESIDÊNCIAS: APLICAÇÃO
DE TECNOLOGIAS EXISTENTES**

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Celso Eduardo Tuna

Guaratinguetá
2012

B238g	<p>Barbosa, Luís Fernando Ferreira Motta Geração de energia renovável em residências: aplicação de tecnologias existentes / Luís Fernando Ferreira Motta Barbosa – Guaratinguetá : [s.n], 2012. 70 f : il. Bibliografia: f. 68-70</p> <p>Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2012. Orientador: Prof. Dr. Celso Eduardo Tuna</p>
	1. Coletores solares I. Título
	CDU 620.91

**GERAÇÃO DE ENERGIA RENOVÁVEL EM RESIDÊNCIAS: APLICAÇÃO
DE TECNOLOGIAS EXISTENTES**

LUÍS FERNANDO FERREIRA MOTTA BARBOSA

**ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO
COMO PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
GRADUADO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

**APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO
DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

Prof. Dr. Antonio Wagner Forti
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. CELSO EDUARDO TUNA
Orientador/UNESP-FEG



Prof. Dr. JÚLIO SANTANA ANTUNES
UNESP-FEG



Prof. Dr. PEDRO MAGALHÃES SOBRINHO
UNESP-FEG

Fevereiro de 2013

AGRADECIMENTOS

Primeiramente ao Professor Doutor Celso Eduardo Tuna, que sugeriu o tema deste trabalho e me orientou neste período com sua experiência.

Ao Marcos Antônio Tosatti da empresa Hot Water Comércio de Aquecedores LTDA-Me pela sua disposição em colaborar na realização deste trabalho.

Ao Professor Doutor Nazem Nascimento, que através de seu contato com a empresa alemã MVV Energie AG me possibilitou um ano de estágio na Alemanha.

Aos meus amigos e colegas de classe, que ao longo desses anos de faculdade foram fundamentais para que eu sempre me mantivesse motivado.

E, finalmente, à minha família, que sempre esteve ao meu lado, nestes últimos anos.

“No que diz respeito ao empenho, ao compromisso, ao esforço, à dedicação, não existe meio termo. Ou você faz uma coisa bem feita ou não faz.”

Ayrton Senna

FERREIRA MOTTA BARBOSA, L. F. **Geração de energia renovável em residências: aplicação de tecnologias existentes.** 2012. 70 p. Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Faculdade de Engenharia Campus de Guaratinguetá, UNESP – Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2012.

RESUMO

Com o alto valor da conta de luz que o brasileiro vem pagando, uma das mais elevadas do mundo, está se tornando cada vez mais atraente a opção por energias renováveis na forma de micro e minigeração distribuída. Ou seja, as fontes de energia renováveis começam a se tornar atraentes não só devido a questões ambientais, mas também devido a questões econômicas.

Este tema se tornou ainda mais pertinente e concreto após a aprovação pela diretoria da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) no dia 17/04/2012 (Resolução Normativa nº 482/2012, de 17/04/2012) de regras destinadas a reduzir barreiras para instalação de geração distribuída de pequeno porte, que incluem a microgeração, com até 100 kW de potência, e a minigeração, de 100 kW a 1 MW. A norma cria o Sistema de Compensação de Energia, que permite ao consumidor instalar pequenos geradores em sua unidade consumidora e trocar energia com a distribuidora local. A regra é válida para geradores que utilizem fontes renováveis de energia (hídrica, solar, biomassa, eólica e cogeração qualificada).

Neste contexto, o presente trabalho apresenta uma análise técnico-econômica da instalação de uma central microgeradora residencial composta por células fotovoltaicas, coletores solares e aerogeradores de pequeno porte.

PALAVRAS CHAVE: Micro e Minigeração Distribuída, Sistema de Compensação de Energia, Células Fotovoltaicas, Coletores Solares, Aerogeradores de pequeno porte.

FERREIRA MOTTA BARBOSA, L. F. **Renewable energy generation in homes: applying existing technologies.** 2012. 70 p. Graduate Work in Mechanical Engineering – Faculdade de Engenharia Campus de Guaratinguetá, UNESP – Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2012.

ABSTRACT

Due to the high value of the bill that the Brazilian has been paying, one of the most expensive in the world, is becoming increasingly attractive the option for renewable energy in form of distributed micro and minigeneration. In other words, the renewable energy sources are becoming attractive not only because of environmental concerns, but also due to economic issues.

This has become even more relevant and concrete after approval of rules by National Agency of Electric Energy (ANEEL) on 4/17/2012 (Normative Resolution n ° 482/2012 of 04/17/2012) aimed at reducing barriers to installation of small distributed generation, including microgeneration, with up to 100 kW of power, and minigeneration, 100 kW to 1 MW. The Normative Resolution n ° 482/2012 creates the Energy Clearing System, which allows consumers to install small generators in its consumer unit and exchange energy with the local distributor. The rule applies to generators that use renewable sources of energy (hydro, solar, biomass, wind and cogeneration qualified).

In this context, this paper presents a technical and economic analysis of installing a residential microgenerating plant composed of photovoltaic cells, solar panels and small wind turbines.

KEYWORDS: Distributed Micro and Minigeneration, Energy Clearing System, Photovoltaic Cells, Solar Panels, Small Wind Turbine.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Valores de Insolação na latitude 40° N (Hinrichs, Kleinbach, dos Reis, 2011).....	18
Figura 02 – Produção fotovoltaica anual fora e nos Estados Unidos (Hinrichs, Kleinbach, dos Reis, 2011).....	19
Figura 03 – Efeito fotovoltaico (Hinrichs, Kleinbach, dos Reis, 2011).....	20
Figura 04 – Montagem esquemática de uma célula solar (Fonte: Hinrichs, Kleinbach, dos Reis, 2011).....	21
Figura 05 – Células solares podem ser conectadas em série (a) ou em paralelo (b) para fornecer mais voltagem ou mais corrente (Hinrichs, Kleinbach, dos Reis, 2011).....	23
Figura 06 – Mini-usina solar urbana (Christante, 2012).....	26
Figura 07 – Catálogo do módulo solar Mitsubishi 225 W Premium (energiapura.com).....	28
Figura 08 – Casa com potência instalada de 5.760 W (bs-solar.de).....	29
Figura 09 – Consumo residencial no Brasil (Aldabó,2002).....	31
Figura 10 – Características gerais de um sistema solar de aquecimento (Hinrichs, Kleinbach, dos Reis, 2011).....	32
Figura 11 – Corte lateral de um coletor de placa plana (Hinrichs, Kleinbach, dos Reis, 2011).....	33
Figura 12 – Diferentes placas absorvedoras de coletor solar (Hinrichs, Kleinbach, dos Reis, 2011).....	34
Figura 13 - Aquecedor de água por lote ou batelada (Hinrichs, Kleinbach, dos Reis, 2011).....	35
Figura 14 – Sistema ativo tipo indireto para aquecimento de água (Aldabó,2002).....	36
Figura 15 – Sistema doméstico básico de aquecimento de ambiente e água (Hinrichs, Kleinbach, dos Reis, 2011).....	37
Figura 16 – Três tipos de moinhos de vento: (a) Moinho holandês, (b) Moinho de vento americano de múltiplas pás, (c) Turbina eólica de duas lâminas (Hinrichs, Kleinbach, dos Reis, 2011).....	43
Figura 17 – Turbinas de vento de eixo horizontal e de eixo vertical (Hinrichs, Kleinbach, dos Reis, 2011).....	44
Figura 18 – Sistema de energia eólica (Hinrichs, Kleinbach, dos Reis, 2011).....	45
Figura 19 – Componentes básicos de uma turbina eólica (Aldabó, 2002).....	46

Figura 20 – Aerogerador Skystream no Banco HSBC em São Luis do Maranhão (energiapura.com).....	48
Figura 21 – Mapa solarimétrico anual médio brasileiro (ANEEL).....	51
Figura 22 – Panorama do Potencial Eólico no Brasil (ANEEL).....	52
Figura 23 – Distribuição de Weibull para Conde-Ba (http://www.cresesb.cepel.br).....	53
Figura 24 – Sistema de aquecimento solar (Transsen).....	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Eficiência conforme o material de fabricação (Aldabó, 2002).....	22
Tabela 02 – Saídas máximas teóricas (Hinrichs, Kleinbach, dos Reis, 2011).....	41
Tabela 03 – Velocidade em função do número de polos (Aldabó, 2002).....	46
Tabela 04 – Dados técnicos de um aerogerador (fc-solar.com).....	47
Tabela 05 – Consumo ao longo do ano para o estudo de caso.....	50
Tabela 06 – Orçamento do Sistema de aquecimento Solar (Hot Water).....	54
Tabela 07 – Produção estimada dos sistemas fotovoltaicos grid tie oferecidos pela LOGIK Energia & Sistemas.....	56
Tabela 08 – Estimativa da energia mensal produzida, sistema eólico de 2.4 kW.....	59
Tabela 09 – Orçamento do sistema eólico de 1.000 W (Eólica Rio LTDA).....	61
Tabela 10 – Estimativa da energia mensal produzida, sistema eólico de 1 kW.....	63
Tabela 11 – Orçamento da terceira configuração.....	63
Tabela 12 – Análise comparativa das três configurações.....	64

SUMARIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1 Objetivos.....	12
1.2 Justificativas.....	12
1.3 Metodologia.....	13
1.4 Estrutura do trabalho.....	13
2 CONEXÃO DE UMA CENTRAL MINIGERADORA COM A REDE.....	15
3 CÉLULAS FOTOVOLTAICAS.....	17
3.1 Energia Solar.....	17
3.2 Cenário atual da produção mundial e nacional de células fotovoltaicas.....	18
3.3 Princípio de funcionamento das células solares.....	19
3.4 Eficiência e desempenho das células solares.....	22
3.5 Sistemas fotovoltaicos.....	23
3.6 Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos.....	27
4 COLETORES SOLARES.....	30
4.1 Panorama geral do aquecimento solar.....	30
4.2 Substituição do chuveiro elétrico.....	30
4.3 Coletor de placa plana.....	32
4.4 Tipos de sistemas de aquecimento solar.....	34
4.5 Dimensionamento de sistemas de água quente.....	37
5 GERADORES EÓLICOS.....	39
5.1 Energia eólica.....	39
5.2 Disponibilidade de energia.....	40
5.3 Fator de Capacidade.....	41
5.4 Turbinas eólicas.....	42
5.5 Sistemas de energia eólica.....	44
5.6 Dimensionamento de sistemas eólicos.....	46
6 ESTUDO DE CASO.....	49
6.1 Levantamento de dados.....	49
6.1.1 Demanda por energia.....	49
6.1.2 Dados ambientais.....	51
6.2 Análises técnicas e econômicas.....	54

6.2.1 Primeira configuração (Células fotovoltaicas com coletores solares).....	54
6.2.2 Segunda Configuração (Aerogerador com coletores solares).....	57
6.2.3 Terceira Configuração (Aerogerador associado a células fotovoltaicas e coletores solares).....	60
6.2.4 Análise comparativa das configurações.....	64
7 CONCLUSÕES.....	66
8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	68

1. INTRODUÇÃO

1.1 Objetivos

O presente trabalho tem por objetivo dimensionar coletores solares, células fotovoltaicas e um aerogerador de pequeno porte para uma residência e com isso estudar a viabilidade técnica e econômica da microgeração distribuída residencial.

1.2 Justificativas

Hoje em dia tem se falado muito sobre as fontes de energias renováveis e suas vantagens ambientais sendo, assim, alternativas sustentáveis para as tradicionais fontes de energias como combustíveis fósseis e usinas nucleares. No entanto, com o alto valor da conta de luz que o brasileiro vem pagando, uma das mais elevadas do mundo, está se tornando cada vez mais atraente a opção por energias renováveis na forma de micro e minigeração distribuída. Ou seja, as fontes de energia renováveis começam a se tornar atraentes não só devido a questões ambientais como também devido a questões econômicas.

Além da chamada paridade tarifária que começa a deixar as fontes de energia renováveis atraentes, consequência do alto preço da energia elétrica no Brasil e da redução no preço de células fotovoltaicas e aerogeradores, também podemos citar outros benefícios que a mini e a microgeração distribuída trazem consigo, entre eles, economia dos investimentos em transmissão, redução das perdas nas redes, diversificação da matriz energética e melhoria da qualidade do serviço de energia elétrica.

Este tema se tornou ainda mais pertinente e concreto após a aprovação pela diretoria da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) no dia 17/04/2012 (Resolução Normativa nº 482/2012, de 17/04/2012) de regras destinadas a reduzir barreiras para instalação de geração distribuída de pequeno porte, que incluem a microgeração, com até 100 kW de potência, e a minigeração, de 100 kW a 1 MW. A norma cria o Sistema de Compensação de Energia, que permite ao consumidor instalar pequenos geradores em sua unidade consumidora e trocar energia com a distribuidora local. A regra é válida para geradores que utilizem fontes renováveis de energia (hídrica, solar, biomassa, eólica e cogeração qualificada).

Dessa forma, a unidade geradora instalada em uma residência permitirá não apenas reduzir, ou até mesmo zerar, o valor da conta de luz como também o que não for consumido será injetado no sistema da distribuidora, que utilizará o crédito para abater o consumo dos meses subsequentes. Os créditos poderão ser utilizados em um prazo de 36 meses e as informações estarão na fatura do consumidor, a fim de que ele saiba o saldo de energia e tenha o controle sobre a sua fatura.

1.3 Metodologia

O presente trabalho foi baseado na literatura técnica para entender o funcionamento e o dimensionamento dos componentes de uma central microgeradora composta por células fotovoltaicas, coletores solares e aerogeradores. A Resolução Normativa nº 482/2012, de 17/04/2012 criada pela ANEEL e a norma técnica da CPFL Energia foram consultadas a fim de se conhecer melhor o sistema de compensação de energia elétrica. No final deste documento é exposto um estudo sobre a viabilidade técnica e econômica da aplicação de tais sistemas com base no orçamento e em informações técnicas extraídas de catálogos dos fabricantes e de firmas responsáveis pela instalação desses sistemas de microgeração.

1.4 Estrutura do trabalho

Esse trabalho é composto por sete capítulos, que serão divididos em assuntos que fundamentam a discussão principal. Esta seção faz parte do capítulo 1, na qual consiste na apresentação geral do tema do trabalho, a justificativa da escolha do tema, os objetivos gerais e específicos e a metodologia utilizada.

O capítulo 2 aborda a Resolução Normativa nº 482/2012, de 17/04/2012 criada pela ANEEL e a norma técnica da CPFL Energia a fim de se entender melhor como o sistema de conexão de micro e minigeração distribuída irá ser operado sob o sistema de compensação de energia elétrica.

Já os capítulos 3, 4 e 5 são uma revisão bibliográfica, sendo percorrido isoladamente sobre o princípio de funcionamento de células fotovoltaicas, de coletores solares e de aerogeradores, e as variáveis relevantes para o dimensionamento de centrais microgeradoras com esses componentes.

No capítulo 6 é exposto um estudo de caso, no qual se estudará a viabilidade técnica e econômica da aplicação da microgeração distribuída para uma residência com base no orçamento e em informações técnicas extraídas de catálogos dos fabricantes e de firmas responsáveis pela instalação de células fotovoltaicas, coletores solares e aerogeradores.

E por último, o capítulo 7 resume-se a conclusão, ou seja, são comentados os resultados obtidos com a execução do estudo exposto no capítulo anterior e as considerações finais sobre o mesmo.

2 CONEXÃO DE UMA CENTRAL DE MICROGERAÇÃO COM A REDE

A Resolução Normativa nº 482/2012, de 17/04/2012, da ANEEL, estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica sob o sistema de compensação de energia elétrica. Segundo esta Resolução Normativa ficou determinado os seguintes pontos:

- define-se como microgeração distribuída uma central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 100 kW e que utilize fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras. De forma análoga, a minigeração distribuída é definida pela resolução como uma central geradora de energia elétrica, no entanto, com potência instalada superior a 100 kW e menor ou igual a 1 MW para as mesmas fontes de energia já citadas para a microgeração.
- sistema de compensação de energia elétrica é aquele no qual a energia ativa gerada por unidade consumidora com microgeração distribuída ou minigeração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, a distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa dessa mesma unidade consumidora ou outra unidade consumidora de mesma titularidade da unidade consumidora onde os créditos foram gerados, desde que possua o mesmo Cadastro de Pessoa Física (CPF) ou Cadastro de Pessoa Jurídica (CNPJ) junto ao Ministério da Fazenda. Os créditos de energia ativa gerada por meio do sistema de compensação de energia elétrica expirarão 36 meses após a data do faturamento, não fazendo jus o consumidor a qualquer forma de compensação após o seu vencimento.
- as distribuidoras deverão adequar seus sistemas comerciais e elaborar ou revisar normas técnicas para tratar do acesso de microgeração e minigeração distribuída, utilizando como referência os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST, as normas técnicas brasileiras e, de forma complementar, as normas internacionais.
- o sistema de compensação de energia elétrica prevê a cobrança, no faturamento da unidade consumidora com micro ou minigeração distribuída, de um valor

mínimo que se refere ao custo de disponibilidade para o consumidor conectado em baixa tensão, ou da demanda contratada para o consumidor conectado em média tensão, conforme o caso.

- o consumo a ser faturado, referente à energia elétrica ativa, é a diferença entre a energia consumida e a injetada pelo micro ou minigerador, por posto horário, quando for o caso, devendo a distribuidora utilizar o excedente que não tenha sido compensado num ciclo de faturamento corrente para abater o consumo medido em meses subsequentes. Caso a energia ativa injetada em um determinado posto horário seja superior à energia ativa consumida, a diferença será utilizada, preferencialmente, para compensação em outros postos horários dentro do mesmo ciclo de faturamento. Será considerada a relação entre diferentes valores das tarifas de energia, se houver. A fatura deverá conter a informação de eventual saldo positivo de energia ativa para o ciclo subsequente, em quilowatt-hora (kWh), por posto horário, quando for o caso, e também o total de créditos que expirarão no próximo ciclo.
- os custos referentes à adequação do sistema de medição, necessário para implantar o sistema de compensação de energia elétrica, são de responsabilidade do interessado. Após a adequação do sistema de medição, a distribuidora será responsável pela sua operação e manutenção, incluindo os custos de eventual substituição ou adequação.

3 CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

3.1 Energia Solar

A energia solar é uma excelente fonte de eletricidade levando em conta que a energia solar incidente sobre a terra a cada dia é equivalente a toda energia consumida no mundo por 27 anos (Aldabó, 2002). Em números isto nos traz uma média anual que varia de 6.800 kJ/m²/dia no norte da Europa a 23.000 kJ/m²/dia nas regiões mais próximas ao Equador. Essa energia emitida pelo Sol é fruto predominantemente da fusão dos núcleos de hidrogênio em núcleos de hélio. A quantidade de radiação solar que chega à Terra é chamada insolação (Hinrichs, Kleinbach, dos Reis, 2011).

A quantidade de insolação que atinge o topo da atmosfera terrestre é de aproximadamente 1.360 W/m². Esse número, chamado constante solar, varia minimamente durante o tempo. Já a insolação recebida em um determinado local da superfície terrestre pode variar entre 0 e 1.050 W/m², dependendo da latitude, da estação, do horário do dia e do grau de nuvens presentes. Os dois primeiros fatores são resultantes da geometria da órbita terrestre ao redor do Sol. O nordeste brasileiro que está mais próximo do Equador possui valores típicos entre 1.752 kWh/m² a 2.190 kWh/m² por ano, enquanto que a França, mais distante do Equador, recebe uma radiação entre 1.000 kWh/m² a 1.500 kWh/m² por ano. A figura 01 ilustra a variação da insolação para um dia claro em uma superfície horizontal localizada a 40° N em função do mês e da hora do dia, lembrando que nos países no hemisfério norte o verão acontece no meio do ano contrário dos países do hemisfério sul (Hinrichs, Kleinbach, dos Reis, 2011).

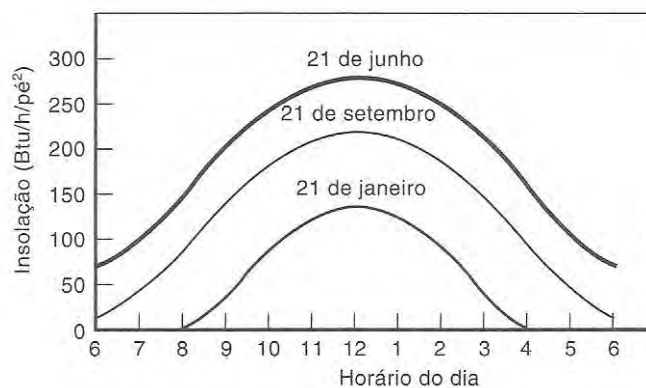


Figura 01 – Valores de Insolação na latitude 40° N (Hinrichs, Kleinbach, dos Reis, 2011).

3.2 Cenário atual da produção mundial e nacional de células fotovoltaicas

O princípio fotovoltaico, conversão de luz solar diretamente em eletricidade, descoberto ainda no século XIX, recebeu um grande impulso apenas na década de 1950 por causa da sua utilização no programa espacial norte-americano. Desses dias até hoje, o preço das células solares caiu de um fator de mais de 1000 (Hinrichs, Kleinbach, dos Reis, 2011), como mostra a figura 02. Entre os motivos que justificam essa queda de custo estão: economia em escala, inovações tecnológicas, queda no preço do Silício e a competição devida ao grande número de players no mercado. Pode-se observar, também, que a produção fora dos Estados Unidos teve um aumento significativo, resultado do crescente aumento, que vem ocorrendo, da produção na Ásia. Segundo estudos da Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (REN21), estima-se que a capacidade de produção de células de silício cristalino (c-Si) tenha sido de 33,1 GW em 2011 e 34,8 GW em módulos. China e Taiwan respondem por 61% da produção mundial do ano passado. O resto é produzido na União Européia (14%), Japão (5%) e Estados Unidos (menos que 4%).

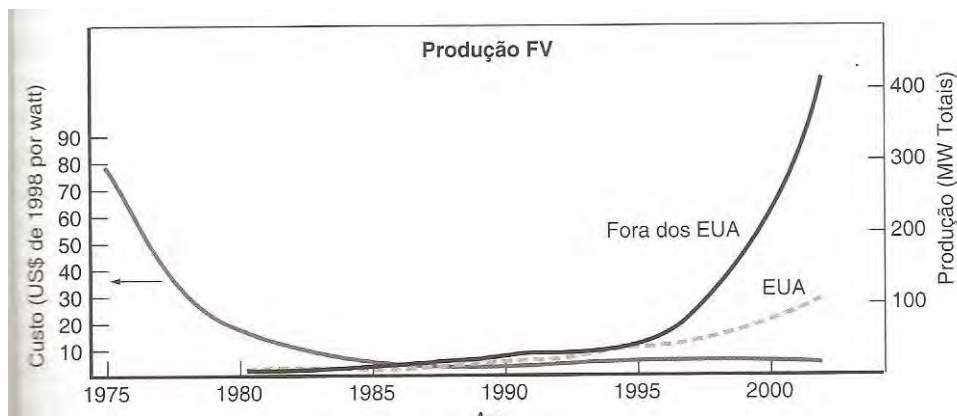


Figura 02 – Produção fotovoltaica anual fora e nos Estados Unidos (Hinrichs, Kleinbach, dos Reis, 2011).

Apesar do grande potencial que temos no Brasil para a exploração da energia solar, ainda não possuímos uma indústria nacional que detém a tecnologia necessária para a produção de células fotovoltaicas e ou módulos fotovoltaicos de forma competitiva. Segundo o físico Francisco Marques, da Unicamp, o desafio de termos um painel fotovoltaico 100% nacional esbarra na dificuldade de se obter o Silício no altíssimo grau de pureza necessário para essa aplicação. A indústria brasileira domina apenas o processo de conversão do quartzo no chamado silício metalúrgico, cuja pureza fica em torno de 98%. Acontece que as células solares exigem uma pureza da ordem de 99,9999999% e a tecnologia para tal pureza é extremamente cara e complexa, explica Francisco. Para esse fim, seriam necessários investimentos bilionários, além de uma planta industrial gigantesca, pois o processo só permite a produção em larga escala (Christante, 2012).

3.3 Princípio de funcionamento das células solares

O efeito fotoelétrico, descoberto em 1887 por Heinrich Hertz e em 1905 explicado por Einstein, pode ser ilustrado com um artefato, como o mostrado na figura 03. Quando a luz atinge a placa negativa de certos metais, no tubo de vácuo, elétrons são emitidos com uma quantidade de energia cinética inversamente proporcional ao comprimento de onda da luz incidente (Hinrichs, Kleinbach, dos Reis, 2011).

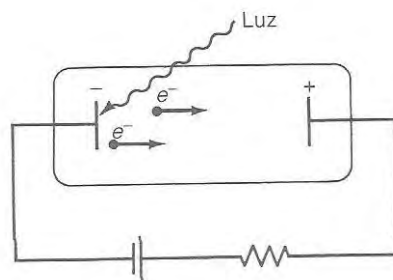


Figura 03 – Efeito fotovoltaico (Hinrichs, Kleinbach, dos Reis, 2011).

Einstein explicou este efeito ao pressupor que, neste caso, a luz se comporta mais como uma partícula do que como uma onda. A energia de cada partícula de luz, chamada fóton, depende apenas da sua frequência e é igual a $h \times f$, onde h é a constante de Planck ($6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$) e f a frequência da luz. Um elétron em um átomo de metal é capaz de absorver a energia de um fóton e obter a energia necessária para escapar se a energia do fóton exceder a de adesão do elétron ao metal. Se a frequência da luz for grande o suficiente ou se o comprimento de onda for pequeno o bastante, uma vez que o comprimento de onda é inversamente proporcional à frequência e o produto de ambos é igual à velocidade da luz (Hinrichs, Kleinbach, dos Reis, 2011).

Vários materiais e tipos de estruturas podem ser usados na produção de células fotovoltaicas. Atualmente a maior parte das células solares é feita pelo agrupamento de duas camadas muito finas de silício cristalino, isso, devido ao conhecimento tecnológico já adquirido sobre o silício e a sua facilidade de ser encontrado na natureza. Entre outros materiais pesquisados para uso na tecnologia fotovoltaica temos o arsênio de gálio e o sulfeto de cádmio (Aldabó, 2002).

As células solares de silício cristalino são obtidas por meio de um processo denominado “dopagem”, no qual são adicionadas impurezas ao silício, alterando suas propriedades e tornando-o um condutor melhor. Quando adicionado uma pequena quantidade de fósforo, passa a existir elétrons extras no cristal, produzindo um semicondutor do tipo n (negativo). Por outro lado se adicionado boro, existirá menos elétrons que no silício original e, assim, surgirão lacunas no cristal – lugares onde os elétrons deveriam estar, porém não estão –, produzindo um semicondutor do tipo p (positivo). A “junção p-n” é a combinação dos semicondutores do tipo n e tipo p (Hinrichs, Kleinbach, dos Reis, 2011).

Se os lados tipo p e tipo n estiverem conectados por um circuito externo, a energia luminosa na forma de fótons quando atingir uma célula solar criará um movimento de elétrons na junção p-n. Resumindo, os elétrons vão fluir para fora do eletrodo tipo n em direção ao eletrodo do tipo p, onde se recombinarão com as lacunas presentes (Hinrichs, Kleinbach, dos Reis, 2011).

A figura 04 mostra esquematicamente a montagem de uma célula solar. Uma camada superior com uma espessura de aproximadamente $1\ \mu\text{m}$ ($10^{-6}\ \text{m}$) feita de silício tipo n bastante fina a fim de que se torne transparente a luz solar. Anexada a essa fina camada está uma grade condutora, arranjada de tal modo, para evitar que grande parte da luz seja obstruída. A camada inferior também de silício, porém tipo p possui uma espessura aproximada de $400\ \mu\text{m}$ e um eletrodo metálico anexado em sua parte traseira. Para efeito de proteção contra as intempéries climáticas, as células são encapsuladas entre camadas de vidro temperado como cobertura, e acetato de vinil etilénico ou polivinil fluorídrico como fundo (Hinrichs, Kleinbach, dos Reis, 2011).

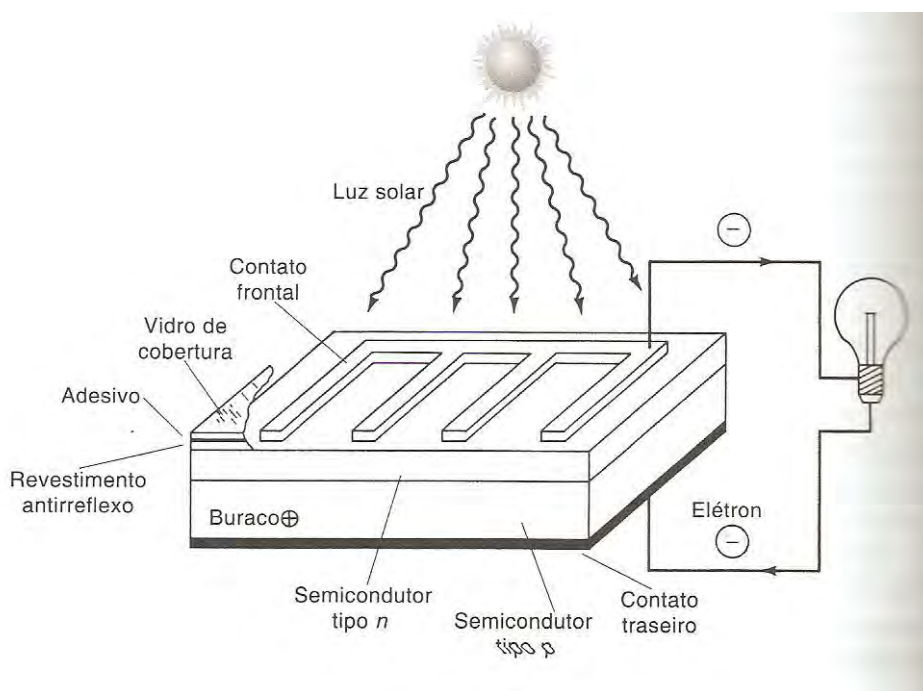


Figura 04 – Montagem esquemática de uma célula solar (Fonte: Hinrichs, Kleinbach, dos Reis, 2011).

3.4 Eficiência e desempenho das células solares

A eficiência das células fotovoltaicas depende da razão entre a energia solar incidente com a fração de energia que é convertida em potência elétrica (tensão x corrente) (Aldabó, 2002). Boa parte da luz incidente é perdida antes que possa ser convertida em energia elétrica nas células solares. As perdas acontecem porque uma parcela de luz incidente não é energética o suficiente para estimular o efeito fotoelétrico; aproximadamente 55% do espectro solar inclui comprimentos de onda longos demais para separar os elétrons de seus vínculos atômicos no cristal. A reflexão da superfície da célula e a recombinação elétron-buraco também contribuem para a diminuição da eficiência (Hinrichs, Kleinbach, dos Reis, 2011). A eficiência típica de células solares comerciais varia entre 10% a 15%, mas pode chegar a 30% dependendo do material como ilustra a tabela 01.

Tabela 01 – Eficiência conforme o material de fabricação (Aldabó, 2002).

Material	Eficiência dos módulos	
	Laboratório	Comercial
Silício monocristalino	24%	15%
Silício policristalino	18%	14%
Arsenieto de gálio (GaAs)	28%	***
Silício amorfo	10%	7%
Telureto de cádmio (CdTe)	16%	7%
Diseleneto de cobre e índio (CuInSe ₂)	18%	11% (protótipo)

Se necessário é possível também aumentar a eficiência das células fotovoltaicas até valores próximos a 30% pelo tratamento da superfície para diminuição da parcela de luz refletida, ou através da utilização de diversas camadas de filmes finos colocados um sobre os outros, permitindo a absorção de energia solar em diferentes comprimentos de onda. A perda de luz que é refletida por contatos elétricos na parte frontal da célula pode ser também minimizada com a utilização de contatos elétricos transparentes. A resistência elétrica no interior do semicondutor pode ser minimizada durante a etapa de projeto. Espelhos ou lentes podem ser utilizados para concentrar os raios solares na célula entre outras inúmeras alternativas que existem para se aumentar a eficiência das células solares (Hinrichs, Kleinbach, dos Reis, 2011).

A vida útil dos módulos fotovoltaicos, de acordo com testes práticos e de laboratórios, chega a ser superior a 20 anos. Os outros componentes do sistema apresentam vida útil variável: baterias entre 5 a 15 anos, e os componentes eletrônicos em torno de 10 anos. Ao final de sua vida útil os módulos fotovoltaicos podem ser reciclados, além de ser uma alternativa viável economicamente, minimiza os danos à natureza que sua destruição possa trazer, devido à presença de metais pesados em sua estrutura (Aldabó, 2002).

3.5 Sistemas fotovoltaicos

Como em uma bateria, a corrente de saída de uma célula fotovoltaica, será em corrente contínua e esta corrente é diretamente proporcional à quantidade de luz incidente à área da célula. A barreira potencial na junção p-n gera uma voltagem em torno de 0,5 V no monocristal de silício. Para compor uma fonte de energia de maior capacidade e atender a demanda de energia elétrica, células solares devem ser eletricamente conectadas (Hinrichs, Kleinbach, dos Reis, 2011). Células solares individuais podem ser conectadas em série e ou em paralelo, como mostra a figura 05.

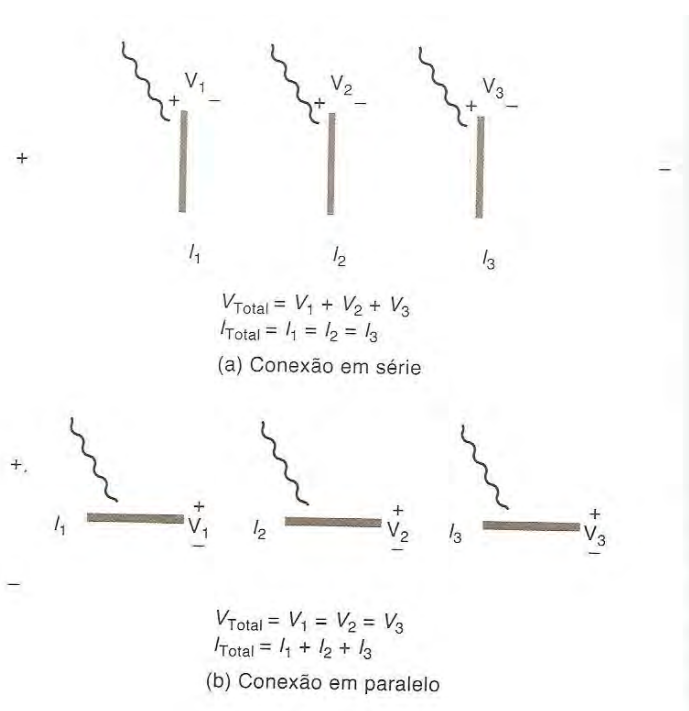


Figura 05 – Células solares podem ser conectadas em série (a) ou em paralelo (b) para fornecer mais voltagem ou mais corrente (Hinrichs, Kleinbach, dos Reis, 2011).

Quando três células solares de silício são conectadas em série, as tensões se somam para permitir uma saída de $3 \times 0,5 \text{ V} = 1,5 \text{ V}$. A corrente resultante permanece a mesma que a de uma única célula. Se três células forem conectadas em paralelo, a tensão da combinação permanece em $0,5 \text{ V}$, enquanto a corrente passa a ser o somatório das correntes produzidas nas três células. Um módulo fotovoltaico geralmente consiste em combinações de grupos de células conectadas em série e em paralelo para produzir a tensão e a corrente desejadas. Módulos comerciais padrão consistem de 36 a 72 células com uma potência de saída que varia de 50 W a 140 W (Hinrichs, Kleinbach, dos Reis, 2011).

Além das células solares, os principais componentes que compõem um sistema fotovoltaico para geração de energia elétrica são:

Painel solar: conjunto de células fotovoltaicas interligadas e dispostas em uma estrutura de sustentação que utiliza materiais comuns, devendo possibilitar o agrupamento e interligação de forma simples. O arranjo pode dispor de equipamento para orientação do painel conforme o movimento do Sol (Aldabó, 2002).

Baterias: necessárias para o armazenamento da energia gerada não consumida, servindo de Backup do sistema. Estabilizadores devem estar associados às baterias a fim de se evitar sobrecargas (Hinrichs, Kleinbach, dos Reis, 2011).

Inversores: usados para converter corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA). Como já citado, a corrente de saída de uma célula fotovoltaica é em corrente contínua. A necessidade de se converter esta corrente de contínua para alternada existe para utilizações de aparelhos eletrônicos que demandem CA, como TVs ou motores (Hinrichs, Kleinbach, dos Reis, 2011). Nos casos de mineração distribuída, para o sistema poder se conectar a rede elétrica é necessário o uso de inversores do tipo grid tie que são capazes de sincronizar sua frequência e a sua tensão de saída com a rede que se deseja conectar, 60 Hz no Brasil. Os inversores grid-tie também são capazes de se desconectar da rede da concessionária quando esta última não está fornecendo energia devido a um blecaute ou apagão (Wikipédia).

Medidores: equipamentos eletroeletrônicos ou eletrônicos capazes de mensurar o consumo de energia e ou a quantidade de energia gerada pelo sistema (Wikipédia).

Como neste trabalho será abordado a microgeração distribuída, isto significa dizer, que o sistema estará conectado a rede. Tornando, assim, desnecessário o uso de um backup composto por baterias. Em outras palavras, o backup do sistema passa a ser a própria rede elétrica, atendendo a demanda por energia do sistema durante a noite ou em dias nublados, quando não há insolação ou quando esta é insuficiente. Caso haja excedente de energia produzida o sistema poderá injetar essa energia na rede que será devidamente registrada pelos medidores e o consumidor poderá receber os créditos referente a essa geração de energia injetada na rede.

A figura 06 é bem ilustrativa quanto ao funcionamento da microgeração distribuída para uma edificação residencial ou comercial. Nota-se que o sistema da figura está conectado a rede utilizando apenas o painel, o medidor e o inversor sem possuir baterias gerando uma economia no custo inicial do projeto. No entanto, vale lembrar que os inversores do tipo grid tie, necessários para a conexão do sistema com a rede, são muito mais caros que os inversores comuns.

Miniusina solar urbana

Geração distribuída conectada à rede é uma forma segura de produzir energia nos lugares onde ela é mais consumida

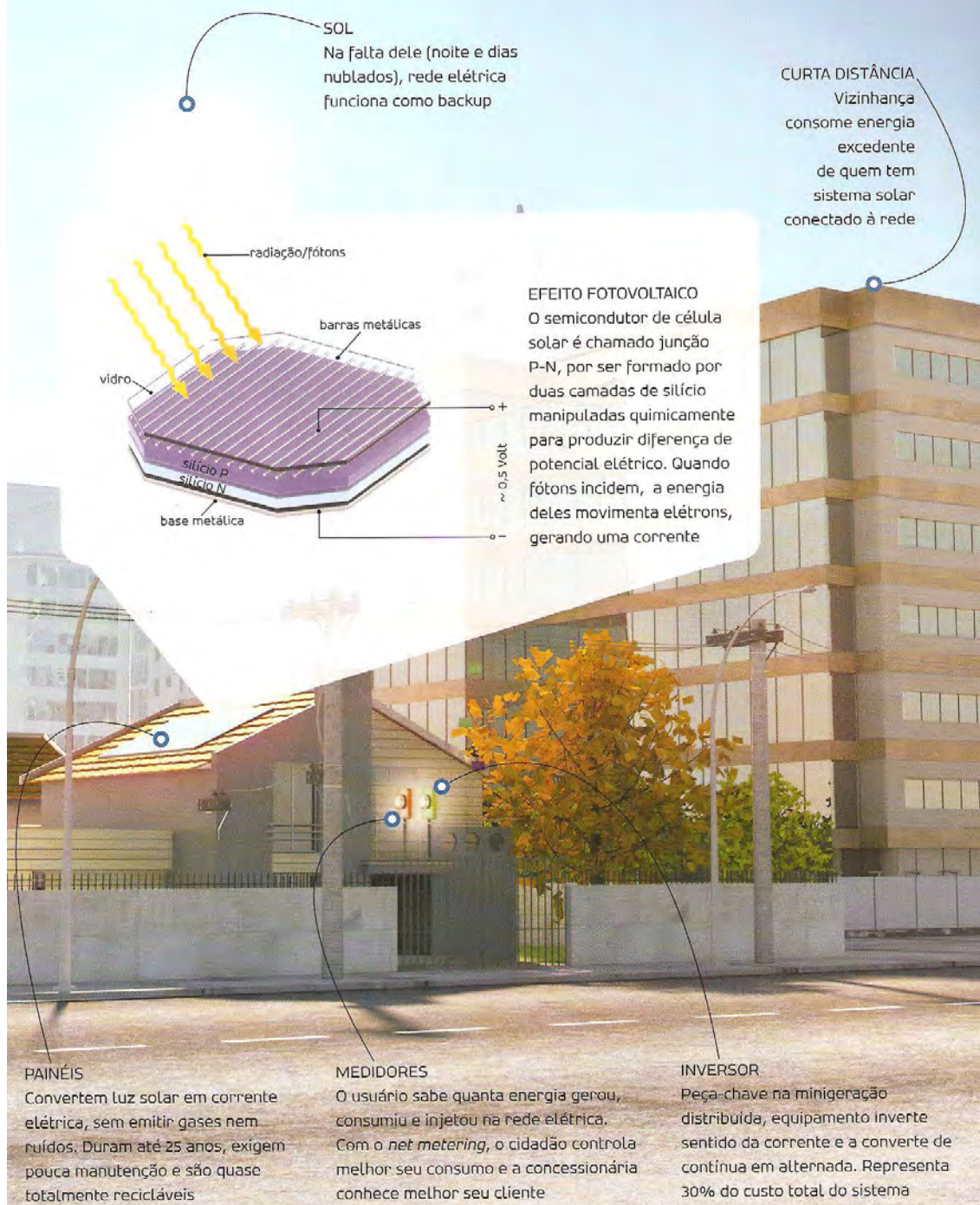


Figura 06 – Miniusina solar urbana (Christante, 2012).

3.6 Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos

O dimensionamento de um sistema fotovoltaico depende basicamente de dois fatores: a insolação média no local a ser instalado o módulo e a demanda de energia.

O consumo de energia é medido em kWh (Energia = Potência x tempo de uso) e pode ser estimado se analisarmos a potência dos aparelhos que irão ser alimentados pelo sistema e seu tempo de uso (Hinrichs, Kleinbach, dos Reis, 2011). Outra maneira de se analisar mais precisamente a demanda por energia de uma residência ou estabelecimento comercial é através das contas de luz dos meses e anos anteriores (Aldabó, 2002).

A insolação diária, como já citada, depende do local, período do ano, clima e orientação do módulo. Para facilitar o dimensionamento, a insolação diária média pode ser utilizada e também representada como o número de horas por dia com insolação de 1.000 W/m^2 , denominado número de “watts pico” ou representado por Wp (Hinrichs, Kleinbach, dos Reis, 2011). Considerar um local com uma insolação média anual de 5.000 W/m^2 por dia é o mesmo que considerar uma insolação média anual de 5,0 “watts pico” por dia.

Nos catálogos de fabricantes de módulos solares encontramos informações como potência nominal, corrente, tensão, eficiência do módulo, dimensões, informações sobre a resistência mecânica entre outras, como mostra a figura 07. A potência nominal dos módulos solares são valores de potência que o módulo é capaz de entregar em watts quando o módulo está exposto à insolação padrão de 1.000 W/m^2 a 25° C .

Mitsubishi Electric Photovoltaic Module

Specification Sheet

Manufacturer	MITSUBISHI ELECTRIC
Model name	PV-UJ225GA6
Cell type	Polycrystalline Silicon, 156 mm x 156 mm
Number of cells	60 cells in a series
Maximum power rating (Pmax)	225Wp
Warranted minimum Pmax	218.3Wp
Tolerance of maximum power rating	+/-3%
Open circuit voltage (Voc)	36.4V
Short circuit current (Isc)	8.30A
Maximum power voltage (Vmp)	30.0V
Maximum power current (Imp)	7.50A
Maximum system voltage	DC 600V
Fuse rating	15A
Dimensions	65.3 x 39.1 x 1.81 inch (1658 x 994 x 46 mm)
Weight	44 lbs (20kg)
Static load test passed	5,400 Pa (112 lbf/ft ²)
Number of modules per pallet	20
Number of modules per container (40 ft. container)	560
Packing contents	2 pcs - 1 carton
Output terminal	(Positive) 1025mm (Negative) 1025mm with MC connector (PV-KBT4/6 II-UR, PV-KST4/6 II-UR)
Module efficiency	13.7%
Certifications	IEC61215 2nd Edition, conforms to UL1703, UL 61730
Fire rating	Class C
Ambient temperature	-20 to 40 degrees C

Figura 07 – Catálogo do módulo solar Mitsubishi 225 W Premium (energiapura.com).

As duas variáveis, incidência solar média e demanda de energia, se associam no dimensionamento de um sistema fotovoltaica da seguinte forma. Supondo o dimensionamento de um painel em um local com insolação de 5.000 W/m², ou 5,0 “watts pico” por dia, e considerando uma demanda de 300 kWh por mês, ou 10 kWh por dia. Seria necessário um sistema de 2.000 W de potência instalada (10 kWh / 5,0h = 2 kW), ou seja, um painel solar composto por 10 módulos de potência em torno de 200 W cada.

A figura 08 mostra uma casa em Hohenhaslach na Alemanha, que possui uma potência instalada de 5.760 W composta por 32 módulos fotovoltaicos aleo S_16 com 180 W de potência nominal cada. O sistema ainda possui um inversor de frequência SMA.



Figura 08 – Casa com potência instalada de 5.760 W (bs-solar.de)

4 COLETORES SOLARES

4.1 Panorama geral do aquecimento solar

Há evidências que o uso da energia solar para aquecimento acontece desde a antiguidade, diferentemente do uso da energia solar para a geração de energia elétrica direta que possui uma história bem mais recente. No entanto, apenas na década de 70 e meados de 1980 o aquecimento solar experimentou um grande crescimento em razão do embargo do petróleo em 1973 e dos subsequentes aumentos nos preços do petróleo e da eletricidade. Aliado a isso, programas de financiamento e incentivos fiscais forneceram o incentivo adicional para que as pessoas instalassem sistemas de aquecimento solares em suas casas. Contudo, com o término desses incentivos na metade da década de 80 houve uma repentina interrupção no crescimento dessa indústria (Hinrichs, Kleinbach, dos Reis, 2011).

Hoje, o uso mais popular dos sistemas solares de aquecimento é o fornecimento de água quente para propósitos e usos domésticos ou para piscinas, embora possa ser também utilizado para o aquecimento de ambientes. Atualmente a comercialização de tais sistemas continua a crescer lentamente, mas de forma constante, exceto Ásia e Europa que vem presenciando um crescimento mais acelerado (Hinrichs, Kleinbach, dos Reis, 2011).

4.2 Substituição do chuveiro elétrico

Conforme levantamento de consumo de energia elétrica feito pelo Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), o setor residencial responde por 24% do consumo total de energia elétrica no país e dentro desse setor, o aquecimento de água tem participação de 26%. Desta forma, o aquecimento de água é responsável por 6% de todo o consumo nacional de energia elétrica (Aldabó, 2002). O gráfico da figura 09 ilustra o consumo residencial no Brasil.

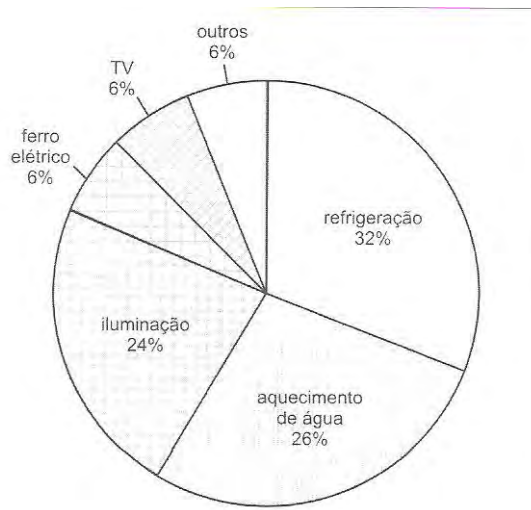


Figura 09 – Consumo residencial no Brasil (Aldabó,2002).

Comparado com outros países, o consumo de energia do Brasil é baixo. Mas, nos últimos anos, com a melhoria da condição social e econômica no país, o consumo vem aumentando significativamente. O setor residencial, de maior crescimento, vem impulsionando esse aumento. A forma predominante de aquecimento de água doméstica no Brasil é o chuveiro elétrico. O chuveiro elétrico possui alta eficiência, com alta taxa de conversão de energia elétrica em calor. No entanto, em pesquisas realizadas pela ELETROPAULO e a USP, constatou-se que nas habitações populares o uso do chuveiro elétrico amplia em 121% a potência média instalada e em 365% a demanda máxima média das unidades. Cálculos recentes indicam que a participação dos chuveiros na demanda em horário de pico varia de 20% a 25%. Isso representa o baixo fator de carga do equipamento, conduzindo a uma pequena participação no faturamento das concessionárias, mas elevado investimento associado ao atendimento na demanda máxima (Aldabó, 2002).

Desta forma, apesar do baixo custo para o usuário final, em torno de R\$ 50,00, o chuveiro elétrico representa um elevado investimento para as concessionárias, em torno de R\$ 2.000,00 por chuveiro instalado, se considerado apenas os investimentos na geração (Aldabó, 2002). Considerando as informações apresentada e levando em conta que o potencial brasileiro de energia solar que pode ser usado para o aquecimento de água doméstica é muito significativo, conclui-se que a aplicação em larga escala dos aquecedores solares seria uma alternativa viável e competitiva não só devido à

economia de eletricidade que ela proporciona aos seus consumidores como também para as empresas geradoras.

4.3 Coletor de placa plana

Todos os sistemas solares de aquecimento possuem algumas características em comum – um aparelho de coleta denominado coletor, uma estrutura de armazenamento e um sistema de distribuição como ilustra a figura 10. O aquecimento solar, tanto de residências quanto para a obtenção de água quente, pode ser realizado de duas formas: ativa ou passivamente. Um sistema solar ativo é aquele no qual o fluido (água ou ar) que o Sol aqueceu é circulado por um ventilador ou por uma bomba. Os sistemas solares passivos não usam fonte externa de energia para a circulação do fluido aquecido, mesmo assim permite que o fluido circule devido ao fenômeno da convecção natural (Hinrichs, Kleinbach, dos Reis, 2011).

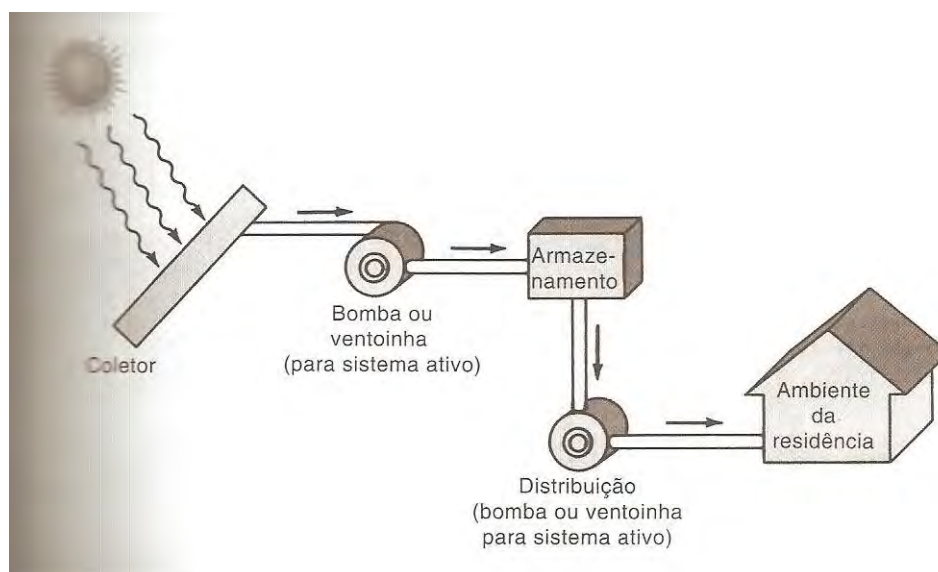


Figura 10 – Características gerais de um sistema solar de aquecimento (Hinrichs, Kleinbach, dos Reis, 2011).

O coletor solar é o equipamento principal do sistema de aquecimento solar, sendo o responsável pela absorção e transferência da radiação solar para um fluido sob a forma de energia térmica (Aldabó, 2002). Os sistemas mais comuns para aquecimento de água quente doméstica e para aquecimento de piscinas usam coletores de placas

planas. A figura 11 ilustra uma vista lateral em corte de um coletor de placa plana convencional, mostrando as perdas e ganhos de calor.

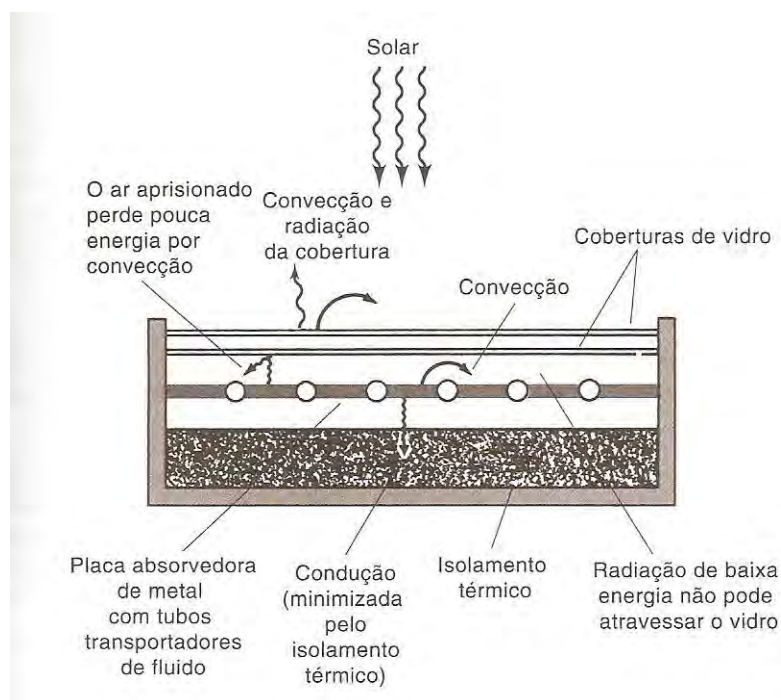


Figura 11 – Corte lateral de um coletor de placa plana (Hinrichs, Kleinbach, dos Reis, 2011).

O componente básico de um coletor solar plano é a placa de metal fina e plana que absorve a radiação solar. A água nas tubulações entra em contato com a placa absorvedora e é posta em circulação por uma bomba, no caso de sistemas forçados. A placa é pintada de preto para aumentar sua capacidade de absorção e geralmente coberta por uma ou duas placas de plástico ou vidro transparentes. No coletor, o vidro tem dois objetivos: atuar como um escudo de radiação que aprisiona o calor emitido pela placa absorvedora e como uma tampa que reduz a perda de calor por convecção vertical simples. O isolamento térmico atrás e dos lados da placa absorvedora reduz as perdas por condução e a vedação é essencial para evitar interferências externas, impedindo a entrada de umidade, responsável pela degradação de alguns componentes do coletor (Hinrichs, Kleinbach, dos Reis, 2011).

Para as placas absorvedoras existem diversos desenhos, alguns mostrados na figura 12. Os tubos que transportam a água são soldados dentro das placas absorvedoras ou “ensanduichados” entre duas placas de metal. É extremamente importante que os

tubos condutores de água façam um bom contato térmico com a placa absorvedora para garantir uma boa eficiência do sistema. Metais que possuem alta condutividade térmica, como o alumínio e o cobre, são comumente utilizados (Hinrichs, Kleinbach, dos Reis, 2011).

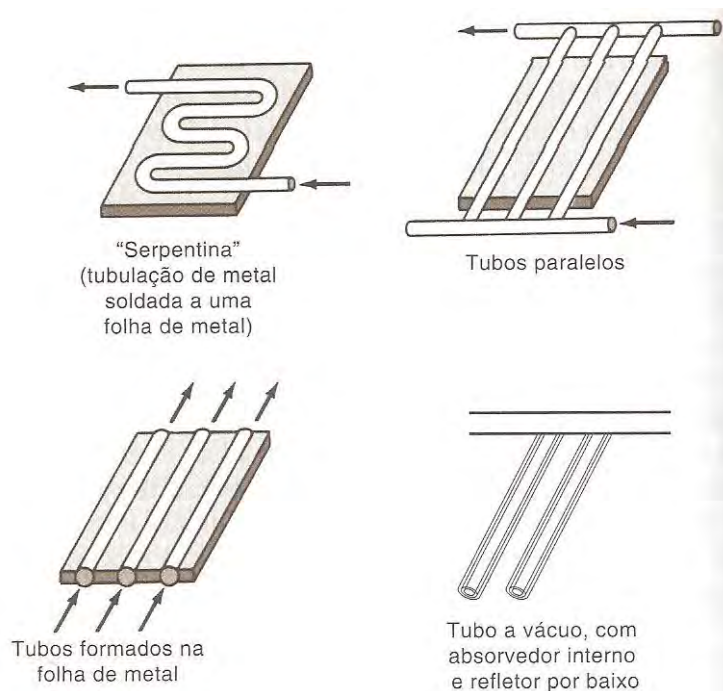


Figura 12 – Diferentes placas absorvedoras de coletor solar (Hinrichs, Kleinbach, dos Reis, 2011).

4.4 Tipos de sistemas de aquecimento solar

Como citado anteriormente, os sistemas de aquecimento solares podem ser passivos ou ativos. Nos sistemas passivos também denominados termossifão, a circulação do fluido aquecido não ocorre de forma forçada, ou seja, o sistema não possui bombas ou ventiladores para auxiliarem na circulação do fluido. Nos sistemas de aquecimento de água por termossifonamento a água flui do coletor para o tanque por circulação natural. A água aquecida no coletor é menos densa que a água fria que entra no sistema e vai subir para dentro do tanque. Para este método funcionar corretamente o tanque de armazenamento deve-se localizar acima do coletor (Hinrichs, Kleinbach, dos Reis, 2011).

Aquecedores de água por lote ou batelada, ou aquecedores bread-box, são sistemas baratos e populares, assim como os por termofissão, também utilizam a circulação natural, dispensando o uso de bombas. O projeto é bastante simples: um tanque preto, dentro de uma caixa termicamente isolada e com uma cobertura de vidro, absorve a energia solar para aquecer a água doméstica. Coberturas termicamente isoladas são colocadas sobre o vidro durante a noite. A água fria vinda do sistema municipal de abastecimento substitui a que está no tanque à medida que uma torneira de água quente é aberta. O conteúdo do tanque preto normalmente flui para um aquecedor de água convencional, onde pode ser mais aquecido, se necessário. A figura 13 mostra um sistema de dois tanques que pode suprir as necessidades de uma família de até quatro pessoas (Hinrichs, Kleinbach, dos Reis, 2011).

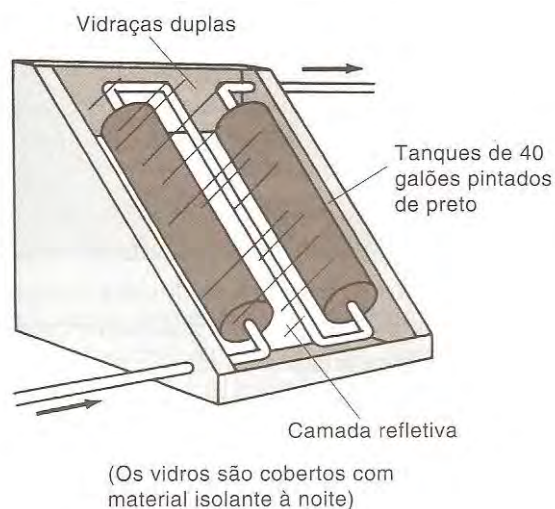


Figura 13 - Aquecedor de água por lote ou batelada (Hinrichs, Kleinbach, dos Reis, 2011).

Apesar de simples e baratos os sistemas passivos apresentados possuem uma baixa eficiência se comparados com sistemas de aquecimentos ativos que são mais complexos e necessitam não só coletores e reservatórios de armazenamentos de água, mas também bombas de circulação, sensores e mecanismos de controle. Os sistemas ativos podem ser do tipo direto, também chamado de malha aberta, ou indireto, malha fechada (Aldabó, 2002).

O tipo direto aquece diretamente a água de serviço no coletor. O tipo indireto aquece outro fluido no coletor, tal como o freon ou água destilada, que passa por um

trocador de calor e transfere seu calor para a água de serviço. Apesar do sistema de aquecimento tipo direto ser mais eficiente, ele requer mais manutenção e sofre a ação de deposição mineral, que pode obstruir os dutos. Além disso, deve ser provido de dreno de segurança para prevenir danos causados pelo sobreaquecimento (Aldabó, 2002).

A figura 14 é um diagrama de um sistema solar ativo e indireto. O coletor de placa plana é montado no telhado, com os outros componentes ficando dentro da casa. O uso de anticongelantes como, glicol propileno ou glicol etileno, fornece proteção contra o congelamento. Comumente os sistemas de aquecimento de água doméstica utilizam um tanque reserva para aquecer a água, com eletricidade ou gás natural, até a temperatura desejada, caso o sistema solar não seja capaz de fornecer uma quantidade de água quente suficiente (Hinrichs, Kleinbach, dos Reis, 2011).

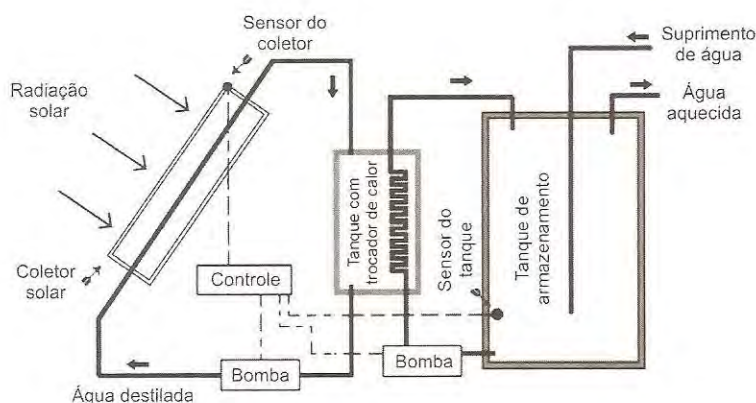


Figura 14 – Sistema ativo tipo indireto para aquecimento de água (Aldabó,2002).

O aquecimento de água pode também ser combinado com o aquecimento de ambientes. O funcionamento é semelhante ao de um sistema solar ativo e indireto com coletores de placa plana, porém com parte da água quente obtida alimentando trocadores de calor para o aquecimento do interior da residência, como ilustra a figura 15. Para atender às demandas tanto de aquecimento de ambientes quanto de água quente são utilizados aquecedores auxiliares, que compensam os dias de baixa insolação (Hinrichs, Kleinbach, dos Reis, 2011).

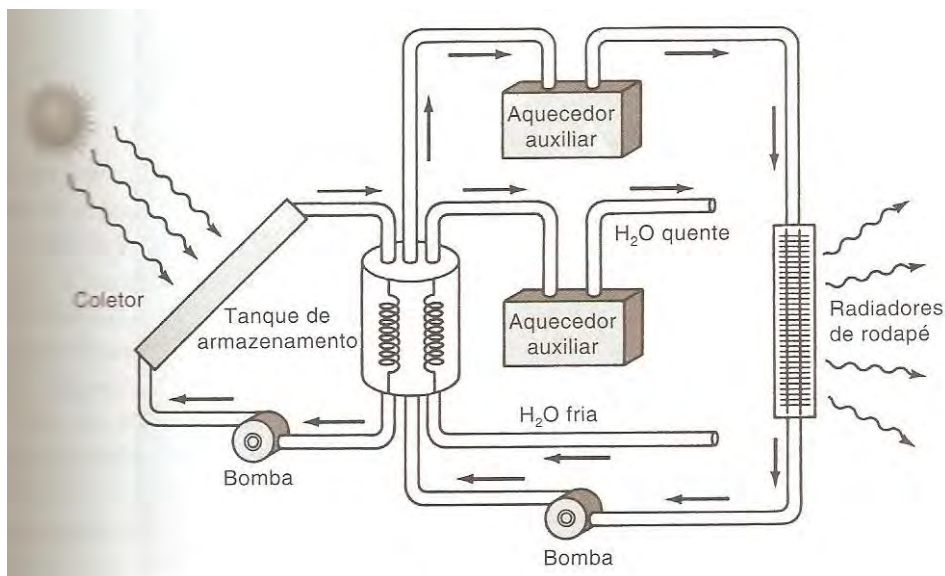


Figura 15 – Sistema doméstico básico de aquecimento de ambiente e água (Hinrichs, Kleinbach, dos Reis, 2011).

4.5 Dimensionamento de sistemas de água quente

Muitos aspectos devem ser levados em conta na instalação de uma pequena central geradora em uma casa. Um deles é a redução da necessidade de energia elétrica através do uso de lâmpadas e aparelhos de alta eficiência (Hinrichs, Kleinbach, dos Reis, 2011). O uso de coletores solares irá também reduzir a necessidade de energia elétrica, já que o consumo de aproximadamente um quarto de eletricidade de uma casa pode ter origem no aquecimento de água. Por isso, a aplicação de coletores solares neste trabalho é justificada.

Assim como no dimensionamento das células fotovoltaicas, o dimensionamento de sistemas de água quente depende basicamente de duas variáveis, insolação e demanda de energia. Entretanto, a demanda de energia agora não será mais na forma de eletricidade e sim na forma de calor para aquecer a água, ou seja, a demanda de energia será igual à demanda por água quente. Essas duas variáveis irão influenciar diretamente o cálculo do tamanho dos coletores.

Considerando um local com uma insolação média de 5.000 J/m^2 por dia e supondo uma residência com um consumo diário de 300 l e com uma necessidade de se aquecer a água de $20 \text{ }^\circ\text{C}$ para $55 \text{ }^\circ\text{C}$, terá o cálculo da área do coletor da seguinte maneira.

Através da equação, que relaciona variação de temperatura e a quantidade de calor a ser adicionada $Q = m.c.\Delta T$, calculamos a demanda por energia térmica diária que o coletor terá que atender. Com base na demanda de energia calculada calculamos a área do coletor pela relação $Q = \text{insolação} \times \text{área} \times \text{eficiência}$.

Substituindo os valores considerados acima nas fórmulas, tem-se a demanda por energia térmica diária:

$$Q = (1 \text{ kg/l} \times 300 \text{ l/dia}) \times (4.186 \text{ J/kg.}^\circ\text{C}) \times (55 \text{ }^\circ\text{C} - 20 \text{ }^\circ\text{C}) = 43.953 \text{ kJ/dia}$$

Considerando um coletor com uma eficiência razoável de 50%, obtêm-se área dos coletores necessária para atender a demanda de energia.

$$43.953 \text{ kJ/dia} = 5.000 \text{ J/m}^2 \cdot \text{dia} \times \text{área} \times 0,5$$

$$A = 17,58 \text{ m}^2$$

Para este caso, o coletor deverá ocupar uma área de aproximadamente 18 m^2 .

Para garantir que haja insolação incidente sobre os coletores durante o ano todo, os coletores deverão ser instalados voltados para o Norte no Brasil, e para o Sul no caso da residência estar no hemisfério Norte (Hinrichs, Kleinbach, dos Reis, 2011). A inclinação dos coletores deve ser em um ângulo próximo ao da latitude local mais 10 graus (Aldabó, 2002).

5 GERADORES EÓLICOS

5.1 Energia eólica

O interesse em aproveitar os ventos certamente não é novo; eles foram uma das primeiras fontes naturais de energia a serem utilizadas. Existem indícios da existência de moinhos de vento na Babilônia e na China entre 2000 e 1700 a. C. para bombear água e moer grãos. Os moinhos de vento foram introduzidos na Europa por volta do século XII e, em 1750, a Holanda tinha 8 mil deles, e a Inglaterra, 10 mil. Sua utilização, no entanto, entrou em declínio após a introdução do motor a vapor de watt no fim do século XVIII. Para a geração de energia elétrica nas áreas rurais dos Estados Unidos, milhares de unidades de 2 kW a 3 kW foram instalados durante as décadas de 1930 e 1940, que vieram a ser desestimuladas por meio de incentivos a construção de usinas de energia elétrica (Hinrichs, Kleinbach, dos Reis, 2011).

A energia eólica tem despertado cada vez mais o interesse de empresas e governos, atualmente é a forma de energia que mais cresce mundo a fora. Entre os fatores que justificam esse crescimento está o baixo impacto ambiental que a energia eólica gera. Seus principais problemas são: a poluição visual, preocupação com o barulho produzido, interferência nas comunicações e acidentes com aves de rapina. A tendência é a instalação de turbinas maiores cujas pás girem mais vagarosamente. Este fato, combinado com o cuidado de alocar as turbinas fora das rotas migratórias dos pássaros, reduziu substancialmente a taxa de mortalidade das aves. Hoje se sabe que colisões de pássaros com automóveis e janelas de prédios altos causam mais mortes do que as turbinas eólicas (Hinrichs, Kleinbach, dos Reis, 2011).

Outras características positivas das turbinas de vento são seus curtos períodos de construção, o tamanho reduzido de suas unidades em relação ao de outros tipos de geradores de eletricidade e sua capacidade de adaptação, sob medida, a usos e localizações específicas. Outra vantagem da energia eólica, especialmente no caso da utilização residencial, é que ela é um excelente complemento para a energia solar, pois dias com pouco sol geralmente são aqueles de com ventos acima da média (Hinrichs, Kleinbach, dos Reis, 2011).

5.2 Disponibilidade de energia

A disponibilidade de energia eólica está ligada a fatores físicos e geológicos. A energia eólica se forma devido à diferença de aquecimento da superfície terrestre. Isso acontece por vários motivos, entre os quais a inclinação do eixo terrestre sob a incidência dos raios solares. Portanto, a disponibilidade de energia eólica depende da hora, dia, estação do ano e de outros aspectos climáticos (Aldabó, 2002).

As diferenças de aquecimento na superfície terrestre modificam a densidade do ar. O ar mais quente é menos denso e sobe na atmosfera. O vazio deixado por ele é ocupado por uma massa de ar mais frio, que possui maior densidade. Essa diferença proporciona um deslocamento de massas denominado corrente de convecção. O movimento das massas de ar é dotado de uma grande quantidade de energia, na forma cinética, dada pela relação $((m.v^2)/2)$ (Aldabó, 2002).

Como a massa, na relação acima, é a massa de ar que atinge as lâminas do gerador eólico em uma unidade de tempo, ela depende da velocidade do vento ($\rho.A.v$). Quanto maior a velocidade, mais o vento vai impactar as lâminas do rotor a cada segundo. Desta forma, a energia eólica transferida em um determinado tempo é proporcional à velocidade ao cubo $((\rho.A.v^3)/2)$. A potência de saída também se relaciona com a área varrida pelas lâminas; a área é proporcional ao quadrado do diâmetro da lâmina $((\pi.D^2)/4)$. Como o ar apresenta uma baixa densidade, as lâminas da turbina têm de varrer uma grande área para produzir uma quantidade significativa de energia (Hinrichs, Kleinbach, dos Reis, 2011).

Se o rotor de uma turbina eólica extraísse toda a energia existente no vento, a velocidade do vento após atingir as lâminas seria zero e, desse modo, o ar iria se acumular atrás das pás. Portanto, há um limite teórico de 59,3% para extração da energia do vento chamado limite de Betz, que representa a eficiência máxima que uma turbina de vento pode atingir. Ao se agruparem todos os fatores citados nos parágrafos anteriores e utilizando o fator de conversão de 0,59 (“limite de Betz”), podemos escrever a máxima produção de energia eólica teórica como (Hinrichs, Kleinbach, dos Reis, 2011):

$$P = 2,83.10^{-4}.D^2.v^3 \text{ [kW]}$$

com D em metros e v em metros por segundo, ou

$$P = 2,36.10^{-6} \cdot D^2 \cdot v^3 \text{ [kW]}$$

com D em pés e v em milhas por hora.

Utilizando tais relações, os valores da potência teórica de saída para várias velocidades do vento e diâmetros de lâmina são apresentados na tabela 02. Um aumento na velocidade do vento de 10 mph para 30 mph vai gerar 27 vezes mais potência na turbina. Sendo assim, a velocidade do vento para aplicações de turbinas é um dos fatores mais importantes a serem consideradas nos projetos eólicos, por exemplo, três horas de ventos a 20 mph e três horas de vento a 10 mph em um determinado local vão gerar duas vezes mais energia que seis horas de ventos a 15 mph (Hinrichs, Kleinbach, dos Reis, 2011).

Tabela 02 – Saídas máximas teóricas (Hinrichs, Kleinbach, dos Reis, 2011).

Velocidade do Vento (mph)	Potência Extraída (kW)*			
	D = 12,5 pés	D = 25 pés	D = 50 pés	D = 100 pés
10	0,37	1,48	5,9	23,7
20	2,95	11,8	47	189
30	9,96	39,8	159	637
40	23,6	94,4	378	1.510
50	46,1	184	738	2.950

5.3 Fator de Capacidade

O fator de capacidade é um dos elementos na medição da produtividade da geração de energia. Ele compara a produção atual do sistema num determinado período de tempo com a quantidade de energia que o sistema poderia ter produzido em plena capacidade, para o mesmo período de tempo. Nos sistemas eólicos atuais, considerando que o vento é firme em determinados períodos e mais fracos ou inconstante em outros, o fator de capacidade médio anual deve ficar entre 30 e 45%. O fator de capacidade deve ser considerado no projeto de sistemas eólicos para a estimativa da energia que possa vir a ser gerada anualmente (Aldabó, 2002).

Se a potência de um sistema em plena capacidade é atingida com ventos de 20 mph (velocidade de projeto), caso ocorram ventos de velocidades superiores, a inclinação das lâminas tem de ser modificadas para evitar que a turbina eólica produza mais energia mecânica do que o gerador é projetado para suportar. Se a potência projetada é de 10 kW para ventos de 20 mph, então boa parte do tempo apenas uma pequena produção será fornecida. Se a velocidade do vento diminuir para 15 mph, então a potência de saída será reduzida para $(15/20)^3 \times 10 \text{ kW} = 4,2 \text{ kW}$ (Hinrichs, Kleinbach, dos Reis, 2011).

5.4 Turbinas eólicas

As turbinas eólicas são classificadas em função da orientação do eixo do rotor. Existem turbinas de eixo horizontais e de eixo verticais. Os tipos mais comuns são aqueles com eixos horizontais e lâminas verticais. A figura 16 mostra três tipos de moinhos de vento de eixo horizontal. O rotor do tipo “holandês” de quatro pás era utilizado para bombear água e produzir farinha, mas tinha uma baixa eficiência para conversão de energia elétrica, em torno de 7%. O tipo americano de múltiplas pás ainda está em uso para bombeamento de água, mas gera apenas algo em torno de 3 kW com ventos de aproximadamente 25 km/h. O propulsor de duas ou três lâminas é o mais eficiente desses tipos para a geração de eletricidade e também o mais comum (Hinrichs, Kleinbach, dos Reis, 2011).

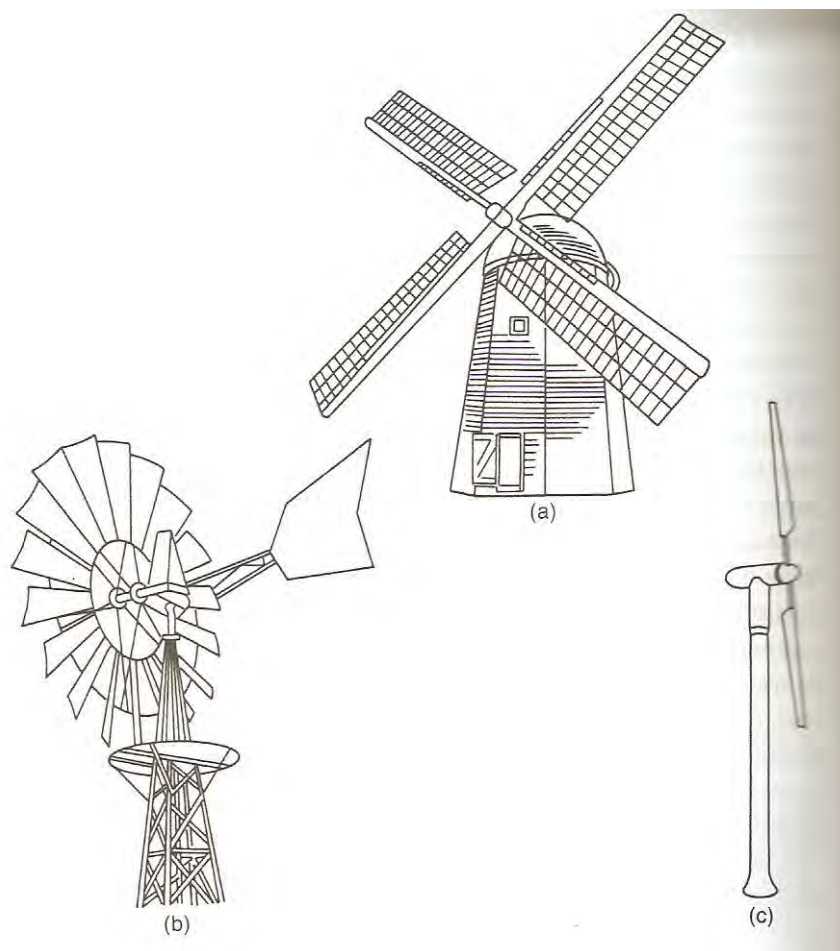


Figura 16 – Três tipos de moinhos de vento: (a) Moinho holandês, (b) Moinho de vento americano de múltiplas pás, (c) Turbina eólica de duas lâminas (Hinrichs, Kleinbach, dos Reis, 2011).

A figura 17 compara as configurações de turbinas de vento de eixo horizontal e de eixo vertical. Rotores de eixo vertical possuem a vantagem de não ter de mudar de posição quando o vento muda de direção. Eles também têm sua caixa de câmbio e seu gerador montados no solo, e não no alto da torre, o que reduz seu custo com estrutura. Contudo, são difíceis de serem instalados no alto de torres para aproveitar as velocidades mais altas do vento (a potência eólica aumenta conforme a altura acima do terreno (Aldabó, 2002)), o que faz sua popularidade pequena. Boas turbinas eólicas são aquelas podem utilizar ventos de alta velocidade de forma eficiente, já que a produção de energia está relacionada ao cubo da velocidade do vento. Geradores com eixos horizontais com menos lâminas, duas ou três, são mais eficientes que os de múltiplas pás, os quais são bons em baixas velocidades de vento. Em condições de ventos fortes,

turbinas de poucas pás, conseguem descartar ou dispersar o excesso de força que o gerador não consiga processar, sem, contudo, danificá-los (Hinrichs, Kleinbach, dos Reis, 2011).

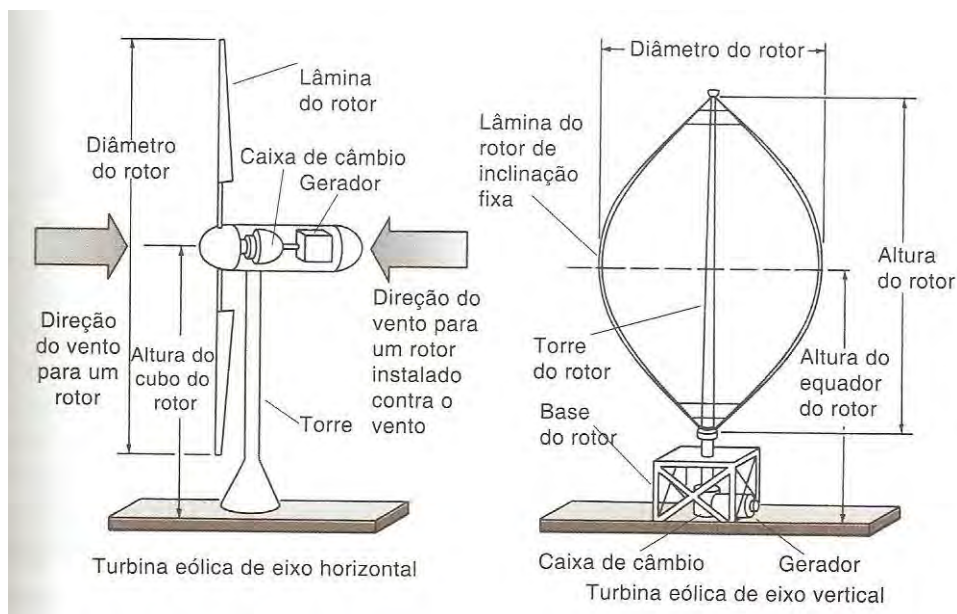


Figura 17 – Turbinas de vento de eixo horizontal e de eixo vertical (Hinrichs, Kleinbach, dos Reis, 2011).

As turbinas de eixo horizontal podem ser projetadas para operar com a face contra a direção do vento (upwind), ou projetadas para serem operadas com o rotor posicionado a favor do vento (downwind). Ao contrário da turbina upwind, a turbina downwind não necessita de um dispositivo para orientação, se o conjunto possuir uma forma aerodinâmica para posicionamento livre a favor do vento. Mas a ausência desse dispositivo pode trazer consigo grandes problemas como: falta de orientação de giro da turbina e, assim, não há como evitar que os cabos elétricos de saída da turbina fiquem torcidos, ou o próprio rotor é um obstáculo causando flutuação na intensidade do vento e, com isso, cargas de fadiga se intensificarão (Aldabó, 2002).

5.5 Sistemas de energia eólica

Os componentes básicos de um sistema de energia eólica são mostrados na Figura 18. A pressão do vento faz girar as pás do rotor que está conectado a um eixo

conectado, por meio de engrenagens, ao gerador elétrico. Para sistemas residenciais conectados a rede elétrica, como é o caso desse trabalho, o uso de baterias deve ser dispensado a fim de diminuir os gastos iniciais do sistema. Já o inversor síncrono é fundamental para a microgeração distribuída, pois converte a corrente contínua que sai do gerador eólico em alternada e permite, assim, a conexão para operação em paralelo com a rede elétrica da concessionária na frequência correta, 60 Hz no Brasil (Hinrichs, Kleinbach, dos Reis, 2011).

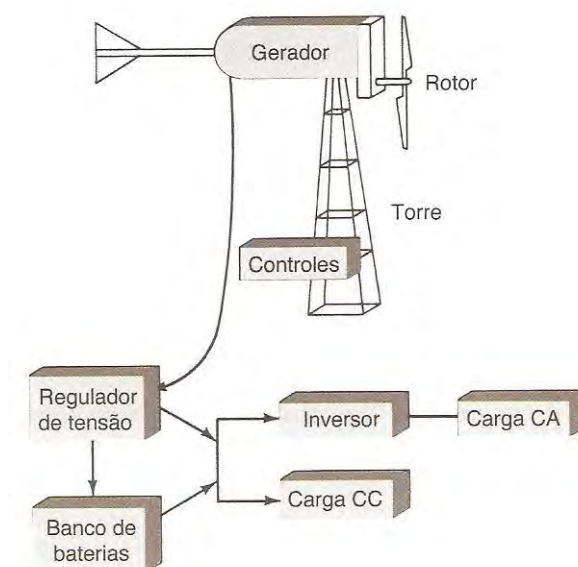


Figura 18 – Sistema de energia eólica (Hinrichs, Kleinbach, dos Reis, 2011).

Alguns componentes básicos de uma turbina eólica como engrenagens, passo, engrenagens, freio, dispositivo de orientação, anemômetros, valeta, entre outros componentes, estão dispostos na figura 19. Estes componentes são fundamentais para garantir um funcionamento adequado de uma turbina eólica. Com eles é possível controlar até 500 variáveis, tais como velocidade de rotação do rotor, tensão e corrente do gerador, ângulo de giro das pás, o ângulo do dispositivo de orientação, direção e velocidade do vento, intensidade e frequência das vibrações nas pás, o número de torções do cabo de corrente, entre outras (Aldabó, 2002).

eólica depende da velocidade do vento de projeto, na qual o gerador produz sua potência nominal, e do perfil de velocidade do vento, ou seja, número de horas de ocorrência de vento a uma determinada velocidade. Por causa da dependência com o cubo da velocidade do vento que a potência de saída apresenta, não podemos utilizar a velocidade média de vento. Para calcular a produção mensal de energia com mais precisão, pode-se calcular a potência em cada velocidade do vento, multiplica-la pelo número de horas diárias de ocorrência dessa velocidade durante um mês e somar os totais para obter o número de quilowatt-hora produzido por mês (Hinrichs, Kleinbach, dos Reis, 2011).

Tabela 04 – Dados técnicos de um aerogerador (fc-solar.com).

Potência nominal	3 kW
Potência máxima	4,5 kW
Velocidade de projeto (m/s)	10
Velocidade de vento (m/s)	3 – 25
Velocidade nominal do rotor (r/min)	220
Voltagem de saída	220v
Altura da torre (m)	8
Diametro da Lâmina (m)	5

Considerando um local com uma demanda mensal de 300 kWh, o que significa dizer aproximadamente 10 kWh/dia e uma turbina eólica, com desempenho exposto na tabela 04, com potência de projeto de 3 kW para ventos de 10 m/s. Supondo que no local em que a turbina foi instalada em um dia ocorreu 20 horas de ventos de 5 m/s, 3 horas onde os ventos não atingiram 3 m/s e 1 hora com ventos de aproximadamente 10 m/s. Neste dia seria gerado um total de 10,5 kW (cálculo abaixo), o que atenderia a demanda estipulada de 10 kW/dia.

$$E = (1 \text{ h.} (10 / 10)^3 \cdot 3 \text{ kW}) + (20 \text{ h.} (5 / 10)^3 \cdot 3 \text{ kW}) + 0$$

$$E = 3 \text{ kWh} + 7,5 \text{ kWh}$$

$$E = 10,5 \text{ kWh}$$

Vale ressaltar que no período em que os ventos sopraram abaixo de 3 m/s não foi gerada energia, pois os sistemas de controle permiti a partida apenas com ventos acima

da velocidade de partida de 3 m/s. Portanto, segundo Aldabó, em instalações com acesso a rede elétrica convencional a velocidade média anual do vento, no local da instalação da turbina, deve ser de no mínimo de 4,5 m/s para ser justificada a instalação da turbina. A figura 20 ilustra um aerogerador com uma potência nominal de 2,4 kW instalado em uma agência bancária em São Luís do Maranhão.



Figura 20 – Aerogerador Skystream no Banco HSBC em São Luis do Maranhão (energiapura.com).

6 ESTUDO DE CASO

Como nem todo lugar possui bom potencial eólico ou solar, é necessário primeiro uma avaliação do potencial local para depois, se decidir pelo modo de geração distribuída mais adequada para a localidade em questão. Por isso será exposto neste estudo de caso sistemas de minigeração distribuída com três configurações diferentes. Na primeira configuração será estudado o uso de células fotovoltaicas juntamente com coletores solares. Na segunda configuração será considerado uso de coletores solares juntamente com um aerogerador de pequeno porte. Por último, a terceira configuração será composta por um aerogerador de pequeno porte, um sistema fotovoltaico e coletores solares.

6.1 Levantamento de dados

6.1.1 Demanda por energia

Para estudo de caso será considerada uma residência, na qual teve um consumo médio mensal no ano de 2012 de 511 kWh, como exposto na tabela 05. Consumo razoável baseado em uma residência na qual moram 6 pessoas, onde o aquecimento de água ocorre principalmente através de chuveiros elétricos, não há aparelhos de ar-condicionado.

Tabela 05 – Consumo ao longo do ano para o estudo de caso.

	Consumo eletricidade		
	kWh	Valor (R\$)	R\$/kWh
Jan	391	187,86	0,4805
Fev	405	196,03	0,4840
Mar	505	240,2	0,4756
Abr	496	234,74	0,4733
Mai	594	272,81	0,4593
Jun	622	288,24	0,4634
Jul	601	274,71	0,4571
Ago	568	260,36	0,4584
Set	520	241,58	0,4646
Out	532	250,29	0,4705
Nov	503	256,53	0,5100
Dez	396	209,63	0,5294
Soma	6.133	2.912,98	-
Média	511	242,75	0,47505

Pela tabela 05, notam-se algumas tendências do consumo como um aumento significativo do consumo de energia elétrica nos meses mais frios do ano em função do uso do chuveiro elétrico para aquecimento de água para banho. Se comparado o consumo do mês de junho, 622 kWh, com o mês de menor consumo, Janeiro com 391 kWh, tem-se uma diferença de 231 kWh, o que representa 37% do consumo máximo. Por isso a utilização de coletores solares será considerada neste estudo diminuindo, assim, a demanda máxima por eletricidade. Portanto uma demanda de 450 kWh mensais será considerada para o dimensionamento dos sistemas de minigeração expostos neste estudo de caso, de modo que os sistemas aqui dimensionados possam atender a demanda mínima, de 391 kWh, e mesmo assim ainda possuirão uma margem de aproximadamente 50 kWh para eventuais consumos extras de energia. Vale lembrar também que a produção de energia por meio de fontes renováveis, como a solar e a eólica, não é constante ao longo do ano, portanto ao se dimensionar o sistema para atender uma demanda um pouco maior que a real, garante-se que o sistema atenda a necessidade de consumo ao longo de todo o ano, mesmo quando as condições para a geração de energia não forem ideais. Quanto ao valor das faturas, estas acabaram oscilando ao longo do ano de 2012 e fechando o ano com um aumento de 10,18%, se comparado o valor do kWh entre os meses de janeiro e dezembro. Portanto o preço

médio do kWh de 0,475046 Reais, preço no qual já está incluso a tarifa do kWh e os tributos pagos, será considerado para o cálculo do Payback simples dos sistemas analisados na sequência deste capítulo.

6.1.2 Dados ambientais

O município de Conde, no litoral baiano localizado a 191 km ao norte de Salvador, será considerado neste trabalho como sendo a localidade da residência em estudo por apresentar bom potencial eólico e solar permitindo o estudo das três configurações propostas, como mostra as figuras 21 e 22.

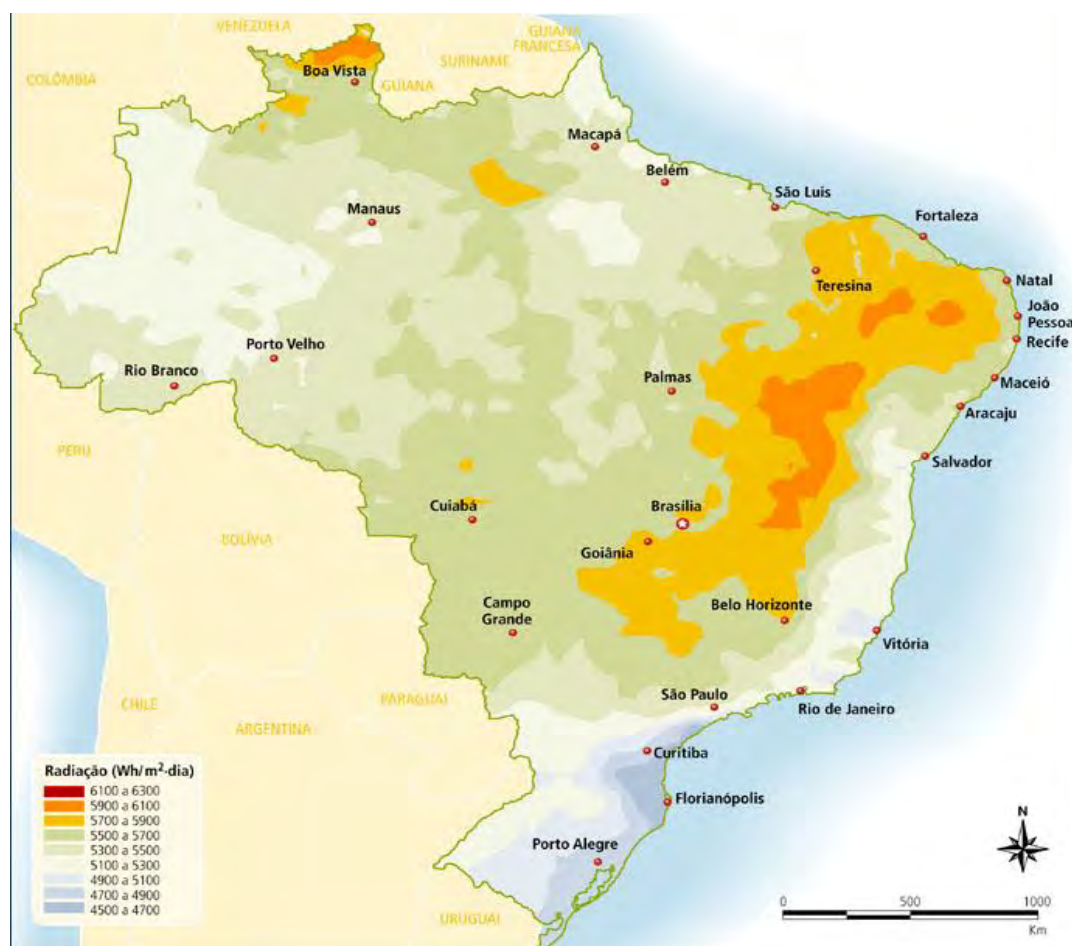


Figura 21 – Mapa solarimétrico anual médio brasileiro (ANEEL).

Através do Mapa solarimétrico anual médio brasileiro, figura 21, é possível extrapolar para qualquer região do Brasil, com certa confiança, seu índice de insolação

média. No mapa acima a radiação está expressa em $\text{Wh/m}^2\cdot\text{dia}$ e pode ser facilmente convertida em watt pico para facilitar a estimativa da energia que o sistema fotovoltaico virá a produzir. No caso, o município de Conde, localizado ao norte de Salvador, está numa área de radiação entre 5.300 e 5.500 Wh/m^2 por dia, ou seja, entre 5,3 e 5,5 Wp.

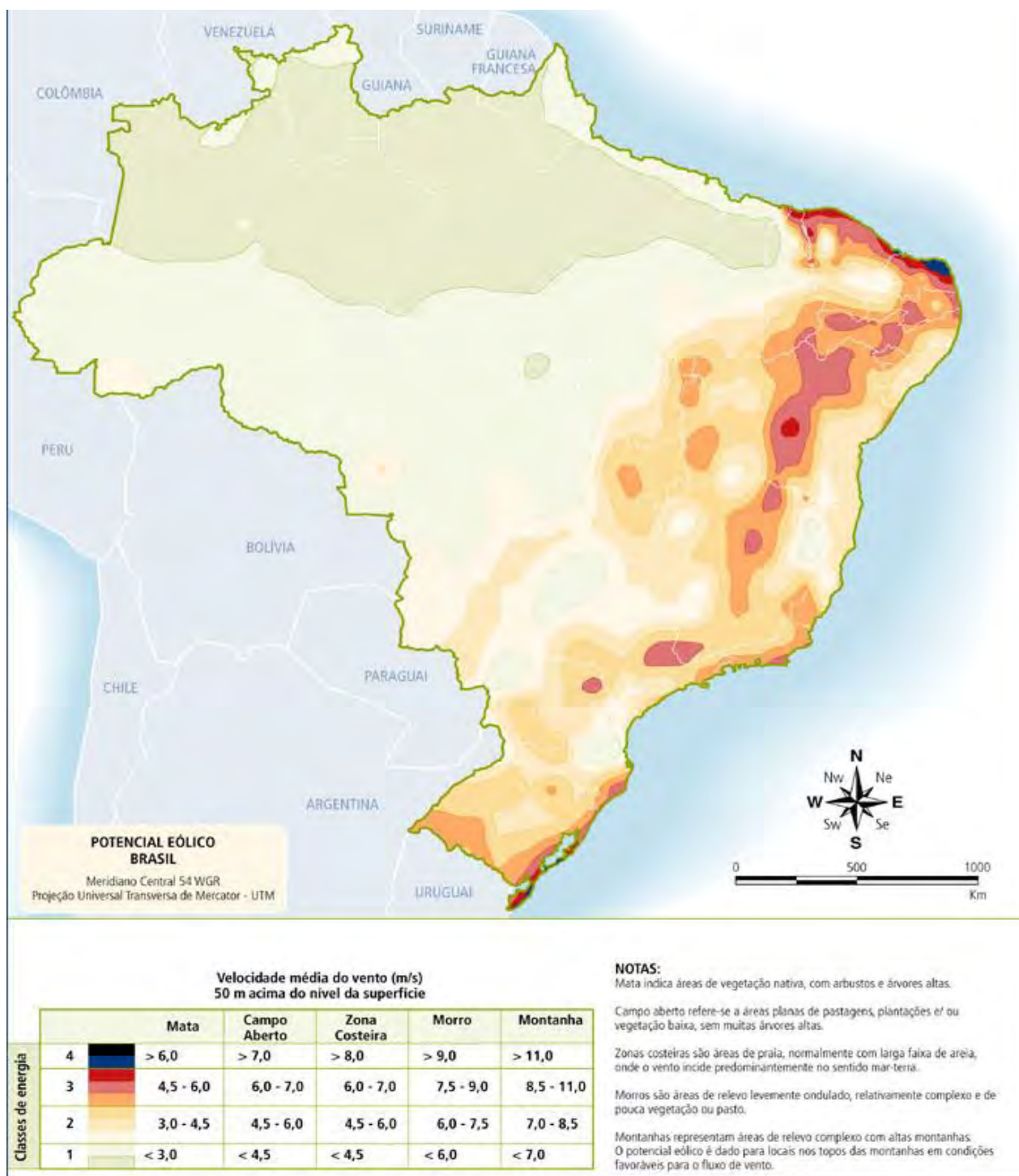


Figura 22 – Panorama do Potencial Eólico no Brasil (ANEEL).

Pela figura 22 observa-se que o município de Conde se localiza numa área de zona costeira com classe de energia 2, onde são esperados ventos médios entre 4,5 e 6,0 m/s, o que viabiliza a utilização de sistemas eólicos, pois em instalações com acesso a rede elétrica convencional a velocidade média anual do vento, no local da instalação da turbina, deve ser de no mínimo de 4,5 m/s, como discutido no capítulo anterior. Mais dados estatísticos do potencial eólico do município de Conde e estão disponível no atlas do potencial eólico do estado baiano. A figura 23 mostra a distribuição de Weibull, que relaciona a velocidade do vento com a probabilidade desta velocidade ocorrer (Silva, 2012), para ventos a 12 metros de altura no município de Conde.



Figura 23 – Distribuição de Weibull para Conde-Ba (<http://www.cresesb.cepel.br>).

Os dados da figura 23 foram coletados entre julho de 2000 e junho de 2001. Vento médio de 5,53 m/s foi medido a 12 de altura, justificando a escolha do potencial eólico do município de Conde neste estudo de caso. O que possibilita esses valores de velocidade é a classe de rugosidade que é praticamente zero na localidade considerada, pois os ventos vêm do mar para o continente sem encontrar obstáculo (Neves, Santos, Oliveira, Tofaneli, 2012).

6.2 Análises técnicas e econômicas

6.2.1 Primeira configuração (Células fotovoltaicas com coletores solares)

Nesta primeira configuração, será estudado o uso células fotovoltaicas combinadas com coletores solares, simulando a instalação de um sistema de geração distribuída em locais que possuem um bom potencial solar. O potencial solar será do município de Conde na Bahia como citado anteriormente neste capítulo.

O orçamento obtido para os coletores solares é da firma Hot Water Comércio de Aquecedores LTDA-ME, de Guaratinguetá, São Paulo. O orçamento feito pela Hot Water levou em conta uma demanda por água quente de 600 l/dia, ou seja, 100 l por pessoa, o que é suficiente para que cada pessoa tome até dois banhos ao dia. O orçamento aqui exposto será também utilizado no estudo dos outros dois cenários, já que a residência considerada neste estudo de caso é a mesma para as três configurações. A firma Hot Water trabalha com equipamentos da marca Transsen, mais detalhes do seu sistema estão dispostos na tabela 06.

Tabela 06 - Orçamento do Sistema de aquecimento Solar (Hot Water).

Quant.	Descrição dos Equipamentos	Valor (R\$)
1	Reservatório térmico 600 l baixa pressão – Transsen	2.890,00
6	Coletor Solar Transsen	2.880,00
1	Material para instalação do sistema solar	750,00
1	Mão de obra para instalação do sistema solar	550,00
	Total	7.070,00

O sistema proposto pela Hot Water é um sistema de aquecimento de água por circulação natural de baixa pressão, portanto não há bombas e pressurizadores no cálculo desse orçamento. A figura 24 ilustra esquematicamente a disposição do sistema de aquecimento proposto, assim como as condições que o sistema de aquecimento por circulação natural exige para uma garantia de bom funcionamento. O sistema é composto por um Reservatório térmico de 600 litros da marca Transsen, com 10 anos de garantia, feito em aço inoxidável com revestimento em poliuretano expandido rígido, com capa externa em alumínio. O apoio elétrico para um aquecimento auxiliar do

tanque, caso a temperatura de saída da água não esteja na temperatura desejada, está incluso. O reservatório térmico deve estar acima do nível dos coletores e abaixo da caixa d'água que alimentará o sistema, neste caso serão utilizados 6 coletores do modelo Itapuã Verticon que cobrirão uma área de 1,5 m² cada.

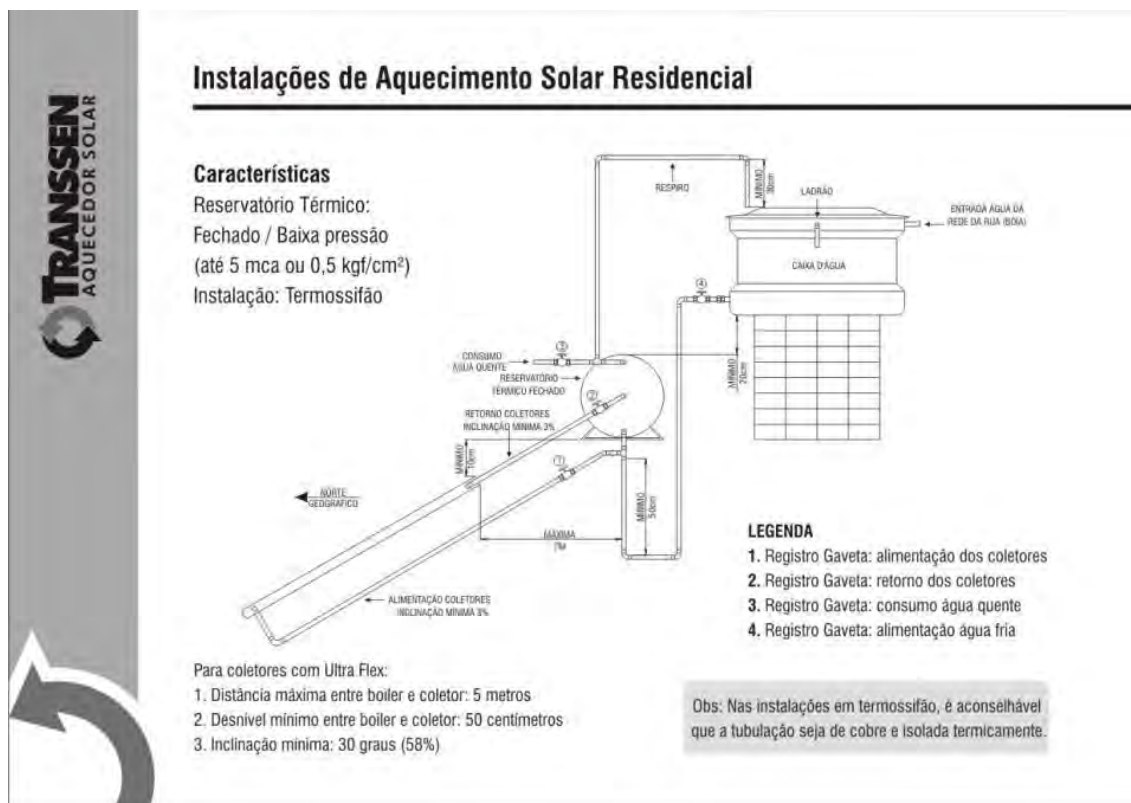


Figura 24 – Sistema de aquecimento solar (Transsen).

Para as células solares desta primeira configuração foi utilizado um orçamento da empresa responsável pela instalação de sistemas fotovoltaicos LOGIK Energia & Sistemas. Em sua página na internet estão à disposição orçamentos de mini-usinas fotovoltaicas integradas à rede com capacidades instaladas de 1.380 W, 3.220 W, 5.520 W e 6.440 W. A tabela 07 mostra teoricamente quanto cada sistema produzirá de energia ao final de um mês.

Tabela 07 – Produção estimada dos sistemas fotovoltaicos grid tie oferecidos pela LOGIK Energia & Sistemas.

Cap. Instalada (W)	*Prod. mensal estimada (kWh)
1.380	227,700
3.220	531,300
5.520	910,800
6.440	1.062,600

* Prod. Estimada com base em uma insolação de 5,5 Wp (Conde-Ba).

Em uma primeira estimativa, com base numa insolação de 5,5 Wp, nota-se que o sistema com a capacidade instalada de 3.320 W será capaz de produzir 531,3 kWh. Portanto esse será o sistema o escolhido, ele é perfeitamente capaz de atender a demanda da residência em estudo de 450 kWh por mês, assumindo que a demanda de energia será próxima aos meses de menor consumo do ano, pois a água será aquecida com os coletores dimensionados acima e não mais pelos chuveiros elétricos como já discutido neste mesmo capítulo. As informações sobre o sistema fotovoltaico escolhido, LOGIK integra 2.8, encontradas no site da LOGIK são:

- Sistema 100% integrado à rede, com potência instalada de geração de 3.220 W.
- Produção média de aproximadamente 450 kWh/mês (líquido, na saída do inversor) para locais com irradiação média de 5.000 Wh/m². Portanto como assumido uma irradiação média local de 5.500 Wh/m², o sistema terá uma produção de aproximadamente 495 kWh/mês (líquido, na saída do inversor).
- Painéis Fotovoltaicos Monocristalinos de alta eficiência, 2 anos de garantia contra defeitos e 25 anos de produção de mais de 80% de sua potência nominal.
- Área de instalação 22,4m².
- Controlador MPPT Xantrex para o máximo aproveitamento da potência instalada, integrado com inversor senoidal 240 Vca, 60Hz, potência de saída de 4.000W.
- Chave de transferência automática integrada.
- Relógio medidor inteligente, aprovado pela ANEEL.

- Investimento total do sistema fotovoltaico: R\$ 34.860,00.

Portanto, para essa primeira configuração, onde temos o uso combinado de um sistema de aquecimento solar com um sistema fotovoltaico será necessário um investimento total de R\$ 41.930,00 (R\$ 7.070,00 + R\$ 34.860,00). Assumindo que essa configuração torne o consumidor completamente independente do consumo de energia da rede e que a manutenção desses sistemas não requer gasto algum, o investimento inicial de R\$ 41.930,00 seria quitado em 14 anos e 5 meses, baseado no valor de R\$ 2.912,98 anuais das contas de luz.

Com um Payback simples de 14 anos e 5 meses essa configuração é economicamente viável se for levado em conta a longa vida útil que os componentes desses sistemas possuem. Por exemplo, o sistema fotovoltaico estudado possui garantia de bom funcionamento oferecida pelo fabricante por no mínimo 25 anos. No entanto, um custo inicial dessa magnitude acaba desencorajando muitos interessados em adotar a minigeração distribuída em suas residências, escritórios ou estabelecimentos comerciais.

6.2.2 Segunda Configuração (Aerogerador com coletores solares)

Nesta segunda configuração será estudado o uso de aerogeradores de pequeno porte combinado com coletores solares, simulando locais com bom potencial eólico. O orçamento obtido pela firma Hot Water Comércio de Aquecedores LTDA, exposto na seção anterior, valerá também para essa configuração. O potencial eólico será do município de Conde na Bahia.

Para o sistema eólico desta configuração, foram utilizados orçamentos expostos no site da empresa Energia Pura, empresa responsável pela venda e instalação de sistemas eólicos e fotovoltaicos. Em sua página na internet encontram-se dois sistemas eólicos possíveis de serem integrados a rede, ambos com potência nominal instalada de 2.400 W, a diferença é que um desses sistemas é para lugares localizados em regiões litorâneas, oferecendo proteção anticorrosiva. Como o município de Conde se localiza no litoral baiano, este sistema será o escolhido. As informações sobre o sistema eólico escolhido estão dispostas a seguir:

- Sistema eólico com aerogerador Skystream Marine de 2,4 kW de potência.
- Proteção anticorrosiva para litorais

- Pronto para conexão à rede (Grid Tie)
- Produz 800 kWh por mês (vento médio de 10 m/s)
- 5 anos de garantia
- Vida Útil superior a 20 Anos
- Livre de manutenção!
- Acompanha sistema de monitoramento Wi-Fi
- Preço: R\$ 31.800,00

Para estipular a energia que será produzida com as condições do vento de onde se pretende instalar o sistema, neste caso o município de Conde, algumas informações sobre o aerogerador utilizado precisam ser conhecidas, como velocidade de partida e de projeto.

Características Técnicas do Aerogerador Skystream 3.7 (Energia Pura):

- Diâmetro do rotor: 3.72 m
- Peso: 77 kg
- Vento para início de geração: 3.5 m/s
- Potencial nominal: 2.4 kW
- Vento nominal: 9.4 m/s
- Velocidade nominal: 50 - 325 rpm
- Alimentação: Inversor 120-240 v, 50-60 Hz
- Sistema de Frenagem: Eletrônico com controle regulador
- Hélices: Molde triplamente injetado
- Proteção anticorrosiva
- Vento limite: 63 m/s (226 km/h)
- Garantia: 5 anos
- Vida útil: 20 anos, sem manutenção

A tabela 08 ilustra o quanto de energia elétrica o sistema é capaz de gerar utilizando a distribuição de Weibull para ventos a 12 metros de altura no município de Conde, como mostra na figura 20. A estimativa da energia elétrica gerada é obtida pelo somatório do produto frequência mensal de dada velocidade, em horas, pela potência

que o aerogerador é capaz de entregar na mesma velocidade, usando a potência que o aerogerador é capaz de entregar na velocidade de projeto como referência (Hinrichs, Kleinbach, dos Reis, 2011). Apesar da altura das turbinas não serem conhecidas, será assumido que os sistemas eólicos aqui considerados devem ter em torno 10 metros de altura, portanto a utilização da curva de Weibull para 12 metros de altura está de acordo. Para facilitar os cálculos da tabela 08 foi considerado a velocidade de partida como sendo igual a 3 m/s e a velocidade nominal como sendo igual a 10 m/s, e não os valores de 3,5 e 9,4 m/s.

Tabela 08 – Estimativa da energia mensal produzida, sistema eólico de 2.4 kW.

Dados distribuição de Weibull			Cap. Inst. 2.400 W	
Vel (m/s)	Freq.	Freq. Mensal (h)	Pot (W)	En. prod. (kWh)
1	0,016	11,52	0,0	0,000
2	0,031	22,32	0,0	0,000
3	0,049	35,28	64,8	2,286
4	0,08	57,6	153,6	8,847
5	0,177	127,44	300,0	38,232
6	0,245	176,4	518,4	91,446
7	0,204	146,88	823,2	120,912
8	0,124	89,28	1.228,8	109,707
9	0,049	35,28	1.749,6	61,726
10	0,018	12,96	2.400,0	31,104
11	0,006	4,32	2.400,0	10,368
12	0,001	0,72	2.400,0	1,728
13	0	0	2.400,0	0,000
14	0	0	2.400,0	0,000
15	0	0	2.400,0	0,000
Soma	1,000	720	En. Mensal	476,356

Pela análise da tabela 08 nota-se que o sistema eólico escolhido, com 2.400 W de potência instalada, produzirá em torno de 476 kWh por mês, portanto este sistema da firma Energia Pura atende perfeitamente a demanda proposta de 450 kWh/mês, considerando o potencial eólico de Conde na Bahia. Com o valor de R\$ 31.800,00 do sistema eólico proposto, mais o custo dos coletores solares, R\$ 7.070,00, tem-se para a segunda configuração um custo total de R\$ 38.870,00, sendo este custo inferior ao custo total de R\$ 41.930,00 da primeira configuração.

Baseado no valor de R\$ 2.912,98 anuais gastos com contas de luz e assumindo que essa configuração torne o consumidor completamente independente do consumo de energia da rede, o investimento inicial de R\$ 38.870,00 seria quitado em 13 anos e 5 meses. Com este Payback simples de 13 anos pode-se afirmar que esta configuração é economicamente viável se for levado em conta os 20 anos de vida útil sem manutenção do aerogerador Skystream 3.7, como informa a empresa Energia Pura. No entanto, a mesma ressalva feita para a configuração anterior vale para esta também, mesmo sendo técnico e economicamente viável um custo inicial dessa magnitude acabará desencorajando muitos interessados em adotar a minigeração distribuída em suas residências, escritórios ou estabelecimentos comerciais.

6.2.3 Terceira Configuração (Aerogerador associado a células fotovoltaicas e coletores solares)

Esta terceira configuração será composta por um aerogerador de pequeno porte, células fotovoltaicas e coletores solares, simulando uma instalação em um local com bom potencial eólico e solar, como é o caso do município de Conde. O sistema de aquecimento de água proposto pela Hot Water, de orçamento no valor de R\$ 7.070,00, será aplicado nessa configuração também. O índice solarimétrico anual médio e o potencial eólico serão novamente os do município de Conde na Bahia.

O sistema fotovoltaico aqui usado será um dos sistemas da Neosolar Energia, empresa responsável pela venda e instalação de sistemas fotovoltaicos. Como um sistema eólico também será associado ao sistema fotovoltaico, o sistema da Neosolar com capacidade instalada de 2,3 kW será o escolhido para compor essa configuração, podendo gerar aproximadamente 340 kWh/mês líquido na região Nordeste, segundo consta em seu site (neosolar.com.br). O restante da produção de energia necessária para atender a demanda total de 450 kWh será base do cálculo do dimensionamento do sistema eólico que irá compor essa configuração.

O Kit Completo para Conexão a Rede Neosolar de 2,3 kW tem todos os equipamentos necessários para um sistema de geração de energia solar, mais detalhes sobre seus componentes estão dispostos abaixo:

- 10 painéis solares fotovoltaicos Jetion JT 235 PC e ou equivalente
- 1 Inversor SMA Sunny Boy 2500

- 1 estrutura Schletter em alumínio própria para telhado inclinado (perfis, grampos, ganchos e parafusos)
- Serviço de Instalação, mão de obra ou equipamentos a serem utilizados na instalação como cabos e disjuntores, não estão inclusos.
- A conexão deve ser feita em 60 Hz e 220 V (também pode ser instalado em locais onde a tensão é 110 V ou 127 V, conectando entre 2 fases)
- Pode gerar até 340 kWh/mês na região Nordeste, região onde o município de Conde se localiza. Na região Sul gera até 260 kWh/mês
- Investimento: R\$ 23.490,00

Como o sistema fotovoltaico dimensionado terá uma produção de aproximadamente 340 kWh/mês, líquido na saída do inversor, os 110 kWh restantes terão que ser gerados pelo sistema eólico. Para essa configuração não faz sentido o uso do sistema eólico de 2.400 W da firma Energia Pura, já exposto na configuração anterior, pois assim esta configuração ficaria superdimensionada com uma produção total de 816 kWh/mês (340 kWh/mês + 476 kWh/mês). Portanto a melhor opção seria o uso de um sistema eólico de menor capacidade instalada ligado em paralelo com o sistema fotovoltaico Neosolar 2,3 kW, produzindo os 110 kWh/mês restantes para atender os 450 kWh/mês.

A empresa de instalação e venda de sistemas eólicos, Eólica Rio LTDA, oferece em sua pagina na internet um sistema eólico de menor porte com capacidade instalada de 1.000 W. Na tabela 09 estão dispostas algumas informações a respeito dos componentes desse sistema e seus respectivos preços.

Tabela 09 – Orçamento do sistema eólico de 1.000 W (Eólica Rio LTDA).

Sistema Eólico 1.000 W	Qtd	Preço Unit (R\$)	Preço Total (R\$)
Aerogerador Gerar 246 - 1.000 W	1	5.990,00	5.990,00
Kit Torre	1	900,00	900,00
Inversor 1.100 W - Conectado a rede + Controlador de carga (Grid Tie)	1	14.000,00	14.000,00
Tubo Din 2440 - 3"	2	400,00	800,00
Outros - cabos elétricos, etc...	1	500,00	500,00
Frete	1	300,00	300,00
		Total	22.490,00

Assim como já feito para a configuração anterior, são necessárias algumas informações sobre o aerogerador utilizado para o cálculo da energia que o sistema eólico em questão será capaz entregar ao final de um mês. As Características Técnicas do Aerogerador Gerar 246 estão dispostas abaixo (Enersud Indústria e Soluções Energéticas Ltda):

- Diâmetro da hélice - 2,46 m
- Potência a 12 m/s – 1.000 Watt
- 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 - 300 volts
- Topologia - Fluxo Axial
- Peso total (alternador + hélice + cab. Rot.) - 32 Kg
- Material Anti Corrosão - Alumínio / Inox / Mat. Galvanizado
- Balanceamento – Dinâmico (confirmação após pintura)
- Vida útil – 15 anos
- Garantia – 2 anos

Considerando o potencial eólico do município de Conde e as características técnicas do Aerogerador Gerar 246, mostradas acima, um sistema eólico desse porte é capaz de produzir aproximadamente 117 kWh/mês, como mostra a tabela 10, o que atende perfeitamente os 110 kWh/mês restantes. Para facilitar os cálculos da tabela 10 foi considerada a velocidade de partida como sendo 2 m/s.

Tabela 10 – Estimativa da energia mensal produzida, sistema eólico de 1 kW.

Dados distribuição de Weibull			Cap. Inst. 1.000 W	
Vel (m/s)	Freq.	Freq. Mensal (h)	Pot (W)	En prod. (kWh)
1	0,016	11,52	0,0	0,000
2	0,031	22,32	4,6	0,103
3	0,049	35,28	15,6	0,551
4	0,08	57,6	37,0	2,133
5	0,177	127,44	72,3	9,219
6	0,245	176,4	125,0	22,050
7	0,204	146,88	198,5	29,155
8	0,124	89,28	296,3	26,453
9	0,049	35,28	421,9	14,884
10	0,018	12,96	578,7	7,500
11	0,006	4,32	770,3	3,328
12	0,001	0,72	1.000,0	0,720
13	0	0	1.000,0	0,000
14	0	0	1.000,0	0,000
15	0	0	1.000,0	0,000
Soma	1	720	En Mensal	116,096

No total, essa configuração composta por um sistema fotovoltaico Neosolar 2,3 kW, por um sistema eólico de 1.000 W e pelo sistema de aquecimento solar proposto pela Hot Water, terá capacidade de produzir 456 kWh/mês (340 kWh/mês + 116 kWh/mês), atendendo a demanda proposta de 450 kWh, com custo total de R\$ 53.050,00, como mostra a tabela 11.

Tabela 11 – Orçamento da terceira configuração

Terceira configuração	Qtd	Preço Unit (R\$)	Preço Total (R\$)
Sistema fotovoltaico para conexão com a Rede Neosolar 2,3 kW	1	23.490,00	23.490,00
Sistema Eólico 1.000 W	1	22.490,00	22.490,00
Sistema de aquecimento solar	1	7.070,00	7.070,00
		Total	53.050,00

Com um investimento de R\$ 53.050,00, tem-se um Payback simples de 18 anos e 3 meses, o mais alto das três configurações apresentadas, gerando uma certa desconfiança quanto a viabilidade econômica dessa configuração, pois este payback supera os 15 anos a esperados de vida útil do aerogerador utilizado neste sistema eólico.

Uma configuração deste modo, onde se tem o sistema eólico combinado com o solar, é interessante pelo fato que ambos os modos de geração acabam se complementando. Normalmente os meses de mais baixa insolação são os de ventos mais fortes e vice versa. Portanto com esta configuração o consumidor não fica dependente apenas de uma fonte de energia. Entretanto, devido a sua maior complexidade, pois se tem dois sistemas de geração independentes operando paralelamente, seu custo acaba sendo mais alto que uma unidade geradora com a mesma capacidade de geração composta por apenas um dos modos de geração.

6.2.4 Análise comparativa das configurações

Neste estudo de caso foi proposta a análise técnica e econômica de três configurações diferentes de minigeração distribuída, composta por sistemas fotovoltaicos, sistemas eólicos e coletores solares. As principais informações das três configurações analisadas neste capítulo estão compiladas na tabela 12.

Tabela 12 – Análise comparativa das três configurações.

Configurações	Produção de Energia Estimada (kWh/mês)	Investimento total (R\$)	Payback Simples
Sistema Fotovoltaico + Coletores Solares	495	41.930,00	14 anos e 5 meses
Sistema Eólico + Coletores Solares	476	38.870,00	13 anos e 5 meses
Sistema Fotovoltaico e Eólico + Coletores Solares	456	53.050,00	18 anos e 3 meses

Pela análise dos dados da tabela 12 pode-se afirmar que as três configurações são tecnicamente viáveis, pois todas atendem a demanda proposta de 450 kWh/mês, sendo que a primeira configuração terá uma maior capacidade de produção de energia ao mês com 495 kWh, seguido pela segunda configuração com 476 kWh e a terceira

entregando 456 kWh. O investimento total da segunda configuração é o menor dentre os três com R\$ 38.870,00, o que resulta em um Payback simples de 13 anos e 5 meses, menor que os 20 anos de vida útil sem manutenção do aerogerador considerado. A primeira configuração, assim como a segunda configuração, pode ser considerada como sendo uma alternativa economicamente viável pelo fato de seu investimento inicial, de R\$ 41.930,00, resultar em um Payback simples de 14 anos e 5 meses, menor que os 25 anos de bom funcionamento garantidos pelo fabricante dos módulos fotovoltaicos empregados nesta configuração. Já a terceira configuração, a mais cara das três com um investimento total de R\$ 53.050,00, não pode ser considerada como uma alternativa economicamente viável, pois seu Payback de 18 anos e 3 meses supera os 15 anos de vida útil garantidos pelo fabricante do aerogerador empregado. Portanto, com base nesses resultados, fica evidente que quando se tem dois sistemas de geração independentes operando paralelamente, como é o caso da terceira configuração, seu investimento acaba sendo mais alto que uma unidade geradora com a mesma capacidade de geração composta por apenas um dos modos de geração. Entretanto, uma configuração mais complexa como esta faz com que o sistema não fique dependente apenas de uma fonte de energia.

7 CONCLUSÕES

Neste trabalho foi abordado a microgeração distribuída utilizando fontes com base em energia solar e eólica. Foi apresentado um estudo de três configurações diferentes que compunham uma miniusina para atender uma demanda residencial de 450 kWh mensais. A primeira configuração era composta por coletores solares e células fotovoltaicas. A segunda composta por coletores solares e aerogeradores e a terceira por aerogeradores, células fotovoltaicas e coletores solares. O uso dos coletores solares foi considerado com o propósito de se ter, assim, uma menor demanda por energia, já que o aquecimento de água residencial através de chuveiros elétricos chega a representar até 26% de todo o consumo de energia de uma residência.

Pela análise das três configurações apresentadas conclui-se que a microgeração distribuída já é uma alternativa viável tecnicamente aos consumidores, que estejam interessados em substituir ou complementar a energia da concessionária, proporcionando opções de escolha pelo sistema mais adequado a disponibilidade de recursos naturais, vento e insolação, de sua localidade. Entretanto, o alto valor do investimento inicial pode acabar inviabilizando economicamente a opção de se tornar produtor de sua própria energia para maior parte da população brasileira.

As duas primeiras configurações analisadas se mostraram como sendo mais atrativas economicamente. A primeira configuração se apresentou economicamente viável com um investimento total de R\$ 41.930,00, resultando em um Payback simples de 14 anos e 5 meses, menor que os 25 anos de garantia de bom funcionamento do sistema fotovoltaico oferecido pelo fabricante. A segunda configuração requer o menor investimento dentre as três configurações apresentadas, um investimento total de R\$ 38.870,00, que resulta em um Payback simples de 13 anos e 5 meses, menor que os 20 anos de vida útil sem manutenção do aerogerador utilizado neste sistema, fato que não ocorreu com a terceira configuração. Para a terceira configuração, a mais cara das três, devido a sua maior complexidade, pois se tem dois sistemas de geração independentes operando paralelamente, não se pode afirmar que ela seja economicamente viável, devido ao seu custo de R\$ 53.050,00, que resulta em um Payback simples de 18 anos e 3 meses, superior aos 15 anos de vida útil do aerogerador utilizado nesta configuração.

Apesar de não ter sido citado ao longo deste trabalho, casos em que o consumidor não está conectado a rede da concessionária, ou seja, consumidores em regiões isoladas onde a única alternativa é a geração de sua própria energia, a utilização

de geradores a diesel ou gasolina em uma primeira análise pode parecer mais atrativa que os sistemas eólicos e fotovoltaicos por possuir um investimento inicial menor. No entanto, para o uso desses geradores deve ser levado em conta também a disponibilidade e o transporte do combustível utilizado e seus custos, despesas extras de operação e manutenção que os sistemas eólicos e fotovoltaicos não possuem.

Além disso, vale ressaltar que a aplicação da micro e minigeração distribuída não é uma alternativa atraente somente aos seus consumidores, devido à economia de eletricidade que ela proporciona, mas também às empresas concessionárias e geradoras de energia elétrica, que acabam se beneficiando através de uma redução dos investimentos necessários em transmissão e geração de energia, através de uma redução das perdas nas redes, de uma diversificação da matriz energética e de uma melhoria da qualidade do serviço de energia elétrica.

A aprovação da Resolução Normativa nº 482/2012, de 17/04/2012 pela diretoria da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) pode ser considerada como sendo um importante estímulo para a micro e minigeração distribuída. No entanto, o sistema de compensação de energia por si só não irá alavancar a micro e minigeração distribuída no país. Outros incentivos precisam ser criados para tornar a micro e minigeração distribuída mais acessível como:

- descontos no IPTU para proprietários que adotaram a micro e minigeração em suas propriedades.
- redução dos impostos que pesam sobre a importação dos equipamentos que compõem os sistemas de micro e minigeração de energia distribuída.
- linhas especiais de financiamentos para a instalação de sistemas de micro e minigeração de energia distribuída.
- o oferecimento não apenas de créditos de energia que o sistema de compensação de energia propõe e sim a remuneração por autogeração como já ocorre em outros países.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALDABÓ, R.. **Energia Solar**. Artliber Editora, 2002. 155 p.

ALDABÓ, R..**Energia Eólica**. Artliber Editora, 2002. 156 p.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Mapa solarimétrico anual médio brasileiro**. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/energia_solar/3_3.htm>. Acessado em 14 de janeiro de 2013.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Panorama do Potencial Eólico no Brasil**. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/energia_eolica/6_3.htm>. Acessado em 14 de janeiro de 2013.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução normativa nº 482**, de 17 de abril de 2012. Disponível em: <<http://www.energiasolarfotovoltaica.com.br/downloads/resolucao.pdf>>. Acessado em 03 de novembro de 2012.

BS-SOLAR. **Casa com potência instalada de 5.760 W em Hohenhaslach**. Imagem disponível em: <<http://www.bs-solar.de/referenzen/photovoltaik/bis-10-kwp/>>. Acessado em 19 de dezembro de 2012.

CHRISTANTE, L.. O sol é para todos. **Revista Unespçiência**, Ano 3, Nº 33, p. 18-25, Agosto de 2012.

COELBA. **Atlas do potencial eólico do estado baiano**. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/atlas_eolico_BA.pdf>. Acessado em 14 de janeiro de 2013.

CPFL Energia. **Conexão de Micro e Minigeração Distribuída sob Sistema de Compensação de Energia Elétrica**. Norma técnica aprovada em 13 de dezembro de 2012. Disponível em: <<http://www.cpfl.com.br/LinkClick.aspx?fileticket=KOzl6croB2k%3D&tabid=1417&mid=2064>>. Acessado em 19 de dezembro de 2012.

ENERGIA PURA. **Catálogo do módulo solar Mitsubishi 225 W Premium**. Disponível em: <<https://www.energiapura.com/pdf/mitsubishi225w.pdf>>. Acessado em 19 de fevereiro de 2013.

ENERGIA PURA. **Sistema eólico com aerogerador Skystream Marine de 2,4 kW de potência.** Disponível em: <<https://www.energiapura.com/content/aerogerador-skystream-marine>>. Acessado em 19 de fevereiro de 2013.

ENERSUD Indústria e Soluções Energéticas Ltda. **Características Técnicas do Aerogerador Gerar 246.** Disponível em: <<http://www.eolicario.com.br/Enersud%201kW.pdf>>. Acessado em 04 de fevereiro de 2013.

EÓLICA RIO Ltda. **Orçamento de sistemas eólicos para conexão com a rede.** Disponível em: <http://www.eolicario.com.br/energia_eolica_precos.html>. Acessado em 04 de fevereiro de 2013.

FC-SOLAR. **Aerogeradores 3 kW.** Disponível em: <http://www.fc-solar.com/?page_id=38>. Acessado em 19 de dezembro de 2012.

HINRICHS, R. A.; KLEINBACH, M.; DOS REIS, L. B. **Energia e Meio Ambiente.** Tradução da 4^a edição norte-americana: CENGAGE Learning, 2011. 708 p.

LOGIK Energia & Sistemas. **Sistemas fotovoltaicos grid tie LOGIK Integra.** Disponível em: <http://www.logik.com.br/html/logik_integra.html>. Acessado em 04 de fevereiro de 2013.

NEOSOLAR Energia. **Kit Completo para Conexão a Rede Neosolar de 2,3 kW.** Disponível em: <<http://www.neosolar.com.br/kit-grid-tie-para-conexao-a-rede-2-3kw.html>>. Acessado em 19 de fevereiro de 2013.

NEVES, P. R. F.; SANTOS, A. A. B.; OLIVEIRA, T. D.; TOFANELI, L. A. **Mapeamento preliminar do potencial eólico em baixas altitudes na região litorânea de Salvador.** Artigo apresentado no VII Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 31 de julho a 03 de Agosto 2012, São Luís – Maranhão.

SILVA, R. C. **Análise comparativa entre Brasil e Alemanha sobre autoprodução de energia elétrica residencial.** 2012. 71f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2012.

TRANSSSEN Aquecedor Solar Banho e Piscina. **Catálogo de Produtos**

WIKIPÉDIA. **Inversor Grid-Tie.** Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Inversor_Grid-Tie>. Acessado em 02 de fevereiro de 2013.

WIKIPÉDIA. **Medidor de Energia Elétrica**. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Medidor_de_energia_el%C3%A9trica>. Acessado em 02 de fevereiro de 2013.