



**UNIVERSIDADE SALVADOR - UNIFACS
MESTRADO EM REGULAÇÃO DA INDÚSTRIA DE ENERGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E ARQUITETURA**

RAFAEL GONÇALVES BEZERRA DE ARAÚJO

**FLEXIBILIZAÇÃO DO ARCABOUÇO REGULATÓRIO
VIGENTE A PARTIR DO ESTUDO E PROJETO DE
SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO – FOTOVOLTAICO
ISOLADO**

**Salvador
2008**

RAFAEL GONÇALVES BEZERRA DE ARAÚJO

**FLEXIBILIZAÇÃO DO ARCABOUÇO REGULATÓRIO
VIGENTE A PARTIR DO ESTUDO E PROJETO DE
SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO – FOTOVOLTAICO
ISOLADO.**

Dissertação de mestrado submetida ao corpo Docente do Mestrado em Regulação da Indústria de Energia, do Departamento de Engenharia e Arquitetura na Universidade Salvador – UNIFACS, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Regulação da Indústria de Energia.

Nome do orientador: Prof. Dr. Kleber Freire da Silva

Salvador
2008

FICHA CATALOGRÁFICA

(Elaborada pelo Sistema de Bibliotecas da Universidade Salvador - UNIFACS)

Araújo, Rafael Gonçalves Bezerra de

Flexibilização do arcabouço regulatório vigente a partir do estudo e projeto de sistema híbrido eólico – fotovoltaico isolado/Rafael Gonçalves Bezerra de Araújo. – Salvador, 2008.

209 f.

Dissertação (mestrado) - Universidade Salvador – UNIFACS.
Mestrado em Regulação da Indústria de Energia, 2008.

Orientador: Prof. Dr. Kleber Freire da Silva.

1. Energia eólica. 2. Energia solar. 3. Energia - Legislação – Brasil. I. Silva, Kleber Freire, orient. II. Título.

CDD: 621.042

RAFAEL GONÇALVES BEZERRA DE ARAÚJO

FLEXIBILIZAÇÃO DO ARCABOUÇO REGULATÓRIO
VIGENTE A PARTIR DO ESTUDO E PROJETO DE SISTEMA
HÍBRIDO EÓLICO – FOTOVOLTAICO ISOLADO.

Dissertação aprovada como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Regulação da Indústria de Energia, Universidade Salvador — UNIFACS, pela seguinte banca examinadora:

Kleber Freire da Silva
Doutor em Engenharia Elétrica, Universidade de São Paulo (USP)
Universidade Salvador – UNIFACS

José Eduardo Pinheiro Santos Tanure
Doutor em Engenharia Elétrica, Universidade de São Paulo (USP)
Universidade Salvador – UNIFACS

Maria Olívia de Souza Ramos
Doutora em Ciências Econômicas, Université de Paris XIII – França (Paris-Nord)
Universidade Salvador – UNIFACS

Irênio Silva Junior
Doutor em Engenharia Elétrica, Universidade de Campinas (UNICAMP)
Centro Federal de Educação Tecnológica da Bahia (CEFET-BA)

Salvador, 01 de maio de 2008.

Dedico este trabalho a pessoas importantes, que fazem parte de minha vida:

Ao meu irmão, Leandro Gonçalves Bezerra de Araújo, a pessoa que mais amo, pelas lições de simplicidade, caráter, dedicação, força, amizade e exemplo de vida e coragem. Aos meus pais, Macário Bezerra de Araújo Filho e Maria Idália Coutinho Gonçalves, pelo apoio, amor e carinho incondicionais. A minha namorada, que amo e admiro muito, Clarissa Amazonas Simas Pedroso, que soube abdicar de minha companhia enquanto eu estudava e que com sua insistência contínua tanto me ajudou a relaxar.

AGRADECIMENTOS

Nesses anos são tantas as pessoas que deveria agradecer que seriam necessárias muitas páginas e tempo. Então sem esquecer de ninguém em meu coração agradeço aos que me lembro por hora:

Ao meu orientador, Professor Kleber Freire da Silva, pela bondade, prestatividade e tempestividade em discutir sobre o tema de minha dissertação, entre outros assuntos, por ter lido cada palavra escrita e sugerido os caminhos a serem seguidos para a conclusão do trabalho. Por ter aceitado ser meu orientador, professor e amigo.

A Renato Araújo pelo incentivo e brincadeiras de todos os dias. A Sergio Brito pelos ensinamentos, confiança, amizade e apoio.

Amigos e colegas GMUDE – Aos mestrandos Silvana Tosta, Eduardo Allatta, Ricardo Oliveira, Rafael Valverde e Maria Figueiredo, aos “orêas seca” Daniel Freitas, Felipe Gonçalves, Pedro Nery, Gustavo Hellstrom, Igor Tavares e Eduardo Monteiro pelas discussões acaloradas, apoio e molequeiras.

Amigos e colegas do GEDAE – Belém / Pará pela companhia, cordialidade e amizade. Ao professor João Tavares Pinho em ter me recebido no grupo durante a estadia no estado. Tenho carinho a todos do grupo, mas em especial por Luis Blasques e Monique Freitas, amigos queridos que mesmo a distância não impede o contato constante e lembranças saudosas dos momentos passados juntos.

A Victory Fernandes pela amizade, parceria e confiança. A meus amigos que estão sempre comigo, compartilhando diferenças, dúvidas, descobertas e aventuras: Carol Bassuma, Isaac (Toucinho), Mohanna Helga, Eric Bastos e Rebeca Neves.

Aos meus amigos Marcelo Gazar e Thiago Menezes, não existe hora para esses dois quando se precisa deles.

Aos meus sobrinhos Marcos e Ana Carolina, pelos diversos momentos de alegria e pela bagunça que fazem em casa.

A Gilberto Pedroso, meu sogro, e Maria Adalgisa, minha sogra, pelo companheirismo e alegrias. Aos cunhados Rafael, Tatiana e Verônica pelo enorme afeto demonstrado. Sinto-me da família ao lado de vocês.

A minha tia Ana, que considero uma segunda mãe.

A toda minha família, que cederam carinho e ajuda em momentos cruciais de minha vida. Lembro com muito afeto de todos os momentos com meus tios, tias, primos e avós e me sinto ansioso a cada encontro familiar planejado.

Aos amigos do Aikido, em especial Luciano Hocevar, se revelando mais do que um colega de treino – um verdadeiro amigo. Sensei Daniel Muritiba que me apresentou o aikido, pelas lições de amizade e companheirismo. Acredito que sem a disciplina e harmonia proporcionados pelos treinamentos não seria possível a conclusão deste trabalho.

Aos colegas do MRIE pelo apoio logístico e pelos diversos momentos compartilhados.

Aos meus alunos que me ensinam e desafiam todos os dias, que são para mim o orgulho e motivo de minha obsessão por aprendizado.

“Não sei o que acontece com os outros, e não sei se lhe posso contar isso ou não, mas não sou bem o sujeito que a gente vê, sou alguém mais... Alguém melhor. Algumas vezes, eu nem mesmo sei como explicá-lo.

Tenho cada idéia. Um mundo melhor, uma gente melhor, uma maneira melhor de fazer as coisas. Eu teria vergonha de dizer isso a qualquer outra pessoa, mas algum dia hei de trabalhar muito e fazer alguma coisa. Não sei o que será, mas vai ser alguma coisa. Eu não costumava saber coisa alguma... Acho que estava numa espécie de sonho feliz o tempo todo. Toda a minha família é feliz. Somos uma gente de gênio feliz, mas sei que eu não costumava saber coisa alguma. Agora, estou começando a aprender... Só um pouquinho. Só um pouquinho, mas todo dia. Isto e aquilo, e isto e aquilo e aquilooutro. Não gosto de como as coisas estão. Não sei por que, mas quero que sejam melhores. Acho que é porque penso que deviam ser melhores. Aprendi isso até agora: que não sei coisa alguma, mas de agora em diante vou tentar aprender o tempo todo. Vou ficar vigiando o tempo todo. Vou ficar pensando a respeito disso o tempo todo. Isso faz um camarada se sentir triste, mas não me importo. Somos uma gente feliz, é verdade, mas somos resistentes também. Não me importo de ficar triste, importo-me a respeito de gente que não é resistente e que fica triste e magoada, e me parece que o mundo está cheio de gente assim. Eu não sabia disso antes. Faço apenas o que acho que é direito e o que tenho de fazer. Todos são tão tristes ou confusos e tudo é tão vagaroso ou errado que eu tenho de dizer coisas engraçadas de vez em quando. Acho que nós nos devíamos divertir um pouco só por estarmos vivos. Não acho que pudesse ser grã-fino ou cortês de propósito se quisesse. Eu não poderia ser cortês se não o fizesse com sinceridade.”

Um mundo melhor, uma gente melhor. Capítulo XXI.
Saroyan, William – A Comédia Humana.

RESUMO

O presente trabalho estuda aspectos técnicos e regulatórios de sistemas híbridos para geração de energia elétrica, com ênfase nas fontes solar e eólica, instalados de forma isolada no estado da Bahia. O principal propósito do estudo é o projeto e instalação de piloto de sistema híbrido isolado e os principais componentes de sistemas com essa configuração, apresentando vantagens e desvantagens. Adicionalmente o trabalho analisa o arcabouço regulatório vigente e a possibilidade de sua flexibilização em função das características de continuidade da distribuição de energia elétrica, nos seus aspectos de duração e frequência, exigidas pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. O trabalho constitui-se em um estudo para ampliar o atendimento da energia elétrica às regiões isoladas no âmbito da universalização, analisa a viabilidade da implementação de mecanismos de flexibilização na regulação dos índices de continuidade no fornecimento da energia elétrica disponibilizada através de sistema híbrido eólico – fotovoltaico de geração de energia elétrica isolada – SHEFI. Serão discutidas as definições das características técnicas de sistemas híbridos e dos índices de continuidade do serviço de energia elétrica (DEC, FEC, DIC, FIC e DMIC) a serem exigidos, regulamentados pela resolução 024 da ANEEL. Discute-se também a quantidade de energia disponibilizada pelo sistema. São levantadas questões sobre a faixa cinzenta existente entre a regulamentação SIGFI e sistemas conectados à rede regulamentados pelas resoluções 83 e 024 da ANEEL, respectivamente.

Palavras chave: *Energia Eólica. Energia Solar. Sistemas Híbridos. Arcabouço Regulatório. Sistemas isolados.*

ABSTRACT

This study examines technical and regulatory aspects of hybrid systems for electricity generation, with emphasis on solar and wind resources, placed in isolation in the state of Bahia. The main purpose of the study is the design and installation of pilot isolated hybrid system and the main systems components with this configuration, presenting advantages and disadvantages. Additionally the paper examines the current regulatory framework and the possibility of its flexibility depending on the characteristics of continuity of the distribution of electrical energy, in terms of duration and frequency, required by the National Agency of Electric Energy - ANEEL. The work study to extend the service of electricity to remote areas within the brazilian universalization program, analyze the feasibility of establishing mechanisms of relaxation in the regulation of levels of continuity in the supply of electricity provided by wind photovoltaic hybrid system generation of electric power alone, called SHEFI (in portuguese). This study will discuss the definitions of the technical characteristics of hybrid systems and indices of continuity of service of electric energy (DEC, FEC, DIC, FIC and DMIC) to be required and regulated by ANEEL's Resolution 024. It also discusses the amount of energy released by the system. Questions are raised about the track between the gray SIGFI rules and systems connected to the network regulated by Resolutions 83 and 024 of ANEEL, respectively.

Keywords: *Wind Energy. Solar Energy. Hybrid systems. Regulatory framework. Isolated systems.*

LISTA DE TABELAS

Capítulo 3

Tabela 1: Participação no Consumo de Energia Elétrica dos Sistemas Isolados (%)	40
Tabela 2: Número de Unidades Geradoras e Potência Instalada em 2007 – Parque Gerador Hidráulico	40
Tabela 3: Número de Unidades Geradoras e Potência Instalada em 2007 – Parque Gerador Térmico	42
Tabela 4: Brasil e Subsistemas Elétricos - Mercado de Fornecimento (GWh)	44
Tabela 5: Geração Térmica e Consumo de Óleo por Empresa com Cobertura da CCC-ISOL para 2007. (Diesel e PTE em 10 ³ litros; PGE e Combustível em toneladas)	45
Tabela 6: Dados da universalização – totais por concessionária	48
Tabela 7: Metas Anuais para as concessionárias de acordo com o índice de atendimento	52
Tabela 8: Metas Anuais para cada município de acordo com o índice de atendimento	52
Tabela 9: Beneficiários do programa baixa renda, por Região, no Brasil e em %. Dados referentes ao mês de setembro de 2006.	55
Tabela 10: Brasil e Subsistemas Elétricos. Consumidores Residenciais	57
Tabela 11: Consumo e consumidores de energia elétrica por classe na Bahia	60
Tabela 12: Consumo e consumidores de energia elétrica por classe em Nova Viçosa	61
Tabela 13: Eletrodomésticos e equipamentos produtivos existentes	64
Tabela 14: Equivalência SIGFI para a carga instalada em Barra Velha	65
Tabela 15: Equivalência SIGFI para a carga futura em Barra Velha	66
Tabela 16: Eletrodomésticos e equipamentos produtivos que poderão ser adquiridos (Prazo de 3 a 12 meses) – Demanda reprimida	67
Tabela 17: Expectativa de consumo da vila de Barra Velha	69
Tabela 18: Demanda instantânea ao decorrer do dia para a média de consumo diário	71
Tabela 19: Demanda instantânea ao decorrer do dia para o maior consumo	

diário	72
--------	----

Capítulo 4

Tabela 20: Autorizações de empreendimentos Eólicos no Brasil	78
Tabela 21: Energia Eólica - Capacidade Instalada por região em MW até 2007	80
Tabela 22: Fator de rugosidade do terreno	96
Tabela 23: Energia solar fotovoltaica conectada a rede - valores adicionados anualmente, 2002–2006	109

Capítulo 6

Tabela 24: Dados anemométricos da estação Caravelas – DEPV	142
Tabela 25: Características dos aerogeradores GERAR da ENERSUD	143
Tabela 26: Energia média mensal gerada pelos aerogeradores GERAR 208 e 246	144
Tabela 27: Densidade do ar – kg/m^3 (ρ)	144
Tabela 28: Radiação Solar ($\text{kWh/m}^2.\text{dia}$)	145
Tabela 29: Quantidade de Horas de Sol Pleno – HSP	146
Tabela 30: Energia média mensal gerada pelo arranjo fotovoltaico - kWh/mês	146
Tabela 31: Velocidade do vento para cada mês do ano na localidade de Barra Velha	146
Tabela 32: Energia mensal gerada pelos aerogeradores – kWh/mês	146
Tabela 33: Total da energia média mensal gerada pelas fontes eólica e solar – kWh/mês	147

Capítulo 7

Tabela 34: Países que não compõem a União Européia com metas de energias renováveis	163
Tabela 35: Classificação e disponibilidade de atendimento para atendimento através de SIGFI	175

Anexo 1

Tabela 36: Características e custo das energias renováveis	197
--	-----

Anexo 2

Tabela 37: Especificações técnicas e elétricas GERAR 208 e 246	198
--	-----

Tabela 38: Especificações técnicas ISOVERTER 3000	202
---	-----

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 2

Figura 1: População (em %) que utilizam resíduos sólidos nos maiores países por renda em áreas urbana (esquerda) e rural (direita). Dados de 2003.	33
--	----

Capítulo 3

Figura 2: Consumo de energia elétrica por classe. Taxa de crescimento anuais (%).	46
Figura 3: Brasil e Subsistemas Elétricos. Consumo Médio Residencial – kWh/mês.	47
Figura 4: Domicílios rurais sem acesso a energia elétrica.	51
Figura 5: Índice de exclusão elétrica rural.	51
Figura 6: Distribuição dos domicílios rurais não atendidos por região do Brasil.	51
Figura 7: Consumo Residencial: GWh e Taxas Anuais de Crescimento (%).	57
Figura 8: Brasil. Consumo Médio Residencial (kWh/mês).	58
Figura 9: Localização do Município de Nova Viçosa de acordo com sua mesorregião e microrregião.	61
Figura 10: Localização da ilha da Cassumba e da comunidade de Barra Velha	62
Figura 11: Ilustração da quantidade de sistemas SIGFI necessários para atender a localidade de Barra Velha	66
Figura 12: Curva de carga característica de um vilarejo	70

Capítulo 4

Figura 13: Mercado mundial de energia eólica - crescimento acumulado entre 1996 e 2007 (MW).	77
Figura 14: Desenvolvimento do mercado de aerogeradores de acordo com a potência e tamanho	79
Figura 15: Tipos de rotores de acordo com a orientação de seu eixo. (a) Darrieus – Eixo vertical (b) Savonius - Eixo vertical e (c) Eixo horizontal	82

Figura 16: Detalhamento das partes que constitui um aerogerador	83
Figura 17: Comparação dos níveis de ruído, em decibéis, em relação a uma turbina eólica hipotética	87
Figura 18: Causa de fatalidades entre aves	88
Figura 19: Fluxo do ar através do rotor	91
Figura 20: Fluxo de ar através das hélices do aerogerador	95
Figura 21: Ilustração do efeito parque	95
Figura 22: Escoamento do vento em relação a obstáculos e ao terreno	97
Figura 23: Região com turbulência no vento ocasionada pela presença de obstáculos ou árvores	98
Figura 24: Relação entre a velocidade do vento e a potência eólica por unidade de área.	99
Figura 25: Distribuição de <i>Weibull</i> (fator de forma $k = 2.65$) para velocidades de vento a vinte metros de altitude para a região de Sauípe no litoral norte do estado da Bahia. Medições realizadas entre meio de 1997 e abril de 1998.	100
Figura 26: Potencial eólico estimado para vento médio anual igual ou superior a 7,0 m/s	101
Figura 27: Velocidade média anual do vento na Bahia para diferentes alturas (m/s)	103
Figura 28: Velocidade média sazonal do vento a 50 metros de altura	105
Figura 29: Velocidades médias de um dia típico para cada estação durante o ano de 2002	106
Figura 30: Decomposição da radiação solar	107
Figura 31: Maiores empreendimentos fotovoltaicos até o final de 2007	111
Figura 32: Mercado mundial de energia solar fotovoltaico de grande escala – crescimento instalado e acumulado entre 1995 e 2007 (MWp)	111
Figura 33: Desenvolvimento da potência média de sistemas fotovoltaicos de grande porte	112
Figura 34: Mercado mundial de energia solar fotovoltaico – capacidade instalada entre 1995 e 2007 (MWp)	113
Figura 35: O módulo fotovoltaico e suas partes	115
Figura 36: Células fotovoltaicas fabricados comercialmente a partir de células de silício (a) monocristalino e (b) policristalino	116

Figura 37: Características I x V e P x V de uma célula ou módulo FV	116
Figura 38: Influência da irradiância (a) e temperatura (b) nas características dos módulos fotovoltaicos	117
Figura 39: Piranômetro fotovoltaico testado em laboratório	119
Figura 40: Distribuição da irradiância em um dia sem nuvens	119
Figura 41: Distribuição da irradiância. (1) Caso real, (2) Caso hipotético	120
Figura 42: Inclinação para o painel fotovoltaico em relação ao plano horizontal	121

Capítulo 5

Figura 43: Configuração típica de um SHEFI	127
Figura 44: Tipos de onda de inversores. (a) Onda Quadrada. (b) Onda Senoidal Modificada ou Semi-Senoidal. (c) Onda Senoidal Pura	130
Figura 45: Sistema híbrido de Tamaruteua. (a) Aerogeradores, (b) Grupo gerador e (c) Equipamentos para revitalização e expansão do sistema	132
Figura 46: Sistema híbrido de São Tomé. (a) Aerogerador, (b) Grupo gerador e (c) Painéis Fotovoltaicos.	133

Capítulo 6

Figura 47: Esquema de ligação dos equipamentos do sistema híbrido GMUDE/UNIFACS. Fonte: Elaboração própria.	136
Figura 48: Localização por satélite da vila de Barra Velha I onde o SHEFI – UNIFACS será instalado	137
Figura 49: Localização exata onde o SHEFI - UNIFACS será instalado de acordo com coordenadas geográficas após visitação do local	138
Figura 50: (a) Aerogerador GERAR 208 montado no laboratório da UNIFACS. (b) Detalhe do eixo central que realiza a conexão entre o rotor e o leme, e o encaixe com os tubos de ferro que constituem a torre. (c) Detalhe do rotor da turbina e (d) Detalhe da curvatura das hélices, necessária para o controle <i>active stall</i> .	139

Figura 51: Curva de potência dos aerogeradores GERAR 208 e 246	140
Figura 52: (a) Freqüência relativa para velocidade de ventos a 20 metros de altura. (b) Direções de vento predominantes. (c) Velocidade dos ventos em relação às horas do dia e meses do ano e (d) Quantificação em relação ao relevo local	142
Figura 53: Geração mensal de energia dos aerogeradores 208/246	145
Figura 54: Complementaridade estimada para as fontes Eólica e Solar na localidade de Barra Velha – Bahia	147
Figura 55: Esquema de ligação do banco de baterias para obtenção de 24V na saída	150
Figura 56: Esquema do suporte para o banco de baterias. Detalhe para o número de baterias inicial	152
Figura 57: Controlador de carga GERAR 208. (a) Painel Frontal e (b) Destaque para a chave de acionamento do freio magnético na parte superior esquerda, nível de corrente elétrica e <i>leds</i> mostradores do nível de energia do banco de baterias.	152
Figura 58: Controlador de carga do arranjo fotovoltaico. Painel frontal com indicadores de estado e bornes de contato	150
Figura 59: Inversor 3 kW. A foto mostra os contatos para conexão com o banco de baterias e Painel de ligação com as cargas, chave liga – desliga e indicadores de estado do banco de baterias	153
Figura 60: Elementos que compõe o kit torre. (a) Base, (b) Elemento articulado, (c) Anel de conexão dos tubos e (d) Colar superior e (e) Pregão de ancoragem	155
Figura 61: Dimensões da locação do aerogerador do sistema híbrido GMUDE / UNIFACS. (a) Distância dos pregões de ancoragem e (b) Vista superior	158
Figura 62: Esquema de elevação da torre. (a) Esquema ilustrando a utilização do <i>ginpole</i> e (b) Fixação dos cabos de aço para elevação da torre	158
Figura 63: Esquema da casa de potência e controle. Vista para o sistema de ventilação passivo	159
Figura 64: Planta baixa e esquema de instalações elétricas da casa de potência e controle	160

Capítulo 7

Figura 65: Porcentagem da eletricidade produzida nos países que compõem a União Européia por volta de 2020	162
--	-----

Apêndice 1

Figura 66: Estimativa da velocidade do vento através da deformação das árvores	192
Figura 67: Índices para deformação das árvores para o sistema Griggs-Putnam	193
Figura 68: Índices para deformação das árvores para o sistema Barsch	193

Anexo 2

Figura 69: Curva de potência do GERAR 208 e 246	198
Figura 70: Produção de energia de acordo com a velocidade do vento	198
Figura 71: Especificações técnicas KC120	199
Figura 72: Características técnicas do controlador fotovoltaico, modelos ProStar 12/20/30 – Morningstar	200
Figura 73: Especificações técnicas EN150	201

Anexo 3

Figura 74: Projeto da casa de potência e controle	203
---	-----

Anexo 4

Figura 75: Projeto do suporte para o banco de baterias	204
--	-----

Anexo 5

Figura 76: Médias da Intensidade e Direção do Vento – 2002	205
Figura 77: Médias da Intensidade e Direção do Vento – Dezembro / Janeiro / Fevereiro de 2002	206
Figura 78: Médias da Intensidade e Direção do Vento – Março / Abril / Maio de 2002	207
Figura 79: Médias da Intensidade e Direção do Vento – Junho / Julho / Agosto de 2002	208
Figura 80: Médias da Intensidade e Direção do Vento – Setembro / Outubro / Novembro de 2002	209

LISTA DE QUADROS

Capítulo 6

Quadro 1: Elementos que complementam o kit torre da ENERSUD	157
Quadro 2: Equipamentos que serão alocados na casa de potência e controle	159
Quadro 3: Equipamentos para a instalação elétrica do sistema híbrido	160

Capítulo 7

Quadro 4: Padrões de DIC para o atendimento com SIGFI	173
---	-----

Apêndice 1

Quadro 5: Escala Beaufort	194
---------------------------	-----

LISTA DE SIGLAS E ABREVIações

ANEEL	Agencia Nacional de Energia Elétrica
AUSWIND	Australian Wind Energy Association
AWEA	American Wind Energy Association
CCC-ISOL	Conta de consumo de combustíveis dos sistemas isolados
CEPEL	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
COELBA	Companhia de eletricidade do estado da Bahia
CRESESB	Centro de Referencia para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito
DEC	Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora
DIC	Duração de Interrupção por Unidade Consumidora
DWIA	DANISH WIND INDUSTRY ASSOCIATION
EC	European Commission
EERE	U.S. Department of Energy Office of Energy Efficiency and Renewable Energy
ELETROBRAS	Centrais Elétricas Brasileiras S.A.
ENERSUD	Indústria e Soluções Energéticas Ltda
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
EUA	Estados Unidos da América
EWEA	European Wind Energy Association
FAPESB	Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado da Bahia
FEC	Freqüência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora
FIC	Freqüência de Interrupção por Unidade Consumidora
GEDAE	Grupo de Estudo e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas
GMUDE	Grupo de pesquisa em Mudanças climáticas, Universalização, Desenvolvimento sustentável e Energias renováveis
GTES	Grupo de trabalho de energia solar
GTON	Grupo Técnico Operacional da Região Norte
GWEC	Global Wind Energy Council
HKO	Hong Kong Observatory
IEC	Iowa Energy Center
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

MME	Ministério de Minas e Energia
MRIE	Mestrado em Regulação da Indústria de Energia
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
PDEE	Plano Decenal de Expansão do Setor de Energia Elétrica
PGE	Óleo combustível para geração elétrica
PIE	Produtor independente de Energia
PRC	Programa de Revitalização e Capacitação
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PRODEEM	Programa de Desenvolvimento Energético dos Estados e Municípios
PROINFA	Programa de Incentivo a Fontes Alternativas de energia elétrica
PTE	Óleo leve para turbina elétrica
PUCRS	Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul
REN21	Renewable Energy Policy Network for the 21 st Century
SEI	Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia
SEINFRA	Secretaria de infra-estrutura do governo do estado do Ceará
SHEFI	Sistema Híbrido Eólico – Fotovoltaico Isolado
SEMC	Secretaria de Energia, Minas e Comunicação do Estado do Rio Grande do Sul.
SIGFI	Sistema Individual de Geração com Fontes Intermitentes
SIN	Sistema Interligado Nacional
SONDA	Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais
UFGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UHE	Usina Hidrelétrica
UNIFACS	Universidade Salvador
UTE	Usina Termoelétrica
WEO	World Energy Outlook
WHO	World Health Organization

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	25
2	ENERGIA ELÉTRICA E O DESENVOLVIMENTO	30
2.1	DESENVOLVIMENTO ENERGÉTICO MUNDIAL	30
2.2	EXCLUÍDOS ENERGETICAMENTE	33
2.3	A ELETRIFICAÇÃO RURAL E AS OPÇÕES PARA O ATENDIMENTO	35
3	ATENDIMENTO ELÉTRICO A REGIÕES ISOLADAS NO BRASIL	39
3.1	PERFIL DO CONSUMIDOR EM COMUNIDADES ISOLADAS	54
3.1.1	Classe residencial - mercado de energia elétrica	56
3.1.2	Classe residencial - mercado de energia elétrica na Bahia	59
3.1.3	Características da vila de Barra Velha	62
4	RECURSOS ENERGÉTICOS EÓLICO E SOLAR	74
4.1	ENERGIA EÓLICA	74
4.1.1	Estado da arte da energia eólica	76
4.1.2	Tecnologia de aproveitamento – Turbinas Eólicas	81
4.1.3	Impactos ambientais	86
4.1.4	O Recurso Eólico	88
4.1.5	Recurso Eólico no Brasil	101
4.2	ENERGIA SOLAR	107
4.2.1	Estado da arte da energia solar fotovoltaica	108
4.2.2	Tecnologia de aproveitamento – Painéis Fotovoltaicos	113
4.2.3	Impactos ambientais	117
4.2.4	Recurso Solar	118
4.3	CONSIDERAÇÕES FINAIS	123
5	SISTEMAS HÍBRIDOS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	124
5.1	VANTAGENS E DESVANTAGENS DOS SISTEMAS HÍBRIDOS	126
5.2	FATORES CONDICIONANTES NA QUALIDADE DE ENERGIA EM SISTEMAS HÍBRIDOS ISOLADOS	127
5.3	ESTADO DA ARTE NO BRASIL	131
5.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	134
6	PROJETO DO SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO – FOTOVOLTAICO	135
6.1	GERAÇÃO EÓLICA	138

6.2	GERAÇÃO FOTOVOLTAICA	140
6.3	ESTIMATIVA DA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA DO SHEFI - UNIFACS	141
6.4	CARGA A SER ATENDIDA	147
6.5	SISTEMA DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA	148
6.6	CONTROLADORES DE CARGA	151
6.7	INVERSOR	153
6.8	INSTALAÇÃO	154
7	FLEXIBILIZAÇÃO DO ARCABOUÇO REGULATÓRIO VIGENTE	161
7.1	ESTRUTURA POLÍTICA DE INCENTIVO AS RENOVÁVEIS	161
7.2	CARACTERÍSTICAS DA LEGISLAÇÃO DO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO E A UNIVERSALIZAÇÃO DOS SERVIÇOS DE ENERGIA ELÉTRICA	166
7.3	MINI – REDES COMO OPÇÃO DE ATENDIMENTO PARA OS SISTEMAS ISOLADOS	169
7.4	REGULARIDADE E CONTINUIDADE DE ATENDIMENTO NO BRASIL	170
7.5	FLEXIBILIZAÇÃO DO ARCABOUÇO REGULATÓRIO VIGENTE PARA APROVEITAMENTO DE MINI – REDES ISOLADAS COM FONTES INTERMITENTES DE ENERGIA	172
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS	179
	REFERÊNCIAS	183
	APÊNDICE 1 - DEFORMAÇÃO DE ÁRVORES E EMBANDEIRAMENTO	192
	APÊNDICE 2 – PUBLICAÇÕES GERADAS PELO TRABALHO DE DISSERTAÇÃO	196
	ANEXO 1 - STATUS DAS ENERGIAS RENOVÁVEIS – CARACTERÍSTICAS E CUSTO	197
	ANEXO 2 - ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DOS EQUIPAMENTOS	198
	ANEXO 3 - CASA DE POTÊNCIA E CONTROLE DO SHEFI – UNIFACS	203
	ANEXO 4 - SUPORTE PARA O BANCO DE BATERIAS	204
	ANEXO 5 - MÉDIA DA INTENSIDADE E DIREÇÃO DO VENTO (PROJETO SONDA)	205

1 INTRODUÇÃO

O Brasil, com 8.514.215 km², é o quinto país do mundo e o maior da América Latina em área territorial. Seu território encontra-se entre as latitudes 5°16'N e 33°45'S e longitudes 32°23'W e 73°59'W, apresentando diversas regiões inseridas em várias zonas de climas e relevo diferentes. Dado esta diversidade regional uma parcela significativa da população brasileira, em condições de pobreza, aliadas ao isolamento e dispersão geográfica, não possui acesso à energia elétrica.

Assegurar o atendimento de energia elétrica a todo cidadão brasileiro é obrigação do Estado, que deve garantir a qualidade e confiabilidade deste atendimento. O grande desafio para o setor elétrico nacional é manter o caráter de interesse público no mercado privatizado, onde prevalece a competitividade, garantindo a universalização do atendimento energético.

O atendimento aos sistemas isolados é realizado através de usinas termoelétricas, de grande ou pequeno porte, utilizando combustíveis fósseis (óleo diesel ou óleo combustível), principalmente na região Norte. Muitos destes sistemas enfrentam problemas com a logística e preço dos combustíveis para o acionamento das turbinas, cuja distribuição é feita através de barcaças, limitada aos períodos navegáveis dos rios ou ao tempo de viagem, que pode durar mais de um mês.

Essa condição de atendimento aos sistemas isolados aliado a característica inerente de grupos geradores de elevados custos operacionais, encarece o preço da energia gerada e contribui para poluição do meio ambiente, acrescentando um risco a qualidade e confiabilidade do atendimento.

Para garantir o abastecimento energético do setor elétrico brasileiro é necessário buscar novas tecnologias de geração elétrica capazes de suprir sua demanda futura, permitindo diversificar as tecnologias de geração utilizadas no país, de forma a diminuir a dependência em relação a um único recurso energético, o que agrega robustez e confiabilidade ao setor. Da mesma forma, a busca pela viabilização de tecnologias limpas e renováveis visa diminuir a necessidade

crescente de utilizar recursos fósseis para garantir o abastecimento da demanda futura de eletricidade.

É consenso entre os especialistas que o processo de universalização da energia elétrica passa necessariamente pela utilização de novas alternativas economicamente viáveis. Para que isso aconteça, as soluções baseadas em energias renováveis são vistas como uma alternativa para o atendimento de comunidades isoladas. Contudo, propostas deste tipo têm encontrado restrições pela censura das novas tecnologias pelas comunidades face à falta de apoio técnico para a operação contínua dos sistemas. Logo, propostas que garantam um fornecimento contínuo de energia são fundamentais para ganhar crédito entre os usuários e promover a universalização através das renováveis.

O custo das energias renováveis tem diminuído com a melhoria da tecnologia e a economia de escala. O custo da energia Solar e Eólica é a metade do preço de 15 anos atrás. As energias renováveis podem competir com a energia térmica, principalmente com a variação dos preços dos combustíveis utilizados na produção da eletricidade por meios convencionais (REN21, 2007). O Anexo 1 resume o status e custos atuais da tecnologia das energias renováveis.

Muito se fez, no âmbito da universalização, com projetos pilotos, através da geração fotovoltaica, porém a palavra agora é mudança de escala, interconexão com a rede elétrica. O Brasil possui um grande potencial eólico, confirmado através de medidas de vento precisas, realizadas recentemente (COELBA, 2002; INPE, 2005; MME, 2001; SEINFRA, 2001; SEMC, 2002). Outra vantagem das centrais eólicas é que quase toda a área ocupada pela central eólica pode ser utilizada (para agricultura, pecuária, etc.) ou preservada como habitat natural. Projetos que buscam compatibilizar estas duas tecnologias procuram reduzir o custo de atendimento baseado apenas na energia solar.

Nesse sentido, será importante verificar o potencial de uso da geração isolada de energia elétrica através de mini – redes com fontes intermitentes. Dessa forma, esse estudo poderá colaborar no desenvolvimento de conhecimento quanto à real capacidade técnica desses geradores em resolverem o problema de acesso a

energia elétrica em sistemas isolados, assim como, verificar até que ponto a necessidade de regulação dos índices de qualidade de energia poderão contribuir à viabilidade econômica e financeira da geração isolada a partir de sistemas híbridos.

Os esforços para universalização da oferta de energia elétrica a todo o meio rural e sistemas isolados requerem a busca contínua de soluções criativas. Nesse contexto, a tecnologia híbrida de geração elétrica com fontes intermitentes emerge como alternativa de geração isolada de energia. As aplicações mais frequentes para esses sistemas são: eletrificação de residências, prédios comunitários, iluminação pública, sistemas de iluminação de emergência e atendimento de estações de telecomunicações.

As energias renováveis adquirem importância maior ao prover serviços como iluminação, calefação, refrigeração, calor seguro para cozinhar, força mecânica, transporte e comunicações. As vantagens proporcionadas pelas energias renováveis variam de acordo com as condições e prioridades locais, destacando-se a minimização da ameaça das mudanças climáticas do planeta decorrentes da queima de combustíveis fósseis; o crescimento econômico; a ampliação do acesso à energia; a geração de empregos e a fixação do homem no campo; a redução dos níveis de pobreza; a diminuição da desigualdade social; e a diversificação da matriz energética.

O presente trabalho analisa os aspectos técnicos e regulatórios sobre sistemas híbridos para geração de energia elétrica com fontes eólica e solar, considerando sistemas isolados. Dessa forma, faz-se pesquisa sobre a geração híbrida isolada de eletricidade a partir de tecnologias limpas e renováveis de transformação energética, atendendo metas de sustentabilidade, continuidade de serviço e sem agredir o meio ambiente. Assim, busca-se ganhar experiência e desenvolver conhecimento próprio na área de geração híbrida de eletricidade com geradores fotovoltaicos e turbinas eólicas. Para isso é realizado o projeto de um sistema de geração híbrida de energia elétrica eólico – fotovoltaico funcionando isoladamente (SHEFI) da rede de distribuição de eletricidade do estado da Bahia. Esta experiência piloto no estado da Bahia permitirá realizar discussões de forma a incluir a energia híbrida eólico – fotovoltaico como uma das opções de geração

elétrica no planejamento do setor energético brasileiro. A dissertação está subdividida em cinco capítulos, a saber:

No primeiro capítulo é apresentado o conceito de Eletrificação Rural Descentralizada (ERD). Apresenta-se o histórico e a atualidade do acesso à energia de comunidades isoladas, as configurações e tecnologias disponíveis para fomentar tal acesso.

No segundo capítulo é apresentada a problematização do acesso a energia elétrica por parte dos sistemas isolados no Brasil. Serão apresentadas suas características peculiares e atual situação. Neste capítulo é apresentado a comunidade isolada de Barra Velha, pertencente ao município de Nova Viçosa – BA, seu atual suprimento de energia e expectativas futuras, que constituirá o estudo de caso desta dissertação.

No terceiro capítulo é realizado um estudo teórico a respeito dos recursos eólico e solar apresentando os equipamentos e técnicas para aproveitamento de tais recursos considerados no projeto do sistema híbrido. Durante a apresentação de cada recurso considerado é demonstrado seu estado da arte e a potencialidade de utilização no estado da Bahia.

No quarto capítulo é realizado um estudo teórico a respeito dos sistemas híbridos para geração de energia elétrica e a possibilidade para atendimento de sistemas isolados. Ainda neste capítulo relata-se o estado da arte em relação a sistemas híbridos para geração de energia elétrica. Faz-se uma discussão sobre as vantagens e desvantagens de sistemas híbridos para geração de energia elétrica, tais como: a complementaridade das fontes eólica e solar e a confiabilidade do sistema.

No quinto capítulo encontra-se o projeto do sistema híbrido eólico – fotovoltaico isolado – SHEFI, objeto de estudo para o presente trabalho, caracterizando-se a carga a ser atendida, os equipamentos para geração eólica e solar de energia, os sistemas de armazenamento e condicionamento de potência.

São detalhados os procedimentos e particularidades da instalação do sistema híbrido em questão.

No sexto e último capítulo é apresentado o arcabouço regulatório vigente no Brasil, considerando as características do setor elétrico brasileiro e os requisitos de qualidade da energia, em relação a sistemas isolados, discutindo-se em seguida a flexibilização deste arcabouço e adequação aos sistemas híbridos para geração de energia elétrica, normalizados pelo modelo do setor elétrico.

As considerações finais servem como contribuição para as discussões quanto à inclusão dos sistemas híbridos para o atendimento a regiões isoladas. Não existem dados de desempenho suficientes, com padrão de consumo diferenciado por região e quantidade, para determinar o número de horas e os índices de qualidade para atendimento através destes sistemas, visando o custo benefício para as concessionárias e para a população. A implantação e pesquisa deste tipo de sistema fazem-se necessários para discussão sobre a continuidade do atendimento pelas concessionárias e sua regulamentação atual, no âmbito do modelo elétrico nacional, para os sistemas isolados.

Por fim, são apresentados o apêndice contendo um estudo sobre a deformação das árvores como parâmetro de medição da velocidade e direção dos ventos, e os anexos, contendo dados técnicos sobre os equipamentos referenciados na dissertação, preços e atual situação da energia gerada através de diversas fontes energéticas.

2 ENERGIA ELÉTRICA E O DESENVOLVIMENTO

2.1 DESENVOLVIMENTO ENERGÉTICO MUNDIAL

O homem primitivo utilizava apenas a energia disponível nos alimentos, transformando-a em energia muscular, ou ainda a da tração animal. Foi através do domínio do fogo que o homem iniciou o desenvolvimento tecnológico na área da energia, surgindo o conceito da dendroenergia. A utilização da dendroenergia (lenha e carvão vegetal) e resíduos agropecuários para suprir as necessidades de cocção, iluminação e calefação nos domicílios vieram a se tornar os principais recursos energéticos até o final do século XVIII. O homem aprendeu a utilizar a força captada através do movimento dos ventos e das águas, sendo essa a fonte de energia utilizada para atividades agrícolas e comerciais até o surgimento da revolução industrial.

O carvão teve um papel decisivo na primeira revolução industrial, na introdução ao capitalismo no início do século XVIII, dando início à era do carvão. A humanidade experimentou um avanço significativo no consumo de energia com a utilização das máquinas a vapor, as caldeiras, as locomotivas e as linhas ferroviárias, o tear mecânico, os navios a vapor.

Com a descoberta e o começo da exploração do petróleo, em meados do século XIX, nos EUA, produzindo querosene para iluminação, substituindo o óleo de baleia, iniciou-se a segunda revolução industrial, com a era do petróleo, com taxas de desperdício de matéria-prima exorbitantes. A partir do aumento sucessivo na produção do petróleo as vantagens deste combustível fóssil foram descobertas, tais como: a grande facilidade de transporte e armazenamento, e a partir do seu refino mostrou-se bastante flexível em relação aos seus subprodutos, consolidando esta fonte como um dos principais energéticos no mundo. Com o acontecimento da primeira e segunda guerra mundial, em 1919 e 1939 respectivamente, a indústria dos hidrocarbonetos derivados do petróleo experimentou um avanço sem precedente na história. O desenvolvimento do petróleo foi a solução para suprir os

combatentes de guerra, em calefação, cocção, iluminação, para mover máquinas de guerra desde tanques até aviões.

Ao mesmo tempo, no final do século XIX, a indústria da eletricidade surgiu com qualidade e fácil acesso, proporcionando a inserção dos bens de consumo e serviços. O próprio avanço da eletricidade está atrelado aos combustíveis fósseis, pois foi a partir de máquinas térmicas movidas a esses combustíveis que a eletricidade se originou. Foi no século XX que a eletricidade desenvolveu-se com a implantação da iluminação pública e a introdução da atual indústria eletroeletrônica.

A utilização do gás natural experimentou um avanço quase concomitantemente ao da indústria do petróleo. O gás natural é um combustível fóssil encontrado na natureza, associado ou não ao petróleo em suas jazidas. Inicialmente ele era considerado apenas um subproduto do petróleo, sendo apenas queimado ou reinjetado nos poços para aumentar a produção de petróleo. Depois das duas crises do mercado do petróleo em 1970, e a fortes pressões ambientais o gás natural passou a ser considerado como um energético estratégico, sendo utilizado em diversos setores da economia mundial (industrial, transporte, residencial, energia).

Atualmente as fontes mundiais de energia subdividem-se em dois setores principais: primário e secundário. As fontes primárias de energia correspondem às formas sob as quais a natureza libera energia e as fontes secundárias dependem de transformações a partir de fontes primárias para existirem.

Sendo a eletricidade não estocável e uma fonte secundária de energia, a adaptação entre oferta e demanda sempre foi complexa: a produção de energia considerando a diversidade dos custos inerentes às fontes primárias e a demanda oscilando influenciada pelas tarifas praticadas. Dado o desenvolvimento tecnológico alcançado na extração e refino do petróleo, o consumo mundial de energia primário e secundário é dependente dos combustíveis fósseis.

Nos dias atuais, o consumo médio global de energia requerido para alimentação, moradia, comércio, indústria, agricultura e transporte é inúmeras vezes

maior quando comparado com o histórico do consumo. No entanto, esse valor mascara uma diferença maior que dez vezes no consumo de energia per capita entre os países industrializados, onde vive 25% da população mundial, e os países em desenvolvimento. Os Estados Unidos consomem 35% de toda energia mundial disponível e contam com apenas 6% da população mundial. Nos países em desenvolvimento o setor energético reflete a inadequação às necessidades humanas fundamentais e danos à saúde e ao meio ambiente, típicos do subdesenvolvimento.

Nos países em desenvolvimento as características em toda a cadeia da área de energia são:

- Baixo consumo per capita de energia;
- Grande disparidade nas intensidades energéticas, representada tanto pelo uso de fontes com pouco rendimento como pela escolha inadequada de processos e tecnologias;
- Forte preponderância dos combustíveis fósseis (carvão e petróleo);
- Larga utilização de fontes tradicionais (lenha, carvão vegetal, resíduos vegetais);
- Existência de sistema de produção e distribuição precários, sujeitos a falhas recorrentes, o que conduz a uma baixa qualidade na prestação dos serviços;
- Grande nível de disparidade entre oferta e demanda;

Em quase toda a história, o ser humano dispôs apenas da energia de sua própria força muscular e da tração animal, do calor da lenha e da captação do movimento das águas e dos ventos. A invenção da máquina a vapor, a utilização do petróleo e a descoberta da eletricidade possibilitaram novas condições e qualidade de vida, criando também novas situações econômicas, sociais e ambientais na busca dessa energia. A política de desenvolvimento dos países, baseada em intensa atividade industrial, aliada ao baixo preço do petróleo, estimulou a rápida urbanização da população. O adensamento da população em áreas urbanas levou a produção de energia orientada a atender esses grandes centros de consumo. Grandes blocos de energia são gerados e transmitidos pela extensão dos países e

depois distribuídos em suas unidades federativas. Desta forma, a população domiciliada nas zonas rurais, mais distantes dos grandes centros de consumo de energia, permaneceu sem acesso a esse serviço fundamental ao homem moderno.

2.2 EXCLUÍDOS ENERGETICAMENTE

De acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS), mais de 2,5 bilhões de pessoas dependem de combustíveis sólidos (lenha, carvão vegetal, resíduos agrícolas e até esterco) para atender suas necessidades energéticas básicas tais como: cocção, calefação e iluminação (WHO, 2007). A maior parcela dessas pessoas está predominantemente distribuída pelos países do continente africano e asiático. A Figura 1 mostra a porcentagem da população dos maiores países que utilizam resíduos sólidos, na zona urbana (esquerda) e rural (direita). A cor amarela representa o quinto mais pobre e a vermelha representa o quinto mais rico da população.

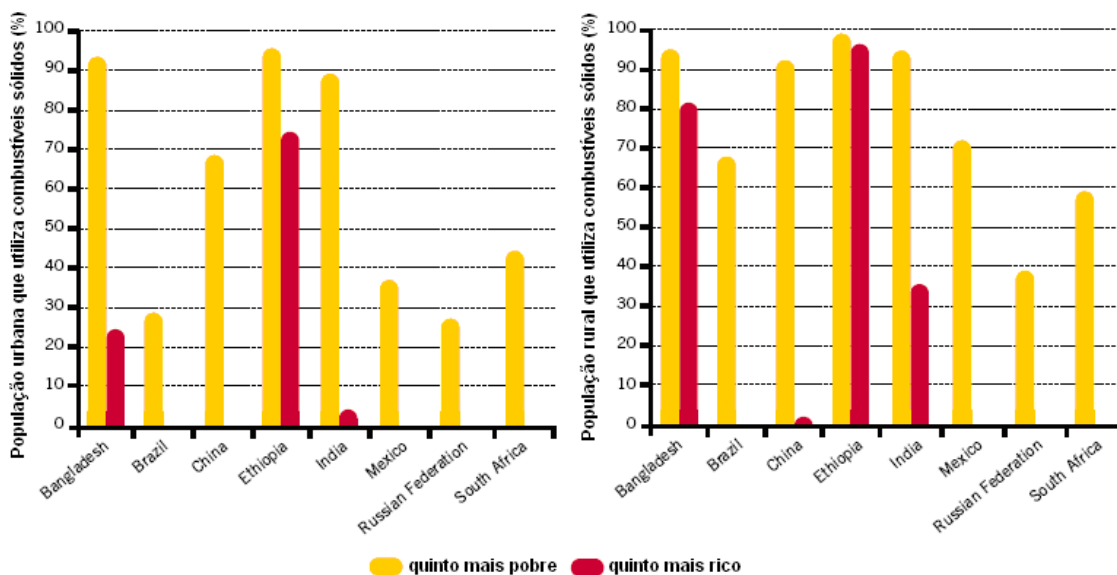


Figura 1: População (em %) que utilizam resíduos sólidos nos maiores países por renda em áreas urbana (esquerda) e rural (direita). Dados de 2003. Fonte: Tradução livre de (WHO, 2007).

Existe uma grande variação no nível de consumo e tipos de combustíveis utilizados para as necessidades dos excluídos energeticamente. Para cocção e calefação a energia pode ser dividida em três categorias, de acordo com (WEO,

2006): tradicional (esterco, resíduos agrícolas e lenha), intermediária (carvão vegetal e querosene) e modernas (GLP, biogás e eletricidade). A eletricidade é principalmente utilizada para iluminação e acionamento de pequenos eletrodomésticos, na maioria das vezes por uma quantidade limitada de horas ao dia.

Existem basicamente duas formas para obtenção do combustível que atenderá as necessidades energéticas dessa população: através da coleta ou pela compra do combustível. A responsabilidade pela tarefa de coletar o combustível sólido é passada para as mulheres e crianças, que percorrem na maioria das vezes muitos quilômetros, ocupando uma grande parte do dia, variando entre a população urbana e rural. Onde o combustível é comprado, por exemplo, em favelas na África e Ásia, o dinheiro gasto ocasiona a diminuição severa no orçamento familiar (WEO, 2002).

Essa condição leva a situação de extrema miséria dessa população, ocasionados pelo aproveitamento destes combustíveis, tais como: problemas de saúde, divisão familiar do trabalho, e contribuição dupla para o efeito do aquecimento global: desmatamento da região domiciliada e emissão de gases do efeito estufa.

A queima destes tipos de combustível, com equipamentos de baixa eficiência, ocasiona a emissão de grandes quantidades de gases danosos à saúde e ao meio ambiente. Com a exposição a esses gases as pessoas estão sujeitas a conjuntivite, inflamação e irritação do aparelho respiratório, obstrução dos pulmões, bronquite crônica e até mesmo câncer. De acordo com a OMS (WHO, 2007) cerca de 1,3 milhões de pessoas morrem todos os anos por razões respiratórias oriundas da utilização dos combustíveis sólidos para suprimento de suas necessidades energéticas básicas, ficando atrás apenas da quantidade de mortes ocasionadas pela desnutrição, escassez de água limpa, saneamento básico e AIDS.

Toda a atividade econômica está associada à energia. A falta de combustíveis modernos e da eletricidade formam uma barreira para a oferta das necessidades

humanas básicas em comunidades isoladas rurais: água, saúde, iluminação e educação.

2.3 A ELETRIFICAÇÃO RURAL E AS OPÇÕES PARA O ATENDIMENTO

De acordo com o desenvolvimento energético alcançado pelos grandes centros urbanos, buscou-se disponibilizar o mesmo conforto às comunidades isoladas através da extensão de rede sempre que possível. Mas o baixo consumo de energia, pequeno poder econômico, grande dispersão dos domicílios e grande distância em relação ao ponto de ligação são fatores determinantes no que diz respeito aos custos associados à eletrificação rural baseadas na extensão da rede. Atualmente é aceito que a energia não deve ser gerada apenas a partir de plantas centralizadas e distribuídas por redes. Devem ser considerados os sistemas descentralizados e as particularidades de cada região em relação aos insumos energéticos disponíveis localmente e a demanda de energia através das características socioeconômicas e culturais da população beneficiada.

A opção para o atendimento dessas regiões, desde o início da história da eletrificação rural foram os geradores de potência, movidos a combustíveis fósseis, que acompanharam o desenvolvimento da indústria do petróleo. Mesmo sob condições extremas e enfrentando muitas dificuldades de acesso e logística de abastecimento e manutenção, esses geradores produzem eletricidade nos locais mais remotos. Com a flutuação do preço do petróleo condicionado à sua produção, o custo representado pelo combustível tende a piorar.

Quando se pensa em eletrificação rural descentralizada nenhuma das fontes energéticas supracitadas é capaz de atender toda a demanda sozinha, principalmente quando considerado aplicações que geram valor agregado (comércio, produção, etc.). As tecnologias disponíveis no mercado apresentam-se propícias ao atendimento descentralizado combinadas entre si, com fontes renováveis de energia e ainda aos geradores de potência, proporcionando confiabilidade, qualidade e segurança no fornecimento de energia elétrica.

Após a geração da eletricidade, os projetos de eletrificação rural confrontam-se com o problema da distribuição dessa energia. Existem três métodos para distribuir a energia gerada: distribuição no local da produção, distribuição pelo transporte de baterias e distribuição por mini – redes. A distribuição no local da produção ocorre quando o sistema é independente e individual, sendo vantajosa quando o usuário assume a responsabilidade do equipamento instalado em sua residência. A distribuição por transporte de baterias requer menos investimentos quanto a infra-estrutura de distribuição de energia, mas por disponibilizar uma pequena quantidade de energia se torna altamente restritiva. A melhor opção de atendimento é a mini – rede de distribuição. Sendo réplicas das grandes redes de distribuição, possibilitam flexibilidade para o uso e expansão. A utilização de cada método e a restrição de cada tecnologia para aproveitamento energético leva a utilização de soluções diversas, complementares entre si.

Ainda há que se preocupar com a utilização eficiente da energia gerada, procurando utilizar equipamentos eficientes e orientar os usuários quanto aos hábitos de consumo. Encontra-se nesta etapa a maior dificuldade para os projetos de eletrificação rural, pois está relacionado à cultura local e a existência de serviços que propiciem tal tarefa: existência de peças para uso e substituição, pessoas treinadas para dar manutenção nos equipamentos. A gestão do projeto é outro fator importante, limitada ao interesse da empresa local de energia elétrica (o que normalmente não acontece) e a falta de recursos financeiros, materiais e humanos do governo impossibilitando-o de assumir essa função.

Historicamente, no Brasil, o acesso à energia elétrica é promovido através de programas governamentais, uma vez que as grandes dimensões do país, a dispersão, a pequena demanda energética, dado a extrema pobreza que atinge a grande maioria das populações, principalmente na zona rural, são fatores desestimulantes para que o acesso ao serviço público de energia elétrica seja realizado apenas pelas concessionárias. A configuração do Sistema Interligado Nacional – SIN, baseado em redes de transmissão alimentadas por hidrelétricas e sua lógica de expansão contribuem para dificultar o processo de universalização do atendimento de eletricidade. O Brasil experimentou algumas iniciativas do Governo,

juntamente com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e o Congresso Nacional, tais como:

- a) Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios – PRODEEM, criado em 1994 pelo Governo Federal, com o objetivo de levar energia de fontes renováveis para equipamentos comunitários em localidades distantes da rede, de modo a promover o desenvolvimento auto-sustentável, social e econômico, destas localidades. O PRODEEM concentra-se em escolas, centros de saúde e outras instalações comunitárias. Foi criado por Decreto Presidencial em dezembro de 1994. Entre os anos de 1996 a 2000 foram instalados painéis de sistemas fotovoltaicos em 3.050 pequenas comunidades, beneficiando 604 mil pessoas (GOLDEMBERG; LA ROVERE; COELHO, 2007).
- b) Programa Luz no Campo, lançado em dezembro de 1999, objetivando eletrificar um milhão de consumidores rurais em todo o Brasil até 2003, beneficiando diretamente mais de 5 milhões de brasileiros. Até meados de 2004 aproximadamente 584.000 conexões foram realizadas, com investimentos em torno de 1,6 bilhão de reais.
- c) Programa Luz para Todos – LPT, lançado em novembro de 2003, objetiva levar energia elétrica para cerca de 12 milhões de brasileiros até 2008. O programa está orçado em R\$ 7 bilhões e será feito em parceria com as concessionárias/permissionárias de energia elétrica e os governos estaduais. O governo federal destinará R\$ 5,3 bilhões ao programa e o restante será partilhado entre governos estaduais e agentes do setor. Os recursos federais virão de fundos setoriais de energia – a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE) e a Reserva Geral de Reversão (RGR).

O atendimento através dos programas governamentais supracitados difere quanto a atual situação de operação dos sistemas já instalados. Enquanto que em alguns estados os sistemas operam normalmente, em outros estados uma parcela mínima ou nenhum dos sistemas está em operação. Vários fatores são apontados: baixa qualidade das instalações, a falta de mecanismos para manutenção e reposição dos equipamentos e ainda o furto e vandalismo (GOUVELLO; MAIGNE, 2003). O atual e maior programa de eletrificação rural, o LPT, enfrenta o atraso do

cumprimento das metas dado as dificuldades encontradas nas negociações dos contratos, principalmente no que diz respeito aos custos de atendimento.

A tecnologia para extensão da rede de eletricidade é plenamente dominada pelas empresas. Essa tecnologia possui vantagens em relação às soluções individuais, podendo-se citar as economias de escala na geração e a flexibilidade quanto às mudanças nos padrões de consumo dos usuários. Mas, quando considerados o volume restrito de serviço a ser oferecido e a baixa demanda de localidades isoladas essa opção apresenta limitações (GOUVELLO; MAIGNE, 2003). Os custos para a extensão da rede são proporcionais à distância do ponto de conexão e à densidade de domicílios da região. Se a densidade da região cai ou a distância do ponto de conexão aumenta os custos de atendimento por consumidor crescem, englobando as perdas, manutenção e faturamento (leitura dos medidores e cobrança).

Existem inúmeras pesquisas que versam sobre o cálculo dos custos para extensão da rede elétrica (GOUVELLO; MAIGNE, 2003). No entanto a maioria dos trabalhos considera apenas os custos marginais para extensão da rede. Desta forma é levada em consideração apenas a distância entre a comunidade e a rede existente. Com a possibilidade do atendimento através dos sistemas de geração descentralizada a tecnologia de extensão de rede passa a ter um forte concorrente, onde até então só concorria com os geradores de potência movidos a combustíveis fósseis. Para tomadas de decisão entre as possibilidades de atendimento dessas comunidades deve-se rever a arquitetura básica da rede, segregando seus componentes básicos: aqueles que servem para cobrir a distância entre as comunidades e as redes existentes (média tensão) daqueles que servem para distribuir a eletricidade entre um transformador e os consumidores da nova rede (baixa tensão) (GOUVELLO; MAIGNE, 2003).

3 ATENDIMENTO ELÉTRICO A REGIÕES ISOLADAS NO BRASIL

Neste capítulo apresenta-se uma descrição do atendimento elétrico a regiões isoladas no Brasil, informando suas características peculiares e atual situação, traçando um perfil de consumo dos sistemas isolados. Ao final do capítulo é apresentado o resultado da pesquisa de campo desenvolvida para caracterizar a demanda por eletricidade da localidade onde será instalado o sistema híbrido eólico – fotovoltaico, tema da dissertação.

No Brasil sistemas isolados definem regiões ou região não interligada ao SIN, atendida através de geradores de eletricidade próprios, distribuída através de mini-rede de distribuição elétrica. O sistema isolado pode abranger um conjunto de unidades consumidoras ou mesmo uma única residência.

Os sistemas isolados no Brasil encontram-se majoritariamente na região norte, espalhados por 45% do território nacional e são responsáveis pelo atendimento de 3% da população brasileira. Os principais sistemas isolados encontram-se na região Norte, nos estados da Amazonas, Rondônia, Acre, Roraima e Amapá, sendo suas capitais as maiores consumidoras nos sistemas isolados. Existem outros sistemas isolados de pequeno porte nos estados da Bahia, Maranhão, Pernambuco, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. A Tabela 1 relata a participação dos principais estados nos sistemas isolados e a previsão do consumo para 2015 (PDEE, 2006). Existe uma grande quantidade de sistemas isolados utilizando pequenos grupos geradores movidos a combustíveis fósseis ou híbridos combinando fontes intermitentes (solar, eólica, PCH) instalados e mantidos por prefeituras municipais, pela própria comunidade ou ainda em parceria com centros de pesquisa, que atendem de forma intermitente (média de 4 horas por dia de atendimento) pequenas comunidades isoladas, mas que não aparecem nas estatísticas oficiais.

Tabela 1: Participação no Consumo de Energia Elétrica dos Sistemas Isolados (%)

Estado	2005	2010	2015
Rondônia	19,9	20,0	19,2
Acre	6,3	6,2	6,1
Amazonas	52,3	54,9	58,3
Roraima	0,7	0,8	1,0
Amapá	7,7	8,5	8,1

Fonte: Plano Decenal de Expansão do setor de Energia Elétrica – PDEE. Período 2006 a 2015 (PDEE, 2006).

A geração própria prevista para os sistemas isolados em 2007 foi de 12.806 GWh verificando-se um crescimento médio de 5% em relação ao mesmo período de 2006. Foram 1283 unidades geradoras nos sistemas isolados em operação no Brasil, listados nas tabelas Tabela 1 e Tabela 2, destas 1236 unidades com geração térmica, acionados por combustíveis derivados do petróleo, tais como óleo combustível e diesel e 47 unidades com geração hidráulica, sendo 13 UHE e 34 PCH (PDEE, 2006; GTON, 2007).

Tabela 2: Número de Unidades Geradoras e Potência Instalada em 2007 – Parque Gerador Hidráulico.

Estado	Concessionária	Nº de Unidades		Potência Nominal (kW)	
		UHE	PCH	UHE	PCH
AMAZONAS	MANAUS ENERGIA	5	-	250.000	-
RONDÔNIA	ELETRONORTE	5	-	216.000	-
	CERON	-	28	-	94.774
RORAIMA	CER	-	2	-	5.000
AMAPÁ	ELETRONORTE	3	-	78.000	-
MATO GROSSO	CEMAT	-	4		3.460
TOTAL PARQUE HIDRÁULICO		13	34	544.000	103.234

Fonte: (GTON, 2007).

Em 2007, como mostram as tabelas Tabela 1 e Tabela 2, a potência nominal nos sistemas isolados foi de 3.542 MW, dos quais 647 MW correspondem a usinas hidroelétricas (UHE e PCH) e 2.895 MW a usinas termelétricas. A totalização de

geração hidráulica total em 2007 foi de 264,1 MW médio, sendo 215 MW médio de UHE e 49,1 MW médio de PCH. A ocorrência de geração térmica total para 2007 foi de 1.055,4 MW médio. Foi previsto o aumento na importação de energia em 2% para 2007, na interligação do sistema de Boa Vista a empresa venezuelana EDELCA (PDEE, 2006; GTON, 2007).

Percebe-se um acréscimo na utilização de combustíveis fósseis para o atendimento dos sistemas isolados no Brasil. De acordo com o plano de operação 2007 (GTON), a geração térmica foi 14% maior que o verificado em 2006, dado principalmente pelo aumento da carga própria dos sistemas isolados e pela redução da contribuição das usinas hidráulicas de maior porte (UHE). Em 2007 as UHE tiveram uma geração 27% inferior ao verificado em 2006 e as PCH verificaram um aumento de 17% em oferta de geração para o mesmo período avaliado. O aumento da geração térmica a base de óleo combustível para 2007 foi na ordem de 111% superior ao verificado em 2006. O consumo de óleo combustível apresentou 100% de aumento em relação ao mesmo período (GTON, 2007). A Tabela 3 mostra o consumo de combustível em 2007, com cobertura CCC-ISOL, por empresa que atende os sistemas isolados (Diesel e PTE em 10³ litros; PGE e Combustível em toneladas).

Tabela 3: Número de Unidades Geradoras e Potência Instalada em 2007 – Parque Gerador Térmico.

Estado	Concessionária	Nº de Unidades		Potência Nominal (kW)	
		2006	2007	2006	2007
ACRE	ELETRONORTE	24	24	94.407	94.407
	ELETROACRE	66	78	32.571	44.159
AMAPÁ	ELETRONORTE	39	39	178.100	168.000
	CEA	15	13	18.045	17.645
AMAZONAS	MANAUS ENERGIA	190	91	1.692.300	1.318.600
	CEAM	451	407	298.713	287.799
PARÁ	CELPA	161	159	88.402	86.682
	JARI CELULOSE	12	12	70.415	15.415
RONDÔNIA	ELETRONORTE	12	12	614.100	614.100
	CERON	141	141	87.364	87.364
RORAIMA	BOA VISTA ENERGIA	3	3	62.000	62.000
	CER	84	86	24.192	26.534
BAHIA	COELBA	5	5	1.578	1.578
MARANHÃO	CEMAR	3	3	872	872
MATO GROSSO	CEMAT	231	157	121.254	65.050
PERNAMBUCO	CELPE	3	6	2.730	4.295
TOTAL PARQUE TÉRMICO		1.440	1.236	3.387.043	2.894.500

Fonte: (GTON, 2007).

Todos esses sistemas devem assegurar 24 horas de atendimento ininterrupto, de acordo com o estipulado pela Resolução ANEEL N° 315/1998, de 01 de outubro de 1998, o que não é verificado em todos os sistemas, principalmente os sistemas do interior, variando entre 5 a 19 horas de atendimento (GTON, 2007). Este fato é agravado por diversos problemas de logística pelos sistemas isolados, quanto ao suprimento de combustíveis aliado ao cronograma de manutenção das unidades geradoras enfrentados: no interior do Estado do Acre o óleo diesel é transportado por via fluvial, sendo um agravante em razão da impossibilidade de navegação nos rios da região durante a maior parte do ano; no interior do Estado do Amapá o óleo diesel é transportado por via rodoviária precária e sem conservação; no interior do Estado do Amazonas o óleo diesel é transportado por via fluvial, sendo que a localidade mais distante encontra-se a 40 dias de viagem (GTON, 2007).

Para efeito de planejamento os sistemas isolados da região Norte e o estado do Mato Grosso são subdivididos em sistemas da capital e sistemas do interior. É importante verificar que nos sistemas do interior a geração é predominantemente

realizada com óleo diesel, enquanto que os sistemas da capital podem combinar a geração térmica com hidráulica. A tendência para os sistemas isolados é sua interligação com o SIN, como ocorreu com Juara, Juína, Tabaporã, Sapezal e Aripuanã em Mato Grosso em 2006.

O Plano Decenal de Expansão do setor de Energia Elétrica (PDEE) para o período de 2006 a 2015, prevê um crescimento de 8,7 % no consumo de energia elétrica dos sistemas isolados, pela trajetória de referência entre os anos 2005 e 2010, contra 5,1 % para todo o país.

Pode ser efetuada uma comparação com o mercado de energia elétrica no Brasil para definir o perfil de consumo das regiões onde se deve optar pelo atendimento através de sistemas isolados, dentro do programa Luz para Todos do governo federal.

A Tabela 4 apresenta a evolução do consumo de eletricidade por classe de consumo, a participação de cada subsistema no total nacional e a participação de cada classe por subsistema. Verifica-se um crescimento de 4,6% no consumo de energia elétrica no Brasil entre os anos de 2004 e 2005, mantendo o mesmo patamar de 2003 e 2004, com 4,7% e 4,5% respectivamente.

Tabela 4: Brasil e Subsistemas Elétricos - Mercado de Fornecimento (GWh)

Subsistemas/ Classes de Consumo	Consumo (GWh)		Crescimento (%)
	2005	2004	
Brasil	335.411	320.772	4,6
Residencial	82.693	78.470	5,4
Industrial	149.542	146.065	2,4
Comercial	53.239	49.686	7,2
Outros	49.936	46.551	7,3
Sistemas Isolados	7.107	6.696	6,1
Residencial	2.375	2.290	3,7
Industrial	1.804	1.688	6,9
Comercial	1.397	1.301	7,4
Outros	1.531	1.418	7,9
Norte Interligado	22.995	22.408	2,6
Residencial	3.154	2.946	7,0
Industrial	16.349	16.076	1,7
Comercial	1.735	1.618	7,2
Outros	1.757	1.767	-0,5
Nordeste Intrligado	47.318	44.758	5,7
Residencial	12.290	11.441	7,4
Industrial	19.055	18.662	2,1
Comercial	7.033	6.444	9,1
Outros	8.940	8.211	8,9
Sudeste/CO Interligado	200.569	191.589	4,7
Residencial	51.191	48.680	5,2
Industrial	87.635	85.199	2,9
Comercial	34.285	32.066	6,9
Outros	27.457	25.643	7,1
Sul	57.423	55.322	3,8
Residencial	13.684	13.112	4,4
Industrial	24.698	24.440	1,1
Comercial	8.790	8.257	6,5
Outros	10.251	9.513	7,8

Fonte: (EPE, 2005).

A classe residencial juntamente com a classe comercial, detentores de 41% de todo o consumo, foram os responsáveis pelo maior crescimento no consumo de eletricidade em 2005, com 5,4% e 7,2% respectivamente. O setor industrial fechou o ano de 2005 com um crescimento de 2,4%, detendo 45% de todo o consumo, sendo o menor índice de consumo, diferente de 2004 quando foi responsável por alavancar o setor. Os setores rural e outros (totalizando o consumo de poderes públicos, iluminação pública, serviços públicos e consumo próprio) foram responsáveis pelo maior índice de crescimento, com 7,3% em 2005, mas os dois setores juntos são

responsáveis apenas por 15% de todo o consumo nacional. Os crescimentos dos setores de consumo de eletricidade podem ser verificados na Figura 2.

Tabela 5: Geração Térmica e Consumo de Óleo por Empresa com Cobertura da CCC-ISOL para 2007. (Diesel e PTE em 10³ litros; PGE e Combustível em toneladas).

Empresa		Tipo de Óleo	Geração (MWh)	Quantidade de Óleo com Cobertura da CCC-ISOL
CEA		Diesel	78.937	22.649
CEAM		Diesel	807.365	233.757
CELPA		Diesel	348.301	99.339
CEMAT		Diesel	157.964	46.392
CER		Diesel	49.240	14.739
CERON		Diesel	237.038	67.415
ELETROACRE		Diesel	182.013	50.675
ELETRONORTE	P.Velho	Diesel	248.591	62.078
	P.Velho	PTE	1.072.958	403.765
	R. Branco	Diesel	8.760	2.865
	Macapá	Diesel	521.031	141.387
MANAUS ENERGIA		PTE	424.230	133.541
		PGE	1.117.557	223.997
		Combustível	530.438	165.884
		Diesel	287.533	80.578
PIE BREITENER UTE Tambaqui		Combustível	516.665	107.466
PIE BREITENER UTE Jaraqui		Combustível	516.665	107.466
PIE RIO AMAZONAS UTE C. Rocha		Combustível	559.720	116.982
PIE MANAUARA UTE Manauara		Combustível	516.665	107.983
PIE GERA UTE Ponta Negra		Combustível	516.665	108.500
CELPE		Diesel	11.198	3.254
CEMAR		Diesel	486	146
COELBA		Diesel	834	250
JARI CELULOSE		Diesel	18.574	5.425
		Combustível	6.721	2.554
TOTAL		Diesel	2.957.865	830.948
		PTE	1.497.188	537.306
		PGE	1.117.557	223.997
		Combustível	3.163.539	716.835
TOTAL DE GERAÇÃO TÉRMICA			8.736.149	-

Fonte: (GTON, 2007)..

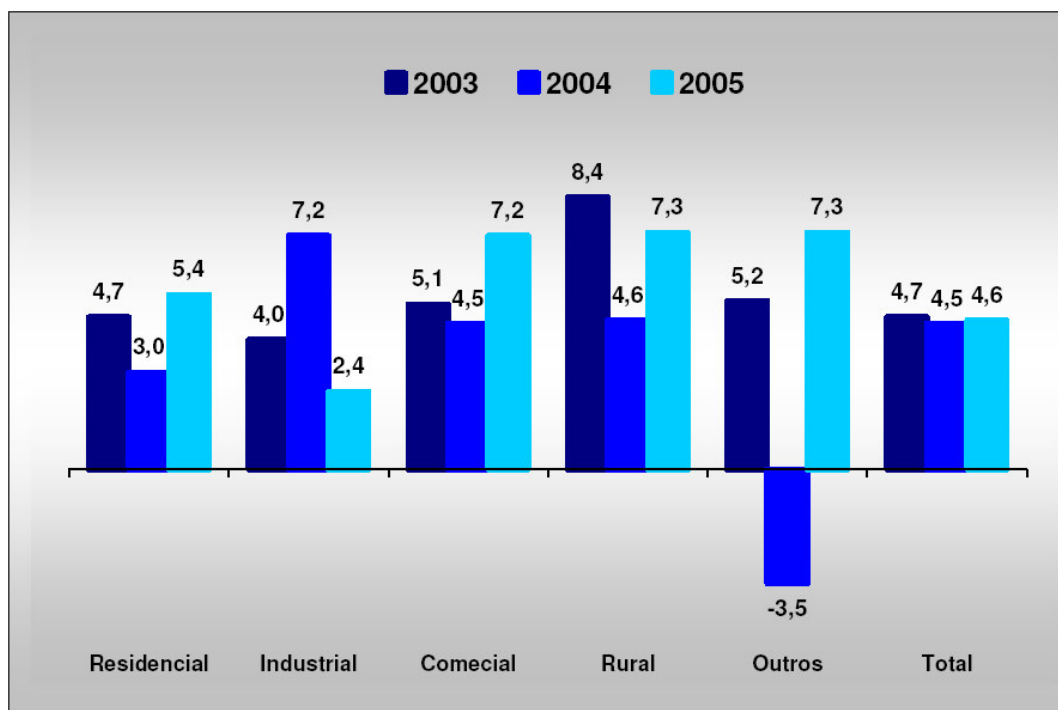


Figura 2: Consumo de energia elétrica por classe. Taxa de crescimento anuais (%).
 Fonte: (EPE, 2005, p. 20.)

No Brasil a classe residencial representa 24,7% de todo o consumo de eletricidade, enquanto que no subsistema isolado a classe residencial representa 33,5%. O consumo industrial representa 25,4% e o comercial 19,7%, no subsistema isolado, contra 44,6% e 15,9% no Brasil. Como constatado anteriormente a maioria dos sistemas isolados estão no Norte, verificando-se uma grande disparidade entre as classes de consumo entre o Norte interligado, com 13,7% para a classe residencial, 71,1% para a industrial e 7,5% para a comercial.

O subsistema isolado obteve o maior crescimento entre os subsistemas, com 6,1%, impulsionado pelo setor industrial. Seguido pelo Nordeste interligado com 5,7%, são os subsistemas que obtiveram crescimento acima da média nacional em 2005.

Os subsistemas isolados e Nordeste interligado, mesmo representando apenas 2,1% e 14,1%, respectivamente, do consumo nacional de eletricidade vêm apresentando um crescimento superior à média nacional em razão da demanda reprimida, e apresentam características importantes do ponto de vista do programa de universalização do atendimento de eletricidade. O subsistema isolado possui o

maior consumo médio da classe residencial em todo o país, combinado a menor irradiação solar da região Norte, sinaliza uma maior dificuldade de utilização dos Sistemas de Geração Individuais com Fontes Intermitentes (SIGFI). O subsistema Nordeste interligado ainda possui uma grande quantidade de domicílios sem acesso aos serviços de energia elétrica, como será verificado mais adiante. O consumo médio residencial pode ser verificado na figura 3.

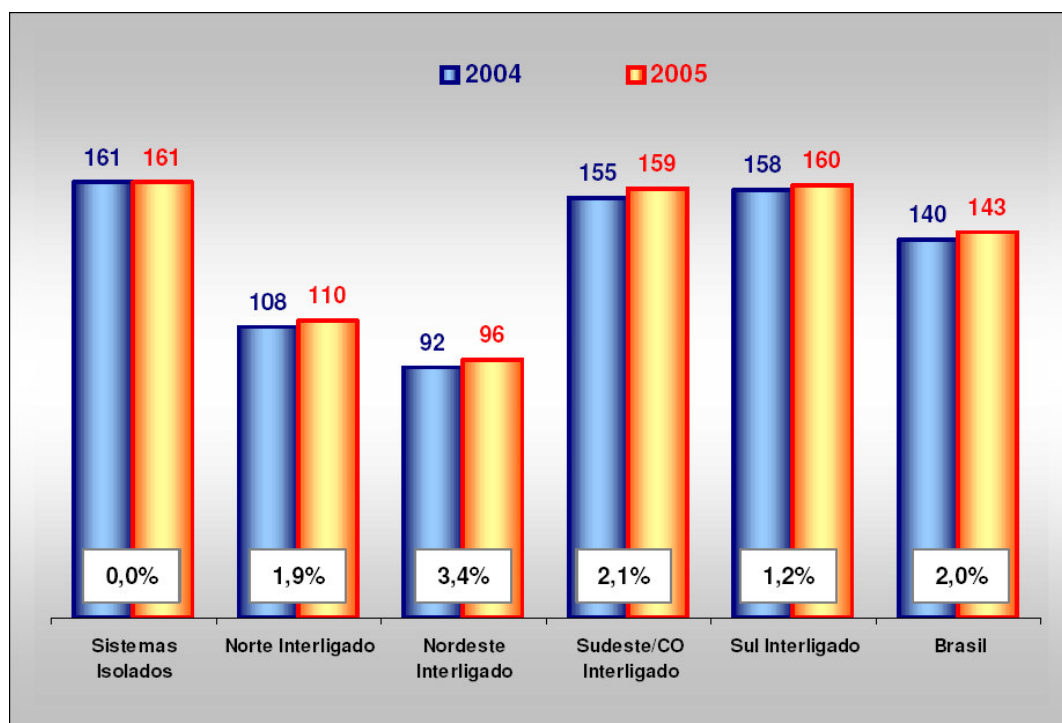


Figura 3: Brasil e Subsistemas Elétricos. Consumo Médio Residencial – kWh/mês.
Fonte: (EPE, 2005, pg. 31.)

De acordo com os dados sobre a universalização, o Brasil possui 45.336.892 de domicílios, sendo que 42.889.560 possuem iluminação, correspondendo a 94,6% de índice geral de atendimento. São 2.447.332 de domicílios, cerca de 11 milhões de habitantes, que ainda não dispõe dos serviços de eletricidade. A maior concentração de domicílio não atendidos se encontra nos subsistemas Norte e Nordeste onde se registram índices gerais de atendimento de 81,55% e 87,70% respectivamente. A Tabela 6 mostra a quantidade de domicílios sem energia, o índice global de atendimento e o prazo para a concessionária responsável atender a meta de universalização.

De acordo com dados do IBGE, no ano de 2005, o Brasil possuía 53.052.621 de domicílios (186.405.000 habitantes), com 84,2% da população domiciliadas em área urbana. Relacionando os dados obtidos do IBGE com os da universalização muitos domicílios ficaram de fora das estatísticas oficiais.

Tabela 6: Dados da universalização – totais por concessionária.

Concessionária	Domicílios	Domicílios com Iluminação	Domicílios sem energia	Índice Global de Atendimento (%)	Ano da Concessionária
101 - CERON	347193	294326	52867	84,77	2013
111 - ELETROACRE	129393	102164	27229	78,96	2015
121 - CEAM	243726	160238	83488	65,75	2015
131 - CER	25686	16558	9128	64,46	2015
132 - BOA VISTA	48715	48176	539	98,89	2008
141 - CELPA	1308511	1034075	274436	79,03	2015
151 - CEA	98521	93745	4776	95,15	2013
161 - CELTINS	280225	218247	61978	77,88	2015
192 - MANAUS	326837	323141	3696	98,87	2008
201 - CEMAR	1235523	985241	250282	79,74	2015
211 - CEPISA	661110	502108	159002	75,95	2015
221 - COELCE	1757249	1568650	188599	89,27	2013
231 - COSERN	671580	633750	37830	94,37	2013
241 - SAELPA	731290	689710	41580	94,31	2013
242 - CELB	111756	110578	1178	98,95	2008
251 - CELPE	1974244	1895800	78444	96,03	2010
261 - CEAL	649346	590324	59022	90,91	2013
271 - ENERGIPE	373293	350031	23262	93,77	2013
272 - SULGIPE	73429	60230	13199	82,02	2013
281 - COELBA	3159262	2609831	549431	82,61	2013
301 - CEMIG	4442138	4269266	172872	96,11	2010
303 - CAT-LEO	262796	255026	7770	97,04	2010
304 - POÇOS DE CALDAS	39670	39630	40	99,9	2006
321 - ESCELSA	813085	803344	9741	98,8	2008
322 - SANTA MARIA	64395	63320	1075	98,33	2008
331 - LIGHT	2943410	2939144	4266	99,86	2006
333 - CERJ	1507419	1492545	14874	99,01	2008
334 - CENF	53536	53071	465	99,13	2008
342 - ELEKTRO	1362762	1345220	17542	98,71	2008
343 - CPFL	2328121	2323047	5074	99,78	2006
345 - BRAGANTINA	74228	72860	1368	98,16	2008
347 - CAIUÁ	143618	142193	1425	99,01	2008
350 - JAGUARI	17630	17630	0	100	2006
351 - MOCOCA	29011	28897	114	99,61	2006
353 - CPEE	37671	37543	128	99,66	2006
354 - SANTA CRUZ	130474	129179	1295	99,01	2008
356 - CSPE	47165	46558	607	98,71	2008
357 - V. PARANAPANEMA	115903	115118	785	99,32	2008
358 - NACIONAL	70665	70465	200	99,72	2006
359 - ELETROPAULO	4285136	4280279	4857	99,89	2006
360 - BANDEIRANTE	1043940	1039867	4073	99,61	2006

Concessionária	Domicílios	Domicílios com Iluminação	Domicílios sem energia	Índice Global de Atendimento (%)	Ano da Concessionária
365 - PIRATININGA	890504	888452	2052	99,77	2006
401 - COPEL	2625624	2569589	56035	97,87	2010
403 - COCEL	25165	24638	527	97,91	2010
404 - CORONEL VIVIDA	6405	6176	229	96,42	2010
405 - CFLO	41898	40485	1413	96,63	2010
421 - CELESC	1434917	1415807	19110	98,67	2008
423 - URUSSANGA	5194	5179	15	99,71	2006
424 - IGUAÇU	19084	18323	761	96,01	2010
425 - JOÃO CESA	3286	3286	0	100	2006
426 - COOPERALIANÇA	35483	35424	59	99,83	2006
441 - CEEE	1059544	1039912	19632	98,15	2008
442 - AES-SUL	933817	913125	20692	97,78	2010
443 - RGE	949472	925542	23930	97,48	2010
444 - ELETROCAR	25024	24864	160	99,36	2008
445 - PANAMBI	11596	11347	249	97,85	2010
446 - NOVA PALMA	89842	88860	982	98,91	2008
447 - DEMEI	23286	22961	325	98,6	2008
448 - MUXFELDT	5989	5937	52	99,13	2008
501 - ENERSUL	531337	507850	23487	95,58	2013
511 - CEMAT	645585	578469	67116	89,6	2013
521 - CELG	1376251	1337061	39190	97,15	2010
522 - CHESP	30462	29439	1023	96,64	2010
531 - CEB	547465	545709	1756	99,68	2006

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da ANEEL (UNIVERSALIZAÇÃO, 2007).

O Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica – Luz Para Todos (LPT), instituído pelo decreto 4.873, de 11 de novembro de 2003, tem como objetivo:

Garantir o acesso ao serviço público de energia elétrica a todos os domicílios e estabelecimentos rurais, melhorar a prestação de serviços à população beneficiada, intensificar o ritmo de atendimento e mitigar o potencial impacto tarifário, por meio da alocação de recursos subvencionados e pelo complemento de recursos financiados.

O LPT prevê que além da forma convencional de atendimento via extensão de rede, sejam considerados os sistemas de geração descentralizada, via sistemas individuais ou redes isoladas, com as seguintes opções tecnológicas:

- Micro e minicentrals hidrelétricas (inclui hidrocínética);
- Pequenas centrais hidrelétricas;
- Pequenas centrais térmicas a diesel ou biomassa;
- Sistemas providos de energia solar ou eólica;

- Sistemas híbridos, resultantes da combinação de duas ou mais das seguintes fontes primárias: solar, eólica, biomassa, hídrica e/ou diesel.

Para fins de aprovação do atendimento através dos sistemas de geração descentralizada com redes isoladas, o custo do projeto, por consumidor, será comparado com o projeto de extensão de rede convencional. Para a utilização dos sistemas individuais os projetos deverão ser comparados com outras possibilidades, devendo atender a regulamentação SIGFI, instituído pela resolução Normativa n° 83, de 20 de setembro de 2004. Ambos os sistemas de geração descentralizada, quando considerados, deverão observar as condicionantes ambientais, as atividades de capacitação dos usuários e sua sustentabilidade. Independente da escolha para o atendimento do LPT, o projeto deve propiciar a redução de custos.

De acordo com o manual de operacionalização do LPT (MME, 2005), existem atualmente cerca de 2.000.000 de domicílios rurais não atendidos, correspondendo a 81% do total nacional da exclusão elétrica, ou seja, aproximadamente 9 milhões de brasileiros vivem no meio rural sem acesso ao serviço público de eletricidade. O restante dos domicílios não eletrificados são considerados localizados em áreas urbanas não sendo contemplados pelos recursos do LPT.

O programa está orçado em R\$ 12,7 bilhões, sendo que os recursos para a implantação do LPT são oriundos da Conta de Desenvolvimento Energético (CDE) e da Reserva Global de Reversão (RGR), dos governos estaduais envolvidos e dos Agentes Executores (concessionárias e permissionárias de distribuição de eletricidade e cooperativas de eletrificação rural). Poderão também ser utilizados recursos de outros órgãos da Administração Pública e de outros agentes.

Pela análise das Figura 4, Figura 5 e Figura 6, onde é mostrado o valor absoluto de domicílios rurais sem acesso a energia, o índice de exclusão elétrica rural e a distribuição dos domicílios rurais não atendidos por região, respectivamente, percebe-se que os estados da Região Norte, acrescidos de Piauí e Maranhão, apresentam os menores índices percentuais de eletrificação rural, enquanto que a Bahia possui o maior número absoluto de excluídos.

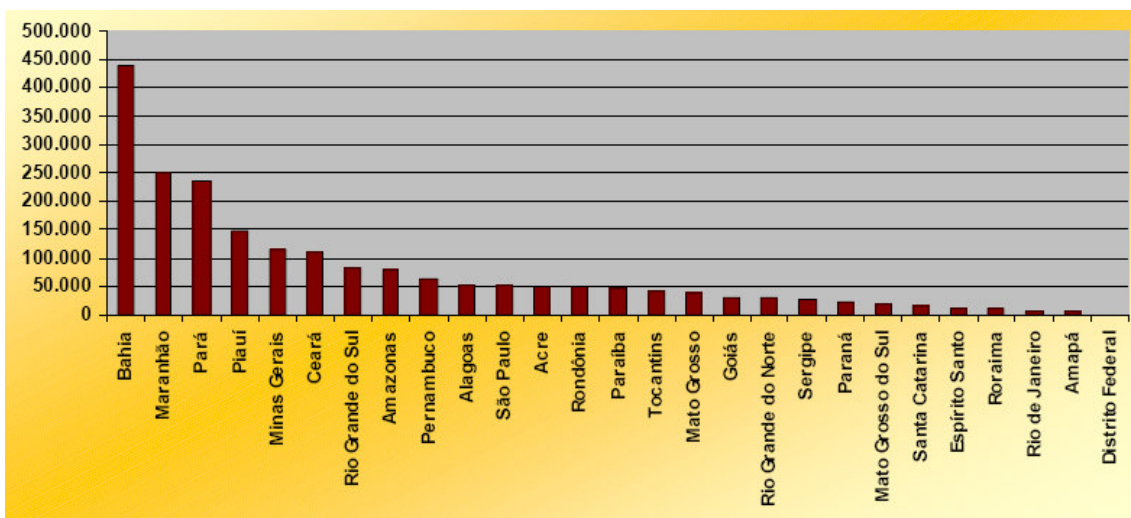


Figura 4: Domicílios rurais sem acesso a energia elétrica. Fonte: (MME, 2005).

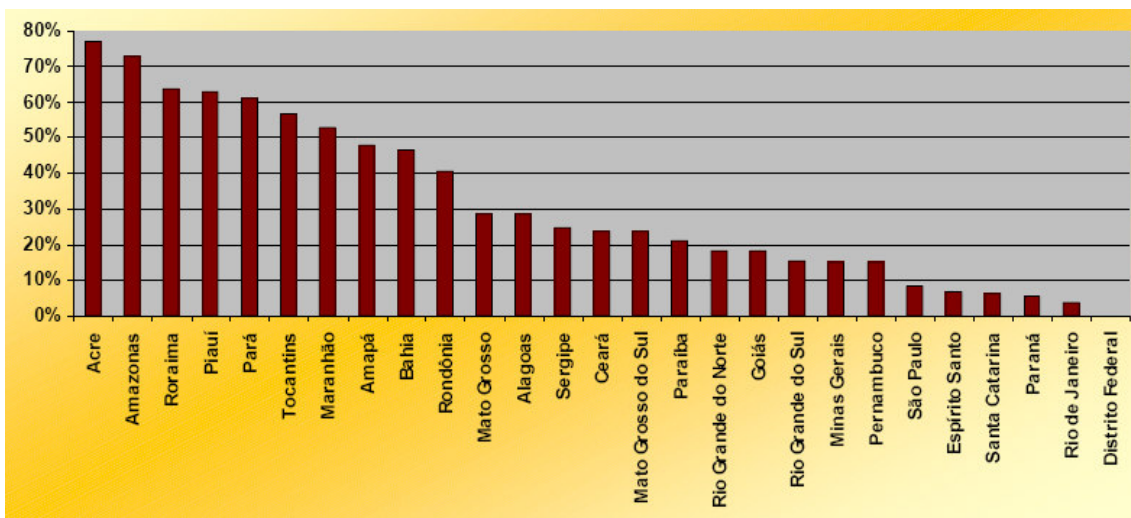


Figura 5: Índice de exclusão elétrica rural. Fonte: (MME, 2005).

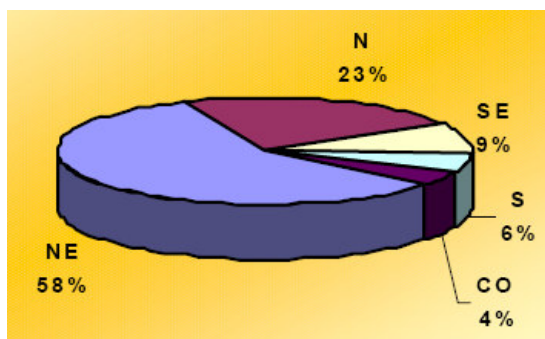


Figura 6: Distribuição dos domicílios rurais não atendidos por região do Brasil. Fonte: (MME, 2005).

Para a programação dos planos de universalização realizados pelas concessionárias foi estipulado o ano máximo para o alcance das metas na área de concessão ou permissão, de acordo com o índice de atendimento da concessionária e do município, conforme mostram as tabelas Tabela 7 e a Tabela 8, respectivamente. O programa prioriza famílias domiciliadas nos municípios de baixo Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), sendo este indicador uma forma de avaliar o acesso da população a uma série de serviços públicos essenciais, refletindo o grau de qualidade de vida de determinada localidade. As metas de cada concessionária podem ser verificadas no site da ANEEL na parte sobre universalização (UNIVERSALIZAÇÃO, 2007).

Tabela 7: Metas Anuais para as concessionárias de acordo com o índice de atendimento.

ÍNDICE DE ATENDIMENTO DA CONCESSIONÁRIA	ANO MÁXIMO PARA ALCANCE DA UNIVERSALIZAÇÃO NA ÁREA DE CONCESSÃO OU PERMISSÃO
Ia >99,50%	2006
98,00% < Ia ≤ 99,50%	2008
96,00% < Ia ≤ 98,00%	2010
80,00% < Ia ≤ 96,00%	2013
Ia ≤ 80,00%	2015

Fonte: Elaborada a partir de (UNIVERSALIZAÇÃO, 2007).

Tabela 9: Metas Anuais para cada município de acordo com o índice de atendimento.

ÍNDICE DE ATENDIMENTO DO MUNICÍPIO	ANO MÁXIMO PARA ALCANCE DA UNIVERSALIZAÇÃO NO MUNICÍPIO
Ia >96,00%	2004
90,00% < Ia ≤ 96,00%	2006
83,00% < Ia ≤ 90,00%	2008
75,00% < Ia ≤ 83,00%	2010
65,00% < Ia ≤ 75,00%	2012
53,00% < Ia ≤ 65,00%	2014
Ia ≤ 53,00%	2015

Fonte: Elaborada a partir de (UNIVERSALIZAÇÃO, 2007).

Devido ao atraso na construção de novos gasodutos, a exemplo do gasoduto Coari-Manaus, por conta dos embargos ambientais, a elevação do preço do gás boliviano, e a política instável dos países exportadores de gás natural, existe a incerteza do abastecimento de novas usinas térmicas que utilizem esse combustível.

Algo parecido acontece com as grandes hidrelétricas, que esbarram nas leis ambientais, a exemplo do complexo hidrelétrico de Belo Monte (BELO, 2006) que previa inicialmente a construção de cinco usinas para o aproveitamento hidrelétrico do rio Xingu (Jarina, Kokraimoro, Ipixuna, Babaquara e Kararaô) totalizando uma potência instalada de 19.466 MW. Na versão mais recente do aproveitamento hidrelétrico do rio Xingu prevê-se a construção da usina de Belo Monte (antiga Kararaô) com potência instalada de 11.181,30 MW. Mesmo as usinas deste tipo são necessárias para mitigar um novo ciclo de racionamento de eletricidade no SIN, devido a crescente demanda por eletricidade dos grandes centros, mas os projetos de aproveitamento não consideram as externalidades negativas de aproveitamentos hidrelétricos desse porte, tais como: queda nas atividades pesqueira e turística, as perdas de água por consumo na bacia e por evaporação no reservatório, a emissão de gases de efeito estufa e as despesas para o tratamento de resíduos e efluentes sanitários. Podem, ainda, ser consideradas outras externalidades negativas associadas ao uso intensivo da energia para as regiões próximas a construção da usina, como o aumento da oferta e consumo de bens e serviços, acarretando a poluição das águas, do ar, do solo, o desmatamento de áreas verdes e o consumo de recursos naturais e matéria prima.

De acordo com o exposto anteriormente todos os estados brasileiros possuem demanda em atender os domicílios que não possuem acesso a energia elétrica. A tendência é atender a essa demanda reprimida através de sistemas isolados, com ou sem mini-redes de distribuição, que utilizem fontes de energia acessíveis localmente e com baixo impacto ambiental. Os sistemas isolados individuais ou coletivos, com geração descentralizada em pequena escala e pequena rede de distribuição local, são as alternativas de menor custo; beneficiando-se ainda mais quando consideradas as externalidades positivas que não são levadas em consideração, tais como: geração de empregos localmente e a necessidade de preservação ambiental.

Devido aos baixos níveis de demanda energética, de determinadas classes de atendimento, e a grande dispersão geográfica das unidades consumidoras, os sistemas isolados que combinam duas ou mais fontes de energia são os mais indicados, principalmente quando comprovada a complementaridade das fontes. As

fontes de energia renováveis alternativas são as maiores beneficiadas considerando a necessidade de se ter o insumo energético disponível localmente, dirimindo na maioria dos casos os problemas logísticos e econômicos de obtenção de combustível.

De acordo com as características acima citadas, os sistemas isolados, que utilizem fontes alternativas de energia (eólica, solar ou biomassa) são melhores para o atendimento das localidades não atendidas, e conseqüente atendimento das metas do programa de universalização.

3.1 PERFIL DO CONSUMIDOR EM COMUNIDADES ISOLADAS

Para traçar um perfil do consumo de eletricidade nos sistemas atendidos por mini-redes de distribuição isoladas, foram analisados dados sobre o consumo de eletricidade disponibilizado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE). O estudo realizado pela EPE relata os diversos subsistemas e classes de atendimento no Brasil, inclusive os subsistemas Isolados e Nordeste, sendo de interesse para o presente trabalho. Os dados de consumo de eletricidade disponibilizados pela Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia (SEI) foram utilizados para caracterizar o perfil de consumo do estado da Bahia.

O próximo passo após a coleta das informações acima citadas foi definir qual a classe que seria considerada para o estudo. Recorrendo-se a resolução 456 de 29 de novembro de 2000, da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que estabelece as condições gerais no fornecimento de energia elétrica e classifica as unidades em oito classes de consumo (BRASIL, 2000 – RES. 456), foram avaliadas inicialmente duas classes de consumo: a residencial e a rural, sendo estas duas classes de interesse para o projeto de eletrificação de uma vila isolada através de fontes intermitentes de energia.

Uma unidade consumidora é considerada residencial quando o uso da energia elétrica é somente para uso residencial. A classe residencial é subdividida em duas categorias: a residencial, que engloba todas as unidades consumidoras

com fins residenciais e que não estejam inclusas na outra subclasse, e a residencial de baixa renda, que engloba as unidades consumidoras caracterizadas como baixa renda através da resolução ANEEL n° 246, de 30 de abril de 2002, e da resolução ANEEL n° 485, de 29 de agosto de 2002, que estabelecem os critérios para a definição de baixa renda em duas faixas de consumo, até 80 kWh/mês e entre 80 e 220 kWh/mês.

Tabela 9: Beneficiários do programa baixa renda, por Região, no Brasil e em %. Dados referentes ao mês de setembro de 2006.

REGIÃO	RESIDENCIAL		RESIDENCIAL BAIXA RENDA		RESIDENCIAL BAIXA RENDA/RESIDENCIAL	CONSUMO INFERIOR a 80kWh (Res. no. 246/02)		CONSUMO DE 80KWh a 220KWh (Res. No. 485/02)	
	Unidades Consumidoras	%	Unidades Consumidoras	%	%	Unidades Consumidoras	%	Unidades Consumidoras	%
Norte	2.580.270	5,3%	1.129.820	6,4%	43,8%	817.943	6,0%	306.344	7,6%
Nordeste	11.307.098	23,4%	7.355.836	41,9%	65,1%	6.011.715	44,4%	1.344.122	33,5%
Sudeste	23.610.427	48,9%	6.245.073	35,6%	26,5%	4.641.589	34,3%	1.603.484	40,0%
Sul	7.284.736	15,1%	1.826.757	10,4%	25,1%	1.317.101	9,7%	509.547	12,7%
Centro-Oeste	3.463.000	7,1%	996.788	5,7%	28,8	747.026	5,5%	249.706	6,2%
Brasil	48.245.531	100%	17.554.274	100%	36,4	13.535.374	100%	4.013.203	100%

Fonte: Elaboração própria a partir de (ANEEL, 2007).

Uma unidade consumidora é considerada rural quando o fornecimento é realizado para uma unidade localizada em área rural, onde se desenvolva atividades rurais. A classe rural ainda é subdividida em seis subclasses: agropecuária, cooperativa de eletrificação rural, indústria rural, coletividade rural, serviço público de irrigação rural e escola agrotécnica. Os dados de consumo da categoria rural são apresentados de modo agregado, sendo impossível a separação entre as subclasses. Para o presente trabalho só interessa apenas as subclasses: agropecuária e coletividade rural. Definiu-se não adotar essa última classe, por conta dos valores médios de consumo de energia elétrica encontrados, superiores ao da classe residencial.

Ao final da análise obteve-se uma estimativa de consumo para o perfil residencial em comunidades isoladas, não eletrificadas no estado da Bahia, utilizando os dados supracitados. Desta forma o dimensionamento da geração de

eletricidade através de fontes intermitentes de energia é permitido adequando-se ao perfil de consumo da região, evitando sistemas super dimensionados ou o contrário.

3.1.1 Classe residencial - mercado de energia elétrica

Segundo o relatório de consumo de eletricidade, apresentado pela EPE a categoria residencial consumiu, em 2005, 82.693 GWh. Este valor representa 24,65% de todo o consumo de eletricidade do país e indica um crescimento de 5,4% sobre o consumo da categoria residencial do ano de 2004. A quantidade de consumidores no perfil residencial cresceu, em 2005, 3,3% em relação a 2004, sendo o número total de 48,315 milhões de consumidores atendidos. Porém o consumo médio do consumidor residencial cresceu apenas 2% no período 2004-2005 passando para o patamar de 142,5 kWh/mês.

O aumento no consumo de eletricidade no setor residencial não significa um aumento no consumo por unidade atendida, pois depois do racionamento de 2001 as famílias reviram seus hábitos de consumo de eletricidade. Este aumento é explicado devido a adição de novos consumidores às redes de distribuição, com os esforços das concessionárias em atender o Programa Luz para Todos. Em 2000 a classe residencial era responsável por 27% de todo o consumo, passando à aproximadamente 25% em 2005, perdendo para o setor industrial (EPE, 2005). Deve-se acrescentar que apenas em 2005 o setor residencial recuperou os níveis de consumo de 2000, pré-racionamento, o que pode ser visto na Figura 7.

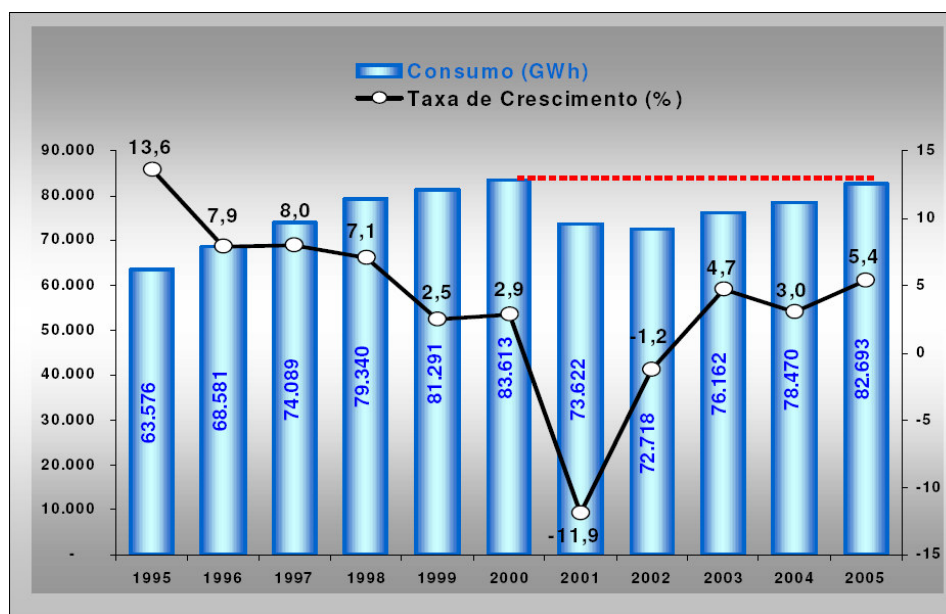


Figura 7: Consumo Residencial: GWh e Taxas Anuais de Crescimento (%).
Fonte: (EPE, 2005), pg. 28.

O subsistema nordeste registrou um índice de crescimento em novas unidades atendidas de 3,9% em relação ao período 2004 – 2005, juntamente com os subsistemas isolado e Norte interligado, com índices de crescimento de 3,8% e 5,1%, respectivamente, acima da média brasileira de 3,3%. A quantidade de consumidores residenciais em cada subsistema e seus índices de crescimento podem ser vistos na Tabela 10.

Tabela 10: Brasil e Subsistemas Elétricos. Consumidores Residenciais

Subsistemas Elétricos	Dezembro 2004	Dezembro 2005	Crescimento	
			Absoluto	%
Sistemas isolados	1.185	1.230	45	3,8
Norte Interligado	2.282	2.397	116	5,1
Nordeste interligado	10.311	10.714	403	3,9
Sudeste/CO Interligado	26.106	26.887	781	3,0
Sul Interligado	6.908	7.123	215	3,1
Brasil	46.791	48.351	1.560	3,3

Fonte: Elaboração própria a partir de (EPE, 2005, p. 30)

Outra característica importante do subsistema Nordeste é o baixíssimo nível de consumo em relação à média nacional. A média mensal no nordeste é de 96 kWh enquanto que a média mensal no Brasil é de 143 kWh, uma diferença de 33%. O subsistema que possui a maior média mensal de consumo é o isolado (áreas

atendidas por agentes que não fazem parte da rede de transmissão de energia do Operador Nacional do Sistema (ONS), na grande maioria situadas na Região Norte do Brasil), mantendo o mesmo patamar de 2004, em 2005, com 161 kWh/mês. Os consumos médios mensais dos diversos subsistemas podem ser analisados na Figura . O consumo médio mensal verificado em 2005 ainda está abaixo dos índices de 2000 e 2001 que eram respectivamente 173 e 146 kWh/mês, sendo o ultimo valor referente ao ano do racionamento. Em relação aos índices do pré-rationamento, no ano de 2000, em todo o país foi verificado uma ampliação em 20,1% no número de novos consumidores em 2005, em detrimento ao consumo médio das famílias que se verificou um decréscimo de 18% em relação ao mesmo período acima citado (EPE – 2005).

Pode-se verificar pela Figura 8 que o consumo médio mensal em 2005, de 143 kWh/mês está muito próximo ao valor dos anos 1989, cujo valor médio de consumo era 144 kWh/mês. Esta equivalência pode ser explicada não somente pela mudança de hábito de consumo das famílias após o período do racionamento, mas também pela preocupação atual em promover a eficiência energética.

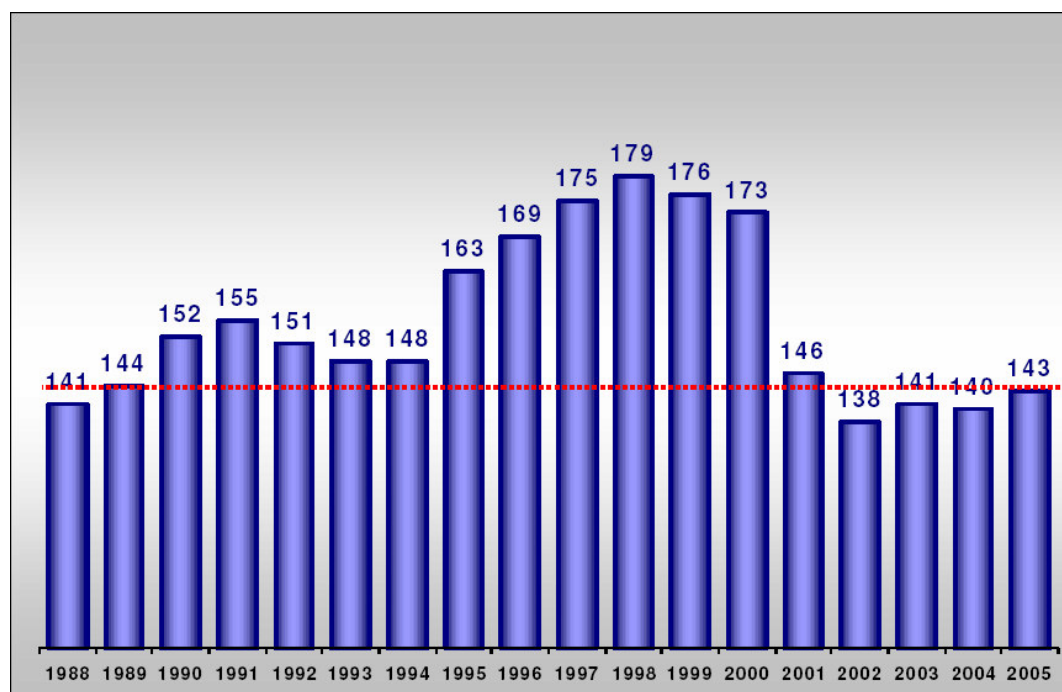


Figura 8: Brasil. Consumo Médio Residencial (kWh/mês). Fonte: (EPE, 2005). pg. 32.

Notoriamente o consumo encontrado no subsistema nordeste é muito inferior à média nacional. Pode-se explicar este valor devido à participação significativa de consumidores de baixa renda na região. Desta forma, para estimativas de consumo da classe residencial na região nordeste, se comparadas com outras localidades em outras regiões, devem ser levadas em consideração o menor índice de consumo mensal de todo o país e a caracterização dos consumidores serem em grande parte de baixa renda.

No próximo tópico será mostrada a análise realizada através dos dados disponibilizados pela SEI, para caracterizar o perfil de consumo no estado da Bahia.

3.1.2 Classe residencial - mercado de energia elétrica na Bahia

A superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia – SEI, disponibiliza periodicamente dados referentes a cinco grandes temas, sendo eles: economia, infra-estrutura, social, geo-ambiental e sistema. No grande tema economia um de seus subtópicos é eletricidade, água e utilidades, onde puderam ser levantados os dados referentes ao consumo de eletricidade do estado da Bahia e o município de Nova Viçosa, ao qual pertence a localidade de Barra Velha. O projeto híbrido será instalado na localidade de Barra Velha. Dentre outras informações sobre o município, tais como: informações geográficas, clima, vegetação, geologia, temperatura e pluviosidade.

Através dos dados estatísticos da SEI pôde-se calcular o consumo médio mensal por unidade consumidora caracterizada na classe residencial no estado da Bahia, sendo de 89,8 kWh/mês. Este valor é inferior aos 96 kWh/mês registrados como média mensal de consumo na Região Nordeste, através dos dados da EPE. Na Bahia são mais de 3 milhões de unidades consumidoras enquadradas na classe residencial, o que equivale a 85,7% do total de clientes atendidos no estado. Essa significativa parcela atendida contribui com apenas 20,5% de toda energia elétrica consumida em todo o estado, sendo este total maior que 3 milhões de MWh. Na Tabela 11 são mostrados os valores totais e por classe de consumidores e consumo de energia elétrica no estado da Bahia.

Tabela 11: Consumo e consumidores de energia elétrica por classe na Bahia

Ano	Estado	Classe	Consumo (MWh)	Consumidores (Und.)
2005	BAHIA	Comercial	2.098.459	254.254
		Industrial	8.2921.47	17.878
		Outros	92.953	378
		Pública	1.698.313	55.251
		Residencial	3.362.841	3.121.984
		Rural	84.2642	193.422
		Total	16.387.355	3.643.167

Fonte: Elaboração própria a partir de (SEI, 2005).

Para mensurar a média de consumo da região na qual o projeto será instalado foram utilizados os dados da SEI referentes ao ano de 2004, sendo os mais recentes que se encontravam disponíveis. Foi feita uma análise análoga a do estado, levantando-se o consumo de energia elétrica e a quantidade de consumidores do município de Nova Viçosa, ao qual a localidade de Barra Velha pertence.

O município de Nova Viçosa fica localizado na mesorregião do Sul baiano, na microrregião de Porto Seguro, fazendo fronteira com os municípios de Mucuri, Teixeira de Freitas, Caravelas e Ibirapuã, como mostrado na Figura 9. Nova Viçosa conta com uma área de 1.326 Km², possui 36.868 habitantes e Produto Interno Bruto (PIB) de R\$ 144.064.000,00, de acordo com dados do (IBGE 2007)¹. O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) do município é de 0,658 de acordo com o (PNUD 2000)².

De acordo com cálculos realizados a partir dos dados da SEI, Nova Viçosa possui um consumo médio mensal de 84,1 kWh/mês para a classe residencial. Este valor se encontra abaixo da média estadual e do Nordeste. Sendo a classe residencial responsável por 88,2% do total de clientes atendidos no município e responsável por 33,5% de toda energia elétrica consumida em todo o município. Na

¹ Dados coletados no IBGE através da ferramenta CIDADES@ disponível on-line através da url: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat> acesso em 08/03/2007

² Dado coletado no Programa da Nações Unidas para o Desenvolvimento – PNUD. disponível on-line através da url: <http://www.pnud.org.br/atlas/tabelas/index.php>. acesso em 08/03/2007

Tabela 12 são mostrados os valores totais e por classe de consumidores e consumo de energia elétrica no município de Nova Viçosa.



Figura 9: Localização do Município de Nova Viçosa de acordo com sua mesorregião e microrregião. Fonte: Wikipédia, 2007.

Tabela 12: Consumo e consumidores de energia elétrica por classe em Nova Viçosa.

Ano	Município	Classe	Consumo (kWh)	Consumidores (Und.)
2004	Nova Viçosa	Comercial	3.389.719	750
		Industrial	10.180.287	50
		Outros	25.380	2
		Pública	2.916.212	92
		Residencial	9.066.523	8.988
		Rural	1.470.130	306
		Total	27.048.251	10.188

Fonte: Elaboração própria a partir de (SEI, 2005).

3.1.3 Características da vila de Barra Velha

A comunidade de Barra Velha é uma vila de pescadores localizada na ilha da Cassumba. A ilha da Cassumba possui 24 quilômetros de extensão por 5 quilômetros de largura entre os municípios de Nova Viçosa e Caravelas. São 250 famílias residentes espalhadas pela extensão da ilha em pequenas vilas, sendo uma delas a Vila de Barra Velha, recebendo esse nome graças ao rio que corta a área dividindo a vila em duas: Barra Velha I e II. O acesso à vila de Barra Velha é feito via pluvial, como na maioria das vilas espalhadas pela região, abundante em rios e mangues. A travessia a partir do Rio Peruípe, por meio de barcos que saem do porto de Nova Viçosa, leva 50 minutos até a primeira parada em Barra Velha I.



Figura 10: Localização da ilha da Cassumba e da comunidade de Barra Velha. Fonte: Adaptado de http://ser.goodbeat.com/ser/brazil/map_c_caravelas_surr.htm. Acesso em 08/03/2007.

Foi realizada uma pesquisa de campo pelo GMUDE, grupo ao qual o autor pertence, para levantar informações a respeito da vila, e foi considerada a parte leste cortada pelo rio Barra Velha no sentido Nova Viçosa para Caravelas (Barra Velha I). Foram levantadas informações socioeconômicas, a respeito dos recursos energéticos utilizados e demanda reprimida de eletricidade. Atualmente a comunidade de Barra Velha tem como principais atividades a pesca e o ecoturismo.

Além disso, constatou-se dentro da área abrangida pela pesquisa, 35 edificações, sendo 25 de moradores regulares e 10 pertencentes a veranistas, além de escola, depósito e bar. Vivem na área aproximadamente 110 moradores tradicionais. O abastecimento de água é feito majoritariamente através de poços cavados próximos às edificações.

Os moradores da comunidade desenvolvem suas atividades relacionadas com a pesca artesanal, na maior parte para subsistência, e o pequeno turismo da região. As praias não possuem qualquer infra-estrutura, servindo a vila de Barra Velha como apoio aos turistas. Algumas famílias oferecem tira-gosto ou refeições e bebidas, como água de coco, para os turistas. O potencial turístico da região, que dispõe tanto de praias de mar aberto como de lagunas de água salobra e manguezais onde a pesca é abundante, além de ótimas condições para o turismo ecológico, fez com que o desenvolvimento do turismo seja uma preocupação constante dos moradores da vila.

No âmbito do Programa Luz para Todos a Companhia de Eletricidade da Bahia (COELBA) já realizou o orçamento para interligar a vila de Barra Velha a rede de distribuição da concessionária. De acordo com o orçamento realizado pela COELBA³ em 28/10/2005 a interligação custará R\$ 9.910.677,15 e atenderá no total 70 consumidores. O valor da ligação por unidade consumidora ultrapassa R\$ 141.000,00, um custo elevado considerando a pequena taxa de retorno, de acordo com o perfil baixa renda das unidades consumidoras. De acordo com o exposto foi realizada uma pesquisa de campo para mensurar as necessidades energéticas e traçar um perfil de carga da população da comunidade de Barra Velha.

A pesquisa de campo para o levantamento da carga foi subdividida em duas partes: determinar as cargas instaladas e determinar as expectativas de consumo (para tanto perguntou-se no questionário quais equipamentos seriam adquiridos no período máximo de 12 meses). Foram entrevistados 35 unidades consumidoras

³ Informações sobre o Programa Luz Para Todos nos municípios abrangidos pela área de concessão da COELBA. Disponível on-line através da url:
http://www.coelba.com.br/aplicacoes/menu_secundario/luz_para_Todos/inf_municipais.asp?c=342

espalhadas pela região. As vilas de Barra Velha I e II não são atendidas pela concessionária de energia elétrica do estado, a COELBA, assim como outras vilas da região. O suprimento energético é feito basicamente através de lenha, extraída localmente, ou gás (GLP) para cocção e banho quente. Óleo diesel, querosene ou gasolina são usados para acionamento de motores ou para iluminação. Existe uma grande utilização de velas para iluminação e de baterias ou pilhas para acionar os pouco eletrodomésticos que são encontrados. Existe um gerador pertencente ao dono de um bar, na região abrangida pela pesquisa, que supre quatro residências, todas pertencentes a familiares, que dividem o valor do óleo diesel para acionamento do gerador.

Tabela 13: Eletrodomésticos e equipamentos produtivos existentes.

Amostra (Quantidade)	Rádio	Televisão	Antena Parabólica	Geladeira a Gás	Lâmpadas	Máquina de Costura	Liquidificador	Ventilador	Aparelho de Som	Motor	Bomba	Outros (Especifique)	Consumo médio mensal (kWh/mês)	Equivalência SIGFI
1	0	1	1	0	4	1	0	0	0	0	1	1 GERADOR P/ TODA FAMILIA	66,43	80
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	13
3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	9	13
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	13
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	13
6	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	-	2,4	13
7	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	-	13,16	30
8	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	-	11,4	13
9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	13
10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	13
11	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	-	9	13
12	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	13
13	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	9	13
14	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	13
15	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	13
16	1	1	1		5	0	0	0	0	1	1	-	71,53	80
17	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	13
18	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	13
19	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	-	11,4	13
20	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	9	13
21	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	-	0	13
22	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	9	13
23	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	13
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	13
25	0	1	0	0	2	0	0	0	0	1	0	-	27	30
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	13

Amostra (Quantidade)	Rádio	Televisão	Antena Parabólica	Geladeira a Gás	Lâmpadas	Máquina de Costura	Liquidificador	Ventilador	Aparelho de Som	Motor	Bomba	Outros (Especifique)	Consumo médio mensal (kWh/mês)	Equivalência SIGFI
27	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	9	13
28	1	1	0	0	2	0	0	0	0	1	0	-	27	30
29	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	-	0	13
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	13
31	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	13
32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	13
33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	13
34	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	9	13
35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	13
Totais	20	10	3	1	17	1	0	0	4	5	2	Consumo mensal médio	8,380571	18,28571

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados coletados em Barra Velha I. Novembro de 2006.

A carga instalada pode ser verificada na Tabela 13, onde são listados os eletrodomésticos e equipamentos produtivos existentes na vila. Foi realizada uma estimativa de consumo para esses equipamentos utilizando os valores fornecidos pelo Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL, 2006). Para o cálculo foram feitas algumas considerações: foram consideradas TVs de 14 polegadas coloridas, os rádios são alimentados por pilhas, geladeira a gás não são consideradas para o cálculo do consumo de eletricidade, as lâmpadas são incandescentes de 60 W, os motores são acionados por combustíveis fósseis e a bomba possui uma potência de 1 CV. Através destas considerações calculou-se um consumo médio mensal de 8,4 kWh/mês. Utilizou-se a regulamentação SIGFI para fazer-se uma equivalência em energia e calcular a quantidade de sistemas deste tipo que seria necessária. Para a equivalência SIGFI o consumo mensal médio da amostra passou para 18,3 kWh/mês. A quantidade de sistemas SIGFI e seus respectivos valores estão disponíveis na Tabela 14.

Tabela 14: Equivalência SIGFI para a carga instalada em Barra Velha

Sistema SIGFI	Quantidade (Unidades)
SIGFI 13	30
SIGFI 30	3
SIGFI 45	0
SIGFI 60	0
SIGFI 80	2

Fonte: Elaboração própria através dos dados da pesquisa de campo em 11/2006.

A pesquisa de campo revelou a expectativa de consumo da região em relação aos equipamentos produtivos que poderiam ser adquiridos num prazo entre 3 a 12 meses. A listagem destes equipamentos pode ser encontrada na Tabela 16. Novamente foi realizada uma estimativa de consumo para esses equipamentos utilizando os valores fornecidos pelo PROCEL (PROCEL, 2006). Para o cálculo foram adicionadas novas considerações as já realizadas, tais como: Somou-se o consumo médio mensal da carga anteriormente instalada, as lâmpadas são fluorescentes de 11 W (substituindo-se as lâmpadas incandescentes existentes por fluorescentes), a geladeira a gás da casa 7 foi substituída por uma geladeira elétrica, e os rádios são elétricos de 10 W. Através destas considerações calculou-se um consumo médio mensal de 29 kWh/mês. Utilizou-se a regulamentação SIGFI para fazer-se uma equivalência em energia e calcular a quantidade de sistemas deste tipo que seria necessária. Para a equivalência SIGFI o consumo mensal médio da amostra passou para 39,2 kWh/mês. A quantidade de sistemas SIGFI e seus respectivos valores estão disponíveis na Tabela 15. Para facilitar a visualização, a quantidade de sistemas SIGFI pode ser vislumbrada na Tabela 15.

Tabela 15: Equivalência SIGFI para a carga futura em Barra Velha

Sistema SIGFI	Quantidade (Unidades)
SIGFI 13	6
SIGFI 30	16
SIGFI 45	3
SIGFI 60	6
SIGFI 80	4

Fonte: Elaboração própria através dos dados da pesquisa de campo em 11/2006.

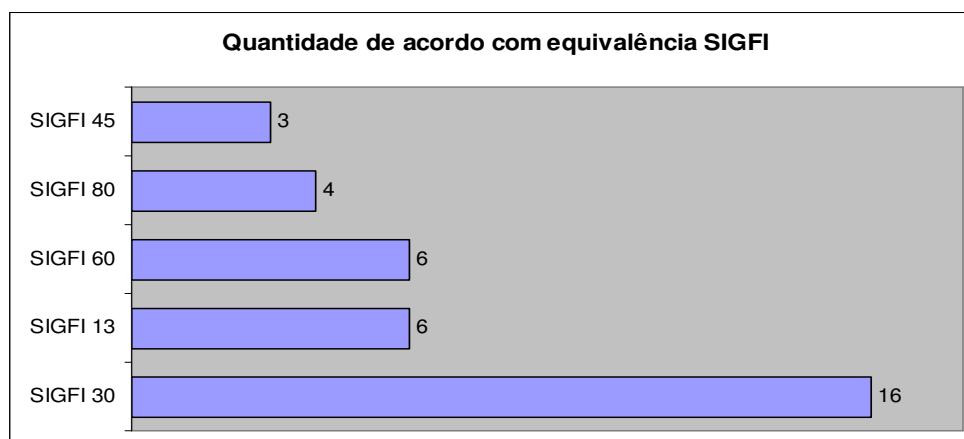


Figura 11: Ilustração da quantidade de sistemas SIGFI necessários para atender a localidade de Barra Velha I. Fonte: Elaboração própria através dos dados da pesquisa de campo em 11/2006.

Percebe-se que há uma grande demanda de SIGFI 30. Para determinar o equivalente SIGFI na Tabela 16 foi elaborada uma regra para aproximar o valor do consumo médio mensal ao equivalente SIGFI acima do valor encontrado, o que agrega uma flexibilidade para o atendimento de cargas adicionadas futuramente. Se for feita uma análise verificar-se-á que muitos sistemas foram aproximados para o equivalente SIGFI acima por uma diferença mínima em relação ao valor inferior, como pode ser visto nas casas 2, 13, 17, 21, 27, 31 e 32. Se for considerada uma relação de proximidade com o valor do equivalente SIGFI, muitos consumidores se encaixarão no padrão mais abaixo, principalmente no padrão SIGFI 13.

Tabela 16: Eletrodomésticos e equipamentos produtivos que poderão ser adquiridos (Prazo de 3 a 12 meses) – Demanda reprimida

Amostra (Quantidade)	Rádio	Televisão	Antena Parabólica	Geladeira	Ferro Elétrico	Lâmpadas	Maquina de Costura	Liquidificador	Ventilador	Batedeira	Aparelho de Som	Motor	Bomba	Outros (Especifique)	Consumo médio mensal (kWh/mês)	Equivalência SIGFI
1	0	0	0	1	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	73,63	80
2	1	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	15,3	30
3	0	1	0	0	0	2	0	0	1	0	1	0	0	0	39,3	45
4	1	1	0	0	0	2	0	0	1	0	0	1	0	0	30,9	45
5	0	1	1	1		3	0	1	0	0	1	0	0	0	49,21	60
6	0	1	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	18	30
7	0	1	0	0	0	5	0	1	0	0	0	0	0	0	54,16	60
8	0	1	0	0	0	4	0	1	0	0	0	0	0	0	20,75	30
9	0	1	0	0	1	4	0	1	1	0	1	0	0	0	46,7	60
10	0	0	0	0	0	4	0	1	0	0	0	0	0	0	7,7	13
11	0	1	0	1	0	3	0	0	0	0	1	0	0	0	48	60
12	1	1	0	0	0	3	0	0	0	0	1	0	0	0	19,35	30
13	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	13,95	30
14	1	1	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	18,6	30
15	0	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	12,3	13
16	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	64,78	80
17	0	1	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	13,95	30
18	0	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	12,3	13
19	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	64,63	80
20	1	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	16,95	30
21	0	1	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	13,95	30
22	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	39	45
23	0	1	0	1	0	3	0	1	0	0	0	0	0	0	45,05	60
24	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	3,3	13
25	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	27,9	30
26	1	1	0	0	0	3	0	0	0	0	1	0	0	0	19,35	30
27	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	1	0	0	0	14,7	30

Amostra (Quantidade)	Rádio	Televisão	Antena Parabólica	Geladeira	Ferro Elétrico	Lâmpadas	Maquina de Costura	Liquidificador	Ventilador	Batedeira	Aparelho de Som	Motor	Bomba	Outros (Especifique)	Consumo médio mensal (kWh/mês)	Equivalência SIGFI
28	0	0	0	1	0	3	1	1	1	0	1	0	0	0	70,25	80
29	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	12,9	13
30	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	13
31	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	13,65	30
32	0	1	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	13,95	30
33	1	1	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	16,95	30
34	1	1	0	0	0	3	0	0	0	0	1	0	0	0	28,35	30
35	1	1	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	45,3	60
Totais	10	25	2	9	1	86	2	7	5	0	10	1	1	Consumo mensal médio	28,97	39,23

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados coletados em Barra Velha I. Novembro de 2006.

Os valores de consumo médio mensal calculados para a vila de Barra Velha I, através dos dados da pesquisa de campo realizada em novembro de 2006 permitem a comparação com os valores médios tanto do estado da Bahia, do município de Nova Viçosa, como do nordeste, anteriormente analisados, sendo de 89 kWh/mês, 84,1 kWh/mês e 96 kWh/mês respectivamente. Mesmo os 29 kWh/mês encontrados para a expectativa de carga estão aquém das médias estaduais e regionais. Este resultado era esperado devido à presença de clientes categorizados como de baixa renda na vila de Barra Velha, refletindo no dimensionamento de todo o sistema energético com fontes intermitentes (geração, armazenamento e distribuição).

Para determinar quando a energia deve estar disponível ao longo de um dia médio, o consumo diário do perfil consumidor em questão, residencial baixa renda, é essencial. Esses dados não estão disponíveis, sendo necessário a utilização de outro padrão para determinar a demanda de energia diária média. É de conhecimento popular que o consumo diário de eletricidade não é constante, sofrendo alguns picos em horários determinados. É importante identificar esses picos e mensurá-los, pois o projeto deve ser capaz de atender a máxima demanda que surja durante o período, não apenas o consumo total diário. Identificar e quantificar os horários de pico é importante não somente para fins de atendimento pelo projeto, mas para identificar quais horários a energia é requerida com maior intensidade e discutir a quantidade de horas e horários para o atendimento.

Para estimar a curva de carga da vila de Barra Velha, para uma possível disponibilidade de energia elétrica, primeiramente englobou-se as principais aspirações de consumo. A lista dos equipamentos e outras informações estão resumidas na Tabela 17. Observa-se pela Tabela 17 que as aspirações mais significativas, seja pela quantidade ou pela própria característica de utilização desses equipamentos, correspondem a: lâmpadas, televisões e geladeiras. Com base nesses equipamentos alguns cenários para obtenção da curva de carga foram criados e são apresentados a seguir.

Tabela 17: Expectativa de consumo da vila de Barra Velha

Equipamento	Quantidade	Potência por equipamento (W)	Potência total por equipamento (kW)
Rádio	10	10	0,1
Televisão	25	60	1,5
Antena Parabólica	2	10	0,02
Geladeira	10	100	1
Ferro Elétrico	1	1000	1
Lâmpadas	86	11	0,946
Maquina de Costura	2	100	0,2
Liquidificador	7	300	2,1
Ventilador	5	65	0,325
Batedeira	0	120	0
Aparelho de Som	10	20	0,2
Bomba	1	1051	1,051
Total			8,442

Fonte: Elaboração própria através dos dados da pesquisa de campo em 11/2006.

Utilizando a curva de fator de carga versus hora no dia encontrada em (PEREIRA, 1992), obtidos através da própria concessionária de energia do Estado, a COELBA, que caracteriza o consumo de energia em vilas cuja potência instalada máxima seja de 30 kVA. A curva em questão pode ser verificada na Figura 12. Para a comunidade de Barra Velha I pode-se verificar que através do cruzamento da carga instalada e futura com a potência média dos equipamentos, de acordo com o PROCEL, a potência instalada máxima fica abaixo dos 30 kVA exigidos, vide 17.

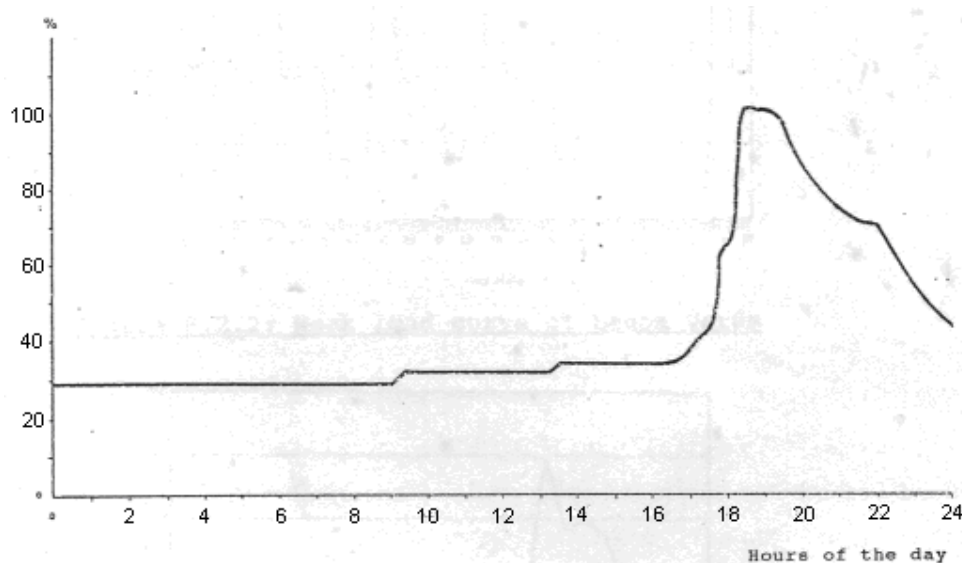


Figura 12: Curva de carga característica de um vilarejo (PEREIRA, 1992).

Da Figura 12 pode-se analisar que o consumo de eletricidade não sofre grandes alterações até as dezessete horas, com uma média de 29% de utilização da energia. Após as dezessete horas o consumo experimenta um crescimento até culminar num pico de utilização às dezenove horas, decrescendo na seqüência até a zero hora.

Considerando o consumo médio de eletricidade da amostra em Barra Velha e utilizando a curva de carga em (PEREIRA, 1992), pode-se mensurar o consumo de eletricidade distribuído ao longo de um dia médio. Para efetuar-se o cálculo do montante de energia consumida a cada momento de um dia médio, pegou-se o valor médio de consumo de eletricidade por unidade consumidora utilizando-se a equivalência SIGFI, pois este valor permite um folga para a inserção de novos equipamentos e serve como média de pior caso de atendimento. Com o valor médio de 39,2 kWh mensais e dividindo-se pela quantidade média de dias em um mês, obtêm-se a consumo médio diário de eletricidade. O valor encontrado é de 1.307 Wh por dia para cada consumidor. Aplicando-se o fator de carga pontual encontrado na curva da Figura 12 determinou-se o demanda requerida em função da hora do dia pelos consumidores, como mostra a Tabela 18.

Tabela 18: Demanda instantânea ao decorrer do dia para a média de consumo diário

Fator de carga	Hora	Demanda (W)
0,29	1	36
0,29	2	36
0,29	3	36
0,29	4	36
0,29	5	36
0,29	6	36
0,29	7	36
0,29	8	36
0,29	9	36
0,34	10	43
0,34	11	43
0,34	12	43
0,34	13	43
0,36	14	45
0,36	15	45
0,36	16	45
0,36	17	45
0,65	18	82
1,00	19	126
0,88	20	110
0,75	21	94
0,7	22	88
0,57	23	72
0,45	24	56

Fonte: Elaboração própria.

Como o consumo de energia não é distribuído igualmente ao longo do dia o sistema deve ser projetado para atender a máxima demanda instantânea diária, de acordo com a Tabela 18 esse valor é de 126 W. Para o atendimento através da mini – rede deve-se considerar essa máxima potência vezes a quantidade de consumidores atendidos.

Partindo do pressuposto que o sistema deve atender o pior caso, ou seja, o maior perfil de consumo da localidade, escolheu-se a unidade consumidora com maior demanda de energia e efetuaram-se os cálculos novamente. Para a casa número um da Tabela 16, o consumo mensal médio é de 73,6 kWh refletindo em um consumo médio diário de 2453 Wh por consumidor. Aplicando-se o fator de carga pontual encontrado na curva da Figura 12 determinou-se a demanda requerida em função da hora do dia pelos consumidores para o pior caso, como mostra a Tabela 19. Para o pior caso, de acordo com a Tabela 19, a máxima demanda instantânea diária é de 236 W.

Tabela 19: Demanda instantânea ao decorrer do dia para o maior consumo diário

Fator de carga	Hora	Demanda (W)
0,29	1	68
0,29	2	68
0,29	3	68
0,29	4	68
0,29	5	68
0,29	6	68
0,29	7	68
0,29	8	68
0,29	9	68
0,34	10	80
0,34	11	80
0,34	12	80
0,34	13	80
0,36	14	85
0,36	15	85
0,36	16	85
0,36	17	85
0,65	18	153
1,00	19	236
0,88	20	207
0,75	21	177
0,7	22	165
0,57	23	134
0,45	24	106

Fonte: elaboração própria.

Quando considerados os motores de indução, utilizados em bombas, refrigeradores e compressores, é necessário considerar algumas vezes a potência nominal dos equipamentos para partida dos mesmos. A escolha deste tipo de equipamento influencia bastante na escolha do inversor a ser acoplado ao sistema.

Para que a curva de carga seja a mais próxima possível da apresentada por (PEREIRA, 1992), a administração dos equipamentos deve ser realizada pelos próprios moradores da comunidade. Para tanto é necessário um trabalho de conscientização do uso racional da energia elétrica disponível, determinando como os equipamentos podem ser administrados. Nota-se que a parte crítica da curva de carga estimada refere-se ao período de pico, na qual de acordo com as características de alguns equipamentos a serem utilizados, a potência requerida pelo sistema será de algumas vezes a potência média. Sendo este um fator importantíssimo a ser considerado.

Através do mapa da região pode-se vislumbrar a dispersão das casas. Adicionalmente o rio Barra Velha aumenta a distância entre os diversos consumidores. Este é um fator limitante para eletrificar toda a comunidade de Barra Velha, por conta das perdas na distribuição da eletricidade. Para eletrificar toda a região, utilizando-se das configurações disponíveis, dever-se-ia conectar as unidades consumidoras a rede de distribuição da COELBA, o que ainda é proibitivo por conta dos elevados custos, atender cada casa individualmente através de sistema de geração individuais, os SIGFI, ou subdividir a comunidade em diversas mini-redes de geração de energia, aproveitando o recurso energético mais propício existente localmente.

Será realizado o projeto de um sistema híbrido eólico – fotovoltaico isolado (SHEFI) para o atendimento de uma carga de refrigeração na comunidade de Barra Velha. A unidade consumidora estará situada à direita do rio Barra Velha, no sentido Nova Viçosa para ilha de Perobas, onde foi realizada a pesquisa de campo e podem ser utilizados os recursos energéticos eólico e solar. O projeto para o atendimento da referida carga pode ser encontrado no capítulo 5.

4 RECURSOS ENERGÉTICOS EÓLICO E SOLAR

A energia recebida pelo planeta Terra, provinda do Sol nas formas de luz e calor, é a principal responsável pela manutenção da vida que acontece na sua superfície. Essa energia deriva da fusão de núcleos de átomos de hidrogênio formando átomos de hélio, liberando grandes quantidades de energia, graças a grande força gravitacional e elevadíssima temperatura encontradas no astro.

Todas as formas conhecidas de energia derivam da energia proveniente do Sol. Os combustíveis fósseis representam a energia que o Sol emitiu há milhões de anos e que foi transformada em energia potencial química, por uma reação de fotossíntese. Hoje, quando esse combustível é utilizado, a energia luminosa transformada em energia química por meio da fotossíntese ocorrida há muito tempo, transforma-se em calor. A energia potencial contida nos reservatórios das hidroelétricas tem sua origem no ciclo das águas, que por sua vez depende da energia solar.

Para o presente trabalho as energias eólica e solar fotovoltaica são objeto de estudo e utilização. No decorrer deste capítulo serão detalhados os recursos eólico e solar descrevendo como é possível aproveitá-los para geração de energia elétrica.

4.1 ENERGIA EÓLICA

Os ventos são causados por diferenças de temperatura que ocorrem continuamente em diferentes pontos do planeta. Nos locais mais aquecidos, o ar se dilata, ficando mais leve e rarefeito, e sobe ocasionando uma queda de pressão atmosférica no local. Nos locais mais frios, o ar se condensa ficando mais pesado, com maior pressão, possuindo uma tendência em escapar para as áreas mais vazias, como é o caso dos locais mais quentes, originando deslocamentos na forma de ventos. A direção e intensidade dos ventos podem sofrer alterações devidas ao movimento da Terra e características de relevo e superfície locais.

Denomina-se energia eólica a energia cinética contida nas massas de ar em movimento (vento). Seu aproveitamento ocorre por meio da conversão da energia cinética de translação em energia cinética de rotação, com o emprego de turbinas eólicas, também denominadas aerogeradores, para a geração de eletricidade, ou cataventos (moinhos), para trabalhos mecânicos como bombeamento d'água.

A energia eólica é utilizada pela humanidade há milhares de anos. A primeira utilização data de cinco mil anos atrás, através de embarcações à vela utilizadas pelos egípcios. Os primeiros moinhos de vento surgiram há dois mil anos antes de cristo, na antiga Babilônia, evoluindo desde então para os atuais aerogeradores. No mundo ocidental a primeira aplicação dos moinhos de vento data do século XII, utilizados para moagem de grãos, sendo nos séculos seguintes modificados para bombeamento de água. Até o advento dos motores a diesel, o sistema de transporte americano dependia dos moinhos de vento para o bombeamento da água que era utilizada nas máquinas a vapor (IEC, 2005).

No final do século XIX foi construído, nos Estados Unidos da América, o primeiro moinho de vento para geração de energia elétrica, atualmente denominado aerogerador. Uma máquina composta com rotor de 17 metros de diâmetro e 144 hélices de madeira acionando um gerador de 12kW. Esta máquina possuía pouca eficiência por conta da pequena velocidade, realizado através das inúmeras pás. A eficiência deste tipo de máquina foi melhorada com o advento das turbinas eólicas com poucas hélices, no começo do século XX, na Dinamarca, aumentando a velocidade acoplada ao gerador elétrico (DWIA, 2006).

Nas décadas de 30 e 40 do século XX, aerogeradores foram utilizados para atendimento de locais distantes da rede de transmissão de eletricidade nos EUA. Porém, na década de 50, com a extensão da rede de energia elétrica para cada casa americana, através do programa de eletrificação rural, os aerogeradores caíram em desuso, eliminando o mercado de energia eólica durante 20 anos (IEC, 2005).

A crise do petróleo nos anos 70 despertou o interesse na energia eólica, em resposta ao preço e a incerteza sobre a disponibilidade dos combustíveis fósseis.

Foram introduzidas melhorias significativas nos sistemas de energia eólica, através de incentivos fiscais e programas de pesquisa. Ademais a energia eólica promove o desenvolvimento da economia, criando emprego e renda, garante a demanda futura de energia, mitigando a dependência do petróleo e contribui para a redução da concentração dos gases de efeito estufa.

Três décadas de desenvolvimento tecnológico resultaram em aerogeradores modernos, controlados por computador e instalados rapidamente de forma modular. Atualmente a indústria de energia eólica desenvolve protótipos de turbinas com potência de 5 MW em detrimento a potência disponível há noventa anos atrás, por volta de 20 a 35 kW. O aglomerado de aerogeradores, formando os chamados parques ou fazendas eólicas, proporciona o maior avanço na indústria da energia eólica, com capacidade de até centenas de megawatts. Estas centrais geradoras são instaladas no continente ou ainda na costa oceânica, fazendo surgir um nicho de mercado, o mercado offshore (GREENPEACE, 2005; DWIA, 2006).

4.1.1 Estado da arte da energia eólica

Durante os últimos doze anos a indústria mundial de energia eólica experimentou um crescimento médio anual acumulado de 30% como mostra a Figura . No ano de 2006 o mercado de energia eólica contava com aproximadamente 74.141 MW de capacidade instalada (GWEC, 2007). No ano de 2007 o mercado de energia eólica experimentou um crescimento de 31% em relação ao ano anterior, representando 20.000 MW de novos empreendimentos eólicos, totalizando 94.123 MW em capacidade instalada (GWEC, 2007). Em relação à nova capacidade instalada os EUA lideraram o mercado em 2007, com 5.244 MW de capacidade instalada, em seguida a Espanha com 3.522 MW, a China com 3.449 MW, a Índia com 1.743 MW e Alemanha com 1.667 MW.

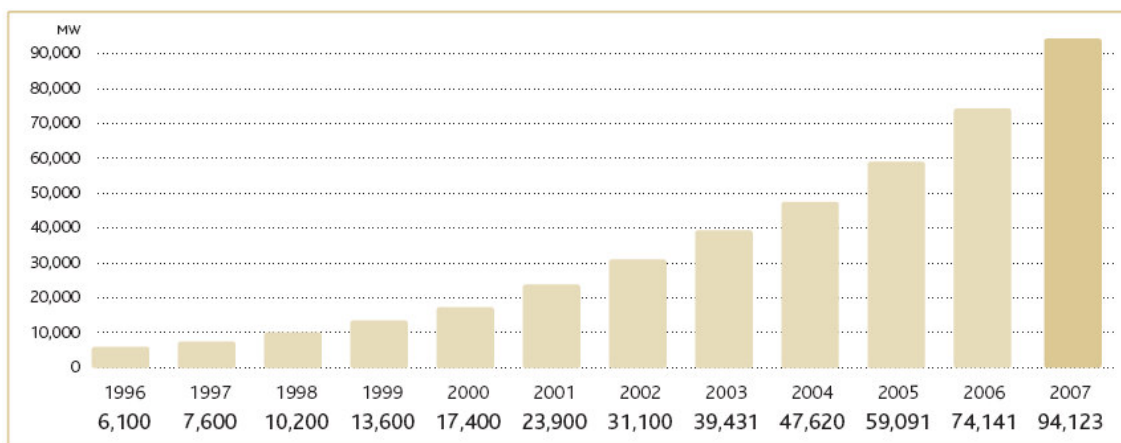


Figura 13: Mercado mundial de energia eólica - crescimento acumulado entre 1996 e 2007 (MW). Fonte (GWEC, 2007).

A Europa lidera o mercado mundial de energia eólica, com 61% da capacidade instalada no mundo, totalizando 57.136 MW. Espanha e Alemanha lideram o mercado Europeu de energia eólica, contribuindo com 15.145 MW e 22.247 MW de capacidade instalada respectivamente (GWEC, 2007). A Dinamarca possui a maior indústria de aerogeradores do mundo, aproximadamente 60% de todas as turbinas instaladas mundialmente são fabricadas no país. Na Dinamarca 19% da eletricidade provém da energia eólica e seu governo estipulou a meta de 50% por volta do ano de 2030 (GREENPEACE, 2005).

Nas Américas os EUA possuem 16.818 MW de capacidade instalada (GWEC, 2007), e até o começo da década de oitenta, do século XX, possuía 95% da capacidade mundial instalada, através de incentivo federal e estatal na ordem de 50%. Nos EUA o preço da energia elétrica gerada, a partir de empreendimentos eólicos, recuou dos US\$ 0,35/kWh, no começo da década de oitenta, para US\$ 0,04/kWh para os atuais empreendimentos (GREENPEACE, 2005). Os EUA possuem o maior parque eólico do mundo, com capacidade instalada de 300 MW localizado entre os estados de Washington e Oregon (HERBERT, et al., 2005). O Canadá presencia também um crescimento acelerado, com capacidade instalada de 1.846 MW ao final de 2007 (GWEC, 2007).

No Brasil, a energia eólica contribui com apenas 247 MW. A capacidade instalada no Brasil em 2002 era de apenas 22 MW, o crescimento da energia eólica no país foi resultado da introdução do Programa de incentivo as fontes alternativas

de energia elétrica (PROINFA). Em sua primeira fase o PROINFA visava a instalação de 3.300 MW de capacidade instalada através de fontes renováveis de energia até o final do ano de 2006. Deste montante, 1.100 MW seriam obtidos através da energia eólica. Na segunda fase do PROINFA, o governo brasileiro determinou a meta de 10% de geração de eletricidade do país através de energias renováveis (eólica, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas – PCH) até o ano de 2022 (BRASIL, 2002 – LEI 10438). Existem atualmente 8.627,55 MW em empreendimentos eólicos autorizados pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, no Brasil. A Tabela 20 resume os montantes autorizados a cada ano entre 1998 e 2004.

Tabela 20: Autorizações de empreendimentos Eólicos no Brasil.

	1998	1999	2001	2002	2003	2004
Nº empreendimentos	2	1	38	46	42	39
Potência (MW)	15	2,5	3.337,65	2.784,40	1.523,45	1.000,55

Fonte: ANEEL, 2006.

Na Oceania, a Austrália possui capacidade instalada de 824 MW. Na Ásia, a Índia lidera o mercado da indústria eólica, com capacidade instalada de 8.000 MW. Japão e China também registraram crescimento na indústria eólica, com capacidade instalada de 1.538 MW e 6.050 MW ao final de 2007, respectivamente. No continente africano, Egito lidera o mercado com 310 MW em energia eólica instalados (Tabela 21). Apenas o parque eólico de Zafarana contribuiu com 255 MW (GWEC, 2007).

Contudo o mercado atual de energia eólica está restrito a apenas três países: Alemanha, Estados Unidos e Espanha, totalizando aproximadamente 58% de toda a capacidade instalada no mundo (GWEC, 2007). Aos poucos este panorama está sendo modificado, dado a grande preocupação com a mudança climática global e diversos problemas ambientais associados à geração de energia, e o surgimento de programas governamentais e sociais. A Tabela 21 demonstra a capacidade instalada no mundo por região.

Até meados dos anos oitenta do século XX, os aerogeradores possuíam potência menor que 100 kW. A partir da década de noventa o desenvolvimento tecnológico proporcionou a fabricação de aerogeradores com capacidade de 1 MW a 2,5 MW. Atualmente capacidades acima de 3,5 MW estão disponíveis no mercado (HERBERT, et al., 2005), e potência na faixa de 5 MW já são possíveis para o mercado *offshore*. Um protótipo de aerogerador com 7 MW foi instalado, em 2007, pela empresa alemã ENERCON, modelo E-126, com torre de 138 metros de altura e 126 metros de diâmetro do rotor. A Figura 14 mostra o desenvolvimento do tamanho e potência dos aerogeradores.

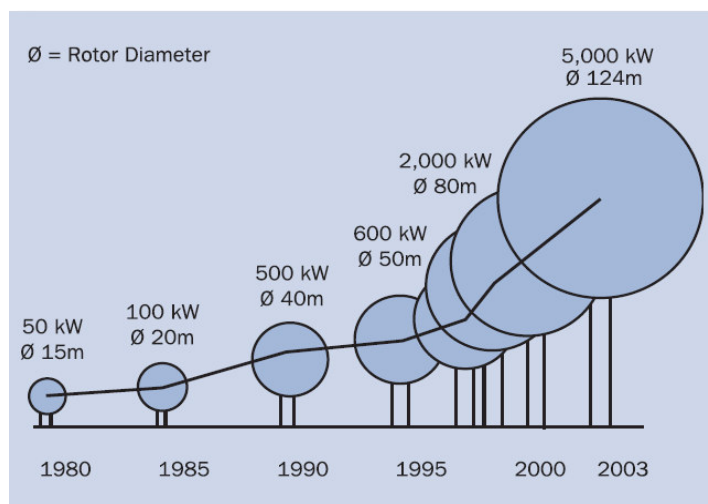


Figura 14: Desenvolvimento do mercado de aerogeradores de acordo com a potência e tamanho. Fonte (EWEA, 2005).

A construção de parques eólicos *offshore* constitui-se no maior desenvolvimento da indústria eólica. Até o final do ano de 2007 foram instalados 25 projetos totalizando aproximadamente 1.100 MW, com parques eólicos espalhados pelo litoral e pela costa marítima de cinco países Europeus: Dinamarca, Reino Unido, Suécia, Países Baixos e Irlanda (EWEA, 2006). Até o final de 2006 os parques eólicos offshore representavam 1,8% do total da capacidade eólica instalada, contribuindo com 3,3% da eletricidade gerada através da energia eólica (EWEA, 2006). O maior parque eólico offshore atualmente está instalado em Nysted na Dinamarca, possui 72 aerogeradores com capacidade máxima de 2,3 MW cada, instalados em torres de 69 metros de altura e hélices com 41 metros de comprimento, totalizando 165,6 MW de potência (NYSTED, 2006).

Tabela 21: Energia Eólica - Capacidade Instalada por região em MW até 2007

		Revised end 2006	New 2007	Total end 2007
AFRICA & MIDDLE EAST	Egypt	230	80	310
	Morocco	54	60	114
	Iran	47	19	66
	Tunisia	20	0	20
	Other ¹	18	0	18
	Total	369	159	528
ASIA	India	6,270	1,730	8,000
	China	2,604	3,449	6,050
	Japan	1,394	139	1,538
	Taiwan	188	100	282
	South Korea	173	18	191
	Philippines	25	0	25
	Other ²	5	0	5
	Total	10,659	5,436	16,091
EUROPE	Germany	20,622	1,667	22,247
	Spain	11,623	3,522	15,145
	Denmark	3,136	3	3,125
	Italy	2,123	603	2,726
	France	1,567	888	2,454
	UK	1,962	427	2,389
	Portugal	1,716	434	2,150
	Netherlands	1,558	210	1,746
	Austria	965	20	982
	Greece	746	125	871
	Ireland	746	59	805
	Sweden	571	217	788
	Norway	325	8	333
	Belgium	194	93	287
	Poland	153	123	276
	Rest of Europe ³	556	263	812
	Total Europe	48,563	8,662	57,136
<i>of which EU-27⁴</i>	<i>48,069</i>	<i>8,554</i>	<i>56,535</i>	
LATIN AMERICA & CARIBBEAN	Brazil	237	10	247
	Mexico	87	0	87
	Costa Rica	74	0	74
	Caribbean (w/o Jamaica)	35	0	35
	Argentina	20	0	20
	Colombia	27	0	27
	Jamaica	20	0	20
	Chile	2	18	20
	Cuba	5	0	5
	Total	507	28	535
NORTH AMERICA	USA	11,575	5,244	16,818
	Canada	1,460	386	1,846
	Total	13,035	5,630	18,664
PACIFIC REGION	Australia	817	7	824
	New Zealand	171	151	322
	Pacific Islands	12	0	12
	Total	1,000	158	1,158
	World total	74,133	20,073	94,112

Fonte: (GWEC, 2007).

Aplicações de parques eólicos *offshore* possuem grandes vantagens quando comparados os mercado eólico tradicional. A principal vantagem é a possibilidade de ventos com maior velocidade e mais constantes, dado a menor rugosidade e quantidade de obstáculos. Porém, parques eólicos offshore custam mais caro, por requererem fundações complexas, manutenção utilizando equipamentos especializados e restritos as condições do tempo, e quilômetros de cabos para transmitir a energia gerada para o continente (GREENPEACE, 2005). Com o acréscimo da potência dos aerogeradores, os parques eólicos serão beneficiados com a economia de escala, resultando na redução do preço de cada unidade produzida.

4.1.2 Tecnologia de aproveitamento – Turbinas Eólicas

Os aerogeradores podem ser classificados, dentre outros critérios, pela orientação de seu eixo, acoplamento entre o rotor e o gerador. Segundo esta classificação existem dois tipos de aerogeradores, os de eixo vertical e os de eixo horizontal, a Figura 15 mostra cada tipo de aerogerador segundo este critério.

Os aerogeradores de eixo vertical têm a grande vantagem de não necessitarem dos mecanismos de rastreamento da direção do vento. Isso torna o projeto de aerogeradores deste tipo menos complexos e reduz os desgastes sofridos pelas turbinas de eixo horizontal, conforme o Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (CRESESB, 2004). Outra vantagem dos rotores de eixo vertical é a possibilidade de acoplamento entre o rotor e o gerador se dar ao nível do solo, permitindo fácil acesso para manutenção, torres menores, consecutivamente com custo reduzido. Os principais rotores de eixo vertical são Savonius e Darrieus, que podem ser movidos por forças aerodinâmicas de sustentação e forças de arrasto. Por este motivo estes rotores não aproveitam as altas velocidades de vento proporcionadas pela elevadas altitudes como os rotores de eixo horizontal (IEC, 2005).

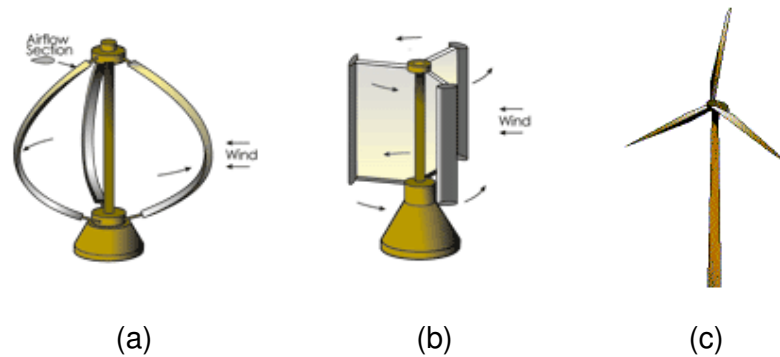


Figura 15: Tipos de rotores de acordo com a orientação de seu eixo. (a) Darrieus – Eixo vertical (b) Savonius - Eixo vertical e (c) Eixo horizontal. Fonte (IEC, 2005).

Os aerogeradores do tipo eixo horizontal são os mais difundidos pela indústria de energia eólica. Um rotor de eixo horizontal obstrui a passagem dos ventos, cuja linha central das hélices orienta-se paralelamente ao fluxo dos ventos. Esses rotores são movidos por forças aerodinâmicas, predominantemente, de sustentação, e por forças de arrasto. O número de hélices a varrer a área pode variar a depender do modelo, o mais comum na indústria é a utilização de três hélices, devido ao fato de que quando uma hélice percorre o caminho chegando a posição da próxima hélice não haja turbulência, provocada pela passagem das próprias hélices. Quanto maior o número de hélices, maior a probabilidade de turbulência ocasionada pelo movimento das próprias hélices. Quanto a posição do rotor em relação a torre, a área varrida pelas hélices pode estar atrás da torre, a jusante do vento (*downwind*), neste caso o “sombreamento” da torre provoca vibrações nas hélices, ou a área varrida pelas hélices pode estar na frente da torre, a montante do vento (*upwind*), neste caso o “sombreamento” das hélices provoca vibrações na estrutura da torre. Os rotores posicionados a montante do vento devem possuir mecanismo que orientem a área varrida pelas hélices do rotor perpendicularmente ao fluxo dos ventos, em contrapartida os rotores a jusante do vento orientam-se automaticamente. Como grande parte da experiência internacional, e o melhor aproveitamento eólico, estão relacionados aos aerogeradores de rotor horizontal, dar-se-á particular atenção a este tipo de aerogerador (CRESESB, 2004; IEC, 2005).

A seguir serão detalhados os componentes mais comuns aos aerogeradores de eixo horizontal de acordo com a Figura 16. A torre é necessária para elevar e posicionar o rotor a uma altura onde as velocidades de vento sejam

satisfatoriamente aproveitadas. As torres podem ser tubulares, treliçadas ou ainda estaiadas dependendo do tamanho do aerogerador.

A carenagem (*Nacelle*) contém os principais componentes do aerogerador, incluindo o multiplicador e o gerador elétrico, que são acoplados ao rotor do aerogerador. Os técnicos de manutenção podem entrar na carenagem através da torre para o caso de aerogeradores de grande porte.

O multiplicador (*gears*) tem a finalidade de transmitir a energia mecânica entregue pelo rotor (*drive train*) que gira a baixa velocidade (variando de 20 a 150 r.p.m.), acoplando-o ao gerador (*generator*) que necessita de alta velocidade (variando de 1200 a 1800 r.p.m.) para um perfeito funcionamento. Atualmente alguns fabricantes desenvolveram aerogeradores sem a utilização dos multiplicadores, utilizando geradores multipolos de baixa velocidade e grandes dimensões (CRESESB, 2004).

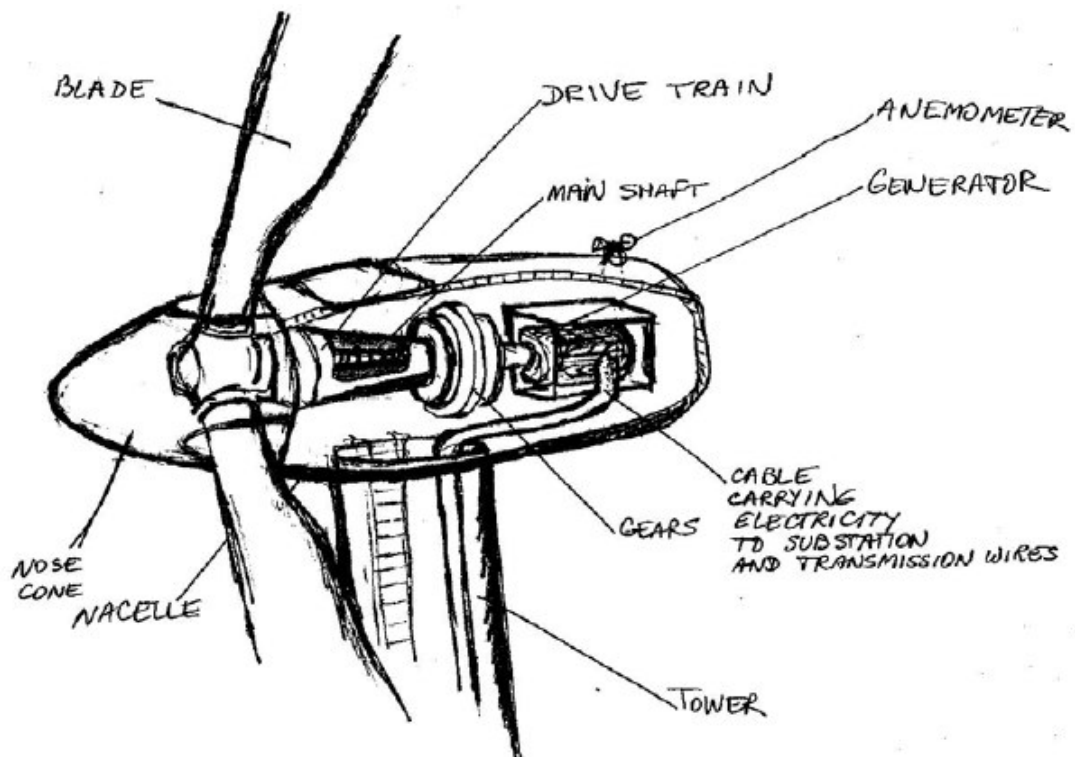


Figura 16: Detalhamento das partes que constitui um aerogerador. Fonte: (AWEA, 2003).

O gerador elétrico (*generator*) é responsável em transformar a energia mecânica de rotação, entregue pelo multiplicador, em energia elétrica. Os geradores podem ser dos tipos assíncronos, síncronos, de corrente contínua e geradores de comutador de corrente alternada. Cada tipo de gerador possui suas vantagens e desvantagens, o emprego de cada tipo dependerá do tamanho, da aplicação, do modelo ou do fabricante do aerogerador.

Os aerogeradores modernos possuem sistemas de controle, que normalmente são compostos de aparelhos de medição de velocidade e direção do vento, anemômetros (*anemometer*) e sistemas computacionais ligados a sensores, válvulas, motores e bombas hidráulicas que monitoram e acionam mecanismos em todo o aerogerador. O sistema de controle do aerogerador se comunica com o operador através de um enlace de comunicação, enviando alarmes ou solicitações de serviços por meio de rádio, telefone e atualmente através da Internet. Também é possível colher estatísticas ou verificar o estado dos aerogeradores. Nos grandes aerogeradores é importante garantir uma alta taxa de disponibilidade, conseguido através dos sistemas de controle.

As hélices (*blades*) do rotor são responsáveis por capturar a energia cinética dos ventos e transmitir sua potência para o rotor. Seu projeto é muito parecido com o da asa de um avião, necessitando de perfis especialmente projetados para maximizar o aproveitamento das forças aerodinâmicas que são geradas ao longo das hélices. Com o aumento do fluxo de ar, as forças de sustentação aerodinâmicas aumentam com a potênciação de grau dois e a energia extraída aumenta com a potênciação de grau três, as hélices devem ter um controle de sua velocidade de forma muito eficiente e rápida de modo a evitar o sobrecarregamento elétrico e mecânico no aerogerador (CRESESB, 2004).

Atualmente existem três princípios de controle aerodinâmico, visando a maximização da extração de potência dos aerogeradores, o controle estol (*stall*), o controle de passo (*pitch*) e o estol ativo (*active stall*).

O controle estol consiste num sistema passivo que reage de acordo com a velocidade do vento. Neste sistema as hélices são fixadas de acordo com um

determinado ângulo de passo. Este ângulo de passo é escolhido para que haja uma diminuição das forças aerodinâmicas de sustentação e acréscimo das forças de arrasto, quando velocidades de vento acima da velocidade nominal sejam atingidas. Isto acontece, pois quando a velocidade limite é atingida, e para velocidades acima deste valor, o escoamento do vento não se dá rente à superfície das hélices, criando turbulência na parte posterior da hélice. Para todas as velocidades de vento acima da velocidade nominal, haverá um decréscimo da potência do rotor. Para evitar que o efeito estol ocorra ao longo de toda a hélice ao mesmo tempo, a mesma possui perfil aerodinâmico diferenciado das hélices que utilizam o controle de passo. As hélices possuem torções ao longo de seu comprimento para que o efeito se desenvolva em cada região da hélice com velocidades diferentes.

O controle de passo constitui-se num sistema ativo necessitando de informações provenientes do sistema de controle, através de anemômetros ou outros sensores instalados no aerogerador. O controle de passo atua quando a potência nominal do aerogerador (velocidade de corte) são ultrapassados, girando as hélices do rotor em torno do seu eixo, reduzindo o ângulo de ataque dos ventos. Essa redução no ângulo de ataque reduz as forças aerodinâmicas sobre o aerogerador, reduzindo a potência extraída. As hélices do rotor são giradas em determinados ângulos, para cada velocidade de vento acima da nominal, para poder extrair sempre a potência nominal.

O controle estol ativo combina os mecanismos do controle de passo e controle estol. Neste tipo de controle há um pequeno giro das hélices (tipicamente até 5º) em torno do seu eixo para determinadas velocidades. As torções ao longo das hélices fazem-se necessárias com este tipo de controle.

Outros três fatores sobre os aerogeradores são importantes: a velocidade de partida, a velocidade nominal e a velocidade de corte. A velocidade de partida representa a velocidade mínima do vento necessária para começar a mover as hélices e iniciar a produção de alguma energia. A velocidade nominal representa a mínima velocidade na qual o aerogerador foi projetado para desenvolver a potência nominal (no caso do GERAR 208, para alcançar 700W de potência é necessária a velocidade de 12,5 m/s para o vento). A velocidade de corte representa a máxima

velocidade na qual o aerogerador cessa ou diminui a produção de energia, ativando os sistemas de controle aerodinâmico ou freios, evitando danos a estrutura do aerogerador ou ao sistema elétrico de distribuição (IEC, 2005).

4.1.3 Impactos ambientais

Mesmo as fontes renováveis de energia possuem impactos ambientais. No caso da energia eólica os impactos ambientais são poucos, sendo restritos a localização dos aerogeradores.

O primeiro impacto a ser considerado é o visual, pois os aerogeradores são sempre visíveis na paisagem. Para diminuir este impacto faz-se a instalação de cada parque eólico de forma a seguir os contornos e outras características da paisagem. Turbinas de mesmo tamanho e tipo, espaçadas uniformemente resultam uma boa estética. A modelagem computacional permite antever o problema associado com o impacto visual.

Os aerogeradores, assim como qualquer estrutura com grande altura, projetam sombra nas áreas vizinhas de acordo com o movimento aparente do sol, associado à época do ano. O sombreamento é acentuado pelas pás cortando a luz do sol, resultando num efeito incômodo de pisca – pisca. É possível calcular precisamente como e quantas horas ao longo do ano, o sombreamento acometerá uma dada região, dirimindo os problemas associados a este fator.

O ruído provocado pelos aerogeradores caracteriza-se pelo corte da massa de ar pelas hélices de cada equipamento, portanto deve-se observar uma distância mínima entre os aerogeradores e os moradores mais próximos. O ruído gerado pelos aerogeradores é acentuado pelo isolamento dos locais de instalação, caracterizando a não existência de um ruído de fundo. Mesmo nestas localidades isoladas este ruído de fundo se apresenta quando a velocidade do vento aumenta, mascarando o ruído original do aerogerador. A Figura 17 compara os níveis de ruído em relação a uma turbina eólica hipotética distante duzentos e cinquenta metros.

O avanço tecnológico permitido a indústria eólica diminuiu consideravelmente o ruído provocado pelo grupo gerador e pelas engrenagens mecânicas. A predominância de rotores a montante do vento, de torres e *naceles* construídas aerodinamicamente ajudam a diminuir o ruído total dos aerogeradores. Atualmente uma fazenda eólica a uma distância de aproximadamente 300 metros não gera mais ruído que um refrigerador ou uma sala moderadamente silenciosa (AWEA, 2004).

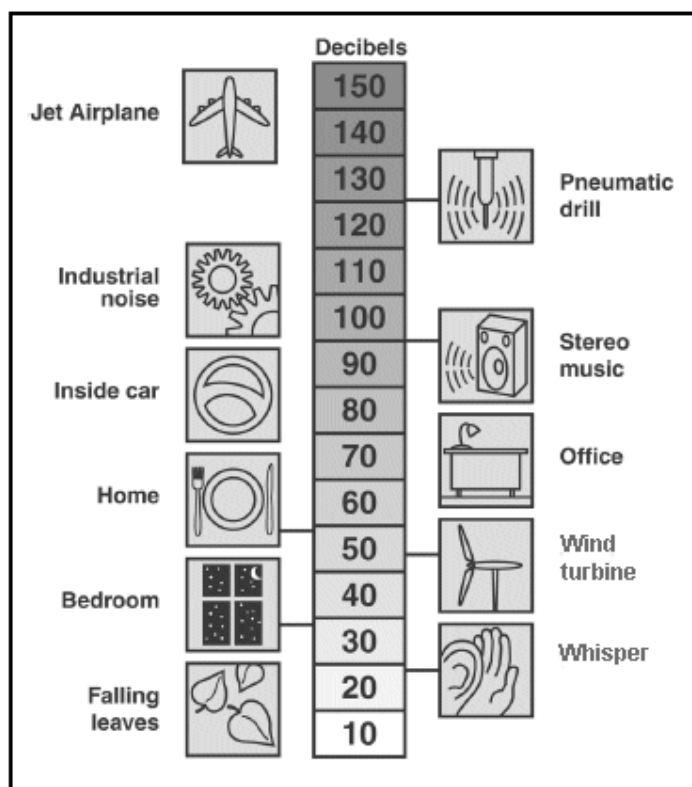


Figura 17: Comparação dos níveis de ruído, em decibéis, em relação a uma turbina eólica hipotética. Fonte: (AWEA, 2007).

A mortandade entre aves representa outro fator a ser analisado na instalação de parques eólicos. Existe o risco das aves colidirem com as turbinas eólicas da mesma forma que as aves colidem com edificações, torres de comunicação e de transmissão de energia. De forma geral os aerogeradores ou parques eólicos não contribuem significativamente para este problema, desde que respeitadas as regiões com rotas migratórias de aves. A origem da mortandade entre aves e os índices associados estão ilustrados na Figura 18.

À medida que as hélices das turbinas eólicas vão adquirindo maiores dimensões, com valores que variam entre 20 a 60 metros de comprimento, resultam na diminuição de sua rotação, tornando as pás visíveis e evitáveis por aves em voo.

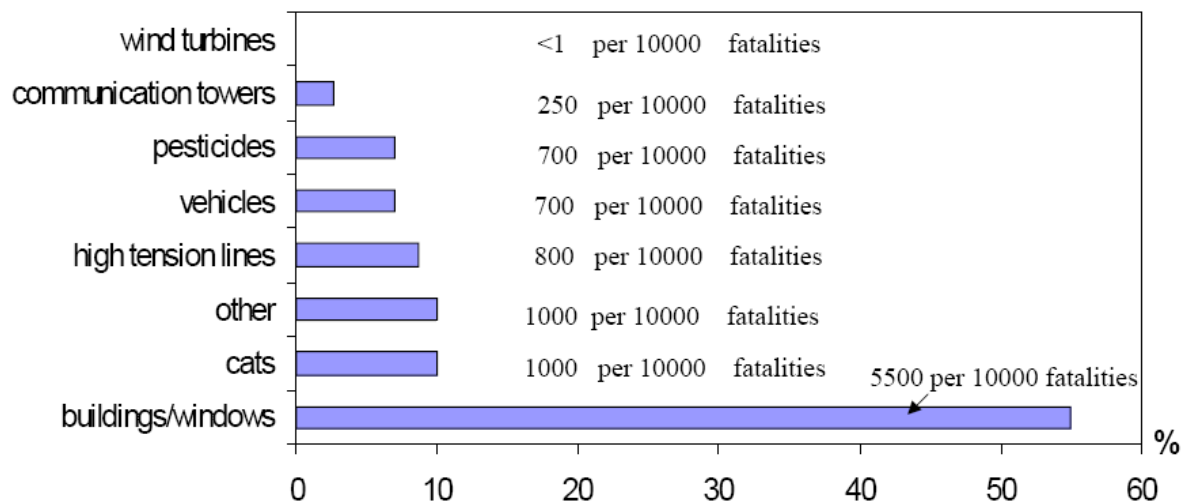


Figura 18: Causa de fatalidades entre aves. Fonte: (ERICKSON, et al., 2001).

Os aerogeradores de grande porte podem interferir com transmissões eletromagnéticas, como sinais de rádio e televisão, quando instalados na “linha de visada” entre um emissor e um receptor de sinal. Esse problema é eliminado aumentando a antena do receptor ou instalando multiplicadores para transmitir o sinal ao redor das turbinas. A utilização de cabos de comunicação ou satélite representam opções para a solução do problema.

4.1.4 O Recurso Eólico

O planeta Terra possui formato aproximado de uma esfera, e por esta razão os raios solares atingem sua superfície com inclinações diferentes. A Terra realiza diversos movimentos, dentre os mais importantes pode-se citar o de translação e rotação. O movimento de translação e a inclinação do eixo terrestre em relação ao plano de sua órbita ao redor do sol, de aproximadamente 23° 30' (ROHATGI; NELSON, 1994), são responsáveis pelas estações do ano, por sua vez, o movimento de rotação está relacionado com a duração do dia.

A existência das estações do ano (primavera, verão, outono e inverno), ocasiona variações sazonais na distribuição da radiação incidente na superfície do planeta, resultando em variações sazonais na intensidade e duração dos ventos nas diferentes regiões do globo terrestre.

As regiões de latitude 0° (Equador) recebem mais energia do Sol em relação às demais regiões do planeta. Sendo o ar no equador mais quente, este sobe e estende-se para as regiões norte e sul, mais frias, originando uma zona de baixas pressões sendo preenchida pelo ar proveniente dos Pólos. Se não houvesse o movimento de rotação da Terra o vento chegaria ao Pólo Sul e ao Pólo Norte, para posteriormente voltar ao Equador, esse fenômeno denomina-se força de Coriolis. O vento que sobe desde o Equador para os Pólos, o qual circula pelas camadas mais altas da atmosfera, por volta dos 30° de latitude, encontra uma zona de altas pressões, fazendo com que o ar retorne ao Equador.

Os ventos são muito influenciados pela superfície terrestre em baixas altitudes (até 100 metros), sendo condicionado pela rugosidade da superfície e pelos obstáculos. A direção destes ventos é ligeiramente diferente em relação aos ventos globais, devido ao movimento de rotação.

A intensidade e direção dos ventos são determinadas através da soma das contribuições dos ventos locais e globais. Em determinadas situações os efeitos locais se sobrepõem aos efeitos globais, como é o caso das brisas marinhas, brisas terrestres e ventos de montanha.

No período diurno a terra aquece mais rapidamente pela influência do sol que o mar. O ar da terra, mais quente e leve, sobe e circula em direção ao mar, criando uma zona de baixa pressão ao nível do solo. O ar mais frio, com maior pressão, do mar se deslocará para preencher o espaço criado na terra. Esse comportamento é denominado brisa marinha. No período noturno os ventos sopram em sentido contrário, por causa do maior valor de poder calorífico da água, que demora mais tempo para esfriar, sendo denominado brisa terrestre. Ao entardecer há um período de calmaria, quando as temperaturas do solo e do mar se igualam.

Com os ventos de montanha, ocorre fenômeno semelhante. O ar próximo ao declive da montanha estando quente, sua densidade diminui tornando-se mais leve, ocorrendo um fluxo de ar que sobe seguindo a superfície do declive. Durante a noite a direção do vento inverte-se, passando a descer o declive.

Desta forma os ventos de escala global e os de escala regional são influenciados por diferentes aspectos, dentre os mais importantes são: latitude, altitude, estação do ano, rugosidade, obstáculos e relevo (CRESESB, 2004).

Para aproveitar o potencial do vento é necessário medir suas grandezas. Os ventos podem ser classificados por sua intensidade e direção. A medição da direção do vento é tão importante quanto sua velocidade, dado que mudanças freqüentes na direção do vento indicam condições de rajada. Existem três tipos de instrumentos para medição das grandezas eólicas: os instrumentos utilizados pelos serviços meteorológicos, instrumentos desenvolvidos para determinar as grandezas eólicas e instrumentos de elevadas taxas de amostragem, que servem para determinar condições de rajada, turbulência e fluxo do vento para medir a resposta dos aerogeradores. Os dados provenientes dos serviços meteorológicos são o mais abrangentes e longos, contudo, na maioria dos casos os dados quase não possuem valor para determinar o potencial eólico, dado a pequena quantidade de estações de medição, que são instaladas em cidades e aeroportos, com taxas de amostragem muito pequenas. Para medição da turbulência, condições de rajada e fluxo do vento são utilizadas múltiplos sensores de direção e velocidade com altas taxas de amostragem. Para medir a velocidade do vento é utilizado o anemômetro, sendo os de concha e os de hélice os tipos mais utilizados. Para medição da direção do vento existem vários tipos de instrumentos.

Quando não há dados de medição do vento disponíveis, outros meios podem ser utilizados para indicar as grandezas eólicas locais. Indicadores muito utilizados são: a deformação de árvores, observação dos movimentos em velas de barcos, bandeiras ou das ondas do mar. No Apêndice 1 é detalhado a utilização destes métodos de predição das grandezas eólicas.

O vento pode ser considerado como um vetor definido por uma grandeza, a velocidade do vento e sua direção. O valor da grandeza "velocidade vetorial do vento" é a velocidade escalar. Considera-se direção do vento a direção de onde ele sopra. Esta é expressa em graus, medidos em sentido ao dos ponteiros do relógio, a partir do norte geográfico, ou em termos de pontos da rosa dos ventos. A velocidade do vento é expressa em metros por segundo (m/s), quilômetros por hora (km/h) e nós (milhas náuticas por hora - nó).

Para medir o potencial eólico de um determinado local considera-se um determinado fluxo de vento perpendicular a seção transversal de um cilindro com área dada pelo diâmetro de um rotor (Figura 19).

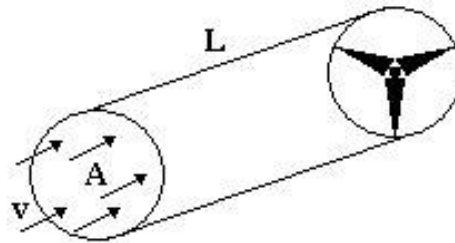


Figura 19: Fluxo do ar através do rotor. Fonte: Elaboração própria a partir de (ROHATGI; NELSON,, 1994).

De acordo com as leis da física, a energia cinética do fluxo de ar é dada por:

$$E = \frac{mv^2}{2} \quad (1)$$

Onde m é a massa do ar contida no cilindro e v a velocidade do vento. Pode-se converter a equação da energia cinética para potência, sendo potência a quantidade de trabalho (energia) realizado por unidade de tempo:

$$P = \frac{dE}{dt} \quad (2)$$

Substituindo a equação 1 em 2, obtém-se:

$$P = \frac{1}{2} \frac{dm v^2}{dt} \quad (3)$$

Dado que a massa de ar contida no cilindro é igual a sua densidade vezes o volume do cilindro (ρAL). Substituindo na equação 3, obtém-se:

$$P = \frac{1}{2} \frac{d\rho A L v^2}{dt} \quad (4)$$

Sendo que o comprimento do cilindro dividido pela unidade de tempo (dL/dt) representa a velocidade v . Substituindo na equação 4, obtém-se:

$$P = \frac{\rho A v^3}{2} \quad (5)$$

$$\frac{P}{A} = \frac{\rho v^3}{2} \quad (6)$$

A equação 5 representa a potência total de uma massa de ar, em Watts no Sistema internacional de unidades – S.I. A equação 6 (P/A) representa o potencial eólico por unidade de área varrida, em W/m^2 no S.I. Pode-se perceber pelas equações que qualquer acréscimo na velocidade do vento, resulta em aumento substancial no potencial eólico, dado que o potencial eólico varia de acordo com a velocidade do vento ao cubo, mas apenas uma parte do potencial eólico pode ser convertido em potência útil dado pelo coeficiente de *Betz* (ROHATGI; NELSON,, 1994).

Considerando que a quantidade de massa na entrada do rotor é igual a da saída. A equação de continuidade pode ser definida como:

$$A_1 V_1 = A_2 V_2 \quad (7)$$

Considerando que as perdas são nulas, a potência que o vento cede ao passar pelas pás do aerogerador, é igual à potência absorvida (P_1) pelo mesmo. Sendo P_1 definido como:

$$P_1 = \rho \left(\frac{V_1 - V_2}{2} \right) AV \quad (8)$$

A massa escoada na unidade de tempo $\mu = \rho AV$. A potência absorvida pelas hélices, correspondente à ação da força exercida pelo vento sobre as mesmas é dada por:

$$P_2 = F_2 V = \rho AV^2 (V_1 - V_2) \quad (9)$$

Sendo a força exercida pelo vento sobre as hélices definida como, $F = \mu(V_1 - V_2)$. Considerando que a potência cedida pelo vento é toda absorvida pelo aerogerador, ou seja, $P_1 = P_2$. Igualando-se as equações 8 e 9, tem-se:

$$\rho \left(\frac{V_1 - V_2}{2} \right) AV = \rho AV^2 (V_1 - V_2) \quad (10)$$

Resolvendo a equação 10, determina-se:

$$V = \frac{V_1 + V_2}{2} \quad (11)$$

A velocidade V_2 é pouco menor que V_1 , de modo que $V_2 = aV_1$. O coeficiente “a” representa a relação entre os valores de velocidade V_1 e V_2 . Substituindo a equação 11 e a relação entre as velocidades na equação 5, obtém-se:

$$P = \frac{1}{2} \rho AV^3 (1 + a)(1 - a^2) \quad (12)$$

A equação possui valor máximo quando o coeficiente “a” é igual a 1/3. Aplicando isto na equação 12:

$$P_{MAX} = \frac{16}{27} \frac{\rho}{2} AV^3 \quad (13)$$

A constante 16/27 (0,5926) é definida como a constante de *Betz* e pode ser representado por C_p .

$$C_p = \frac{2P_{MAX}}{\rho V^3} \quad (14)$$

Teoricamente a potência máxima aproveitável pelo aerogerador corresponde a 59,26% da potência total cedida pelo vento. A potência útil disponibilizada pelo aerogerador está limitada, além do coeficiente de *Betz*, às perdas aerodinâmicas e mecânicas nos aerogeradores, tais como de rotação na ponta e base da hélice e ao efeito do número de hélices. Devem ser acrescidos os valores de eficiência dos equipamentos mecânicos, tais como o multiplicador, o acoplamento ao gerador e o próprio gerador elétrico.

Ao passar pelo rotor do aerogerador, a velocidade do vento diminui dada a transformação da energia cinética do vento em energia de rotação no rotor do aerogerador. O volume de ar que incide no rotor do aerogerador deve ser o mesmo que passa pelas hélices. Quando a massa de ar aproxima-se do rotor, a pressão aumenta gradualmente até encontrar a barreira formada pelas hélices do aerogerador, ocasionando uma diminuição da pressão na parte posterior das hélices, desta forma a velocidade da massa de ar que passa pelo aerogerador decresce. A Figura 20 ilustra o efeito da passagem da massa de ar pelas hélices de um aerogerador.

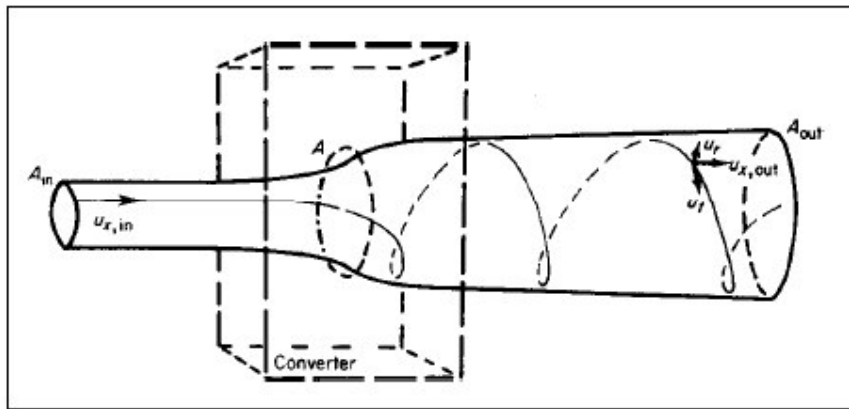


Figura 20: Fluxo de ar através das hélices do aerogerador. Fonte (SORENSEN, 2004).

A massa de ar que sai do aerogerador, com pequena velocidade e grande turbulência, vai se misturar às massas de ar provenientes de diversas direções, experimentando um acréscimo gradual de acordo com a distância do aerogerador. Este fator é importante no projeto de parques eólicos, caracterizando a distância necessária entre os aerogeradores para maximizar o aproveitamento do potencial eólico, conhecido como efeito parque.

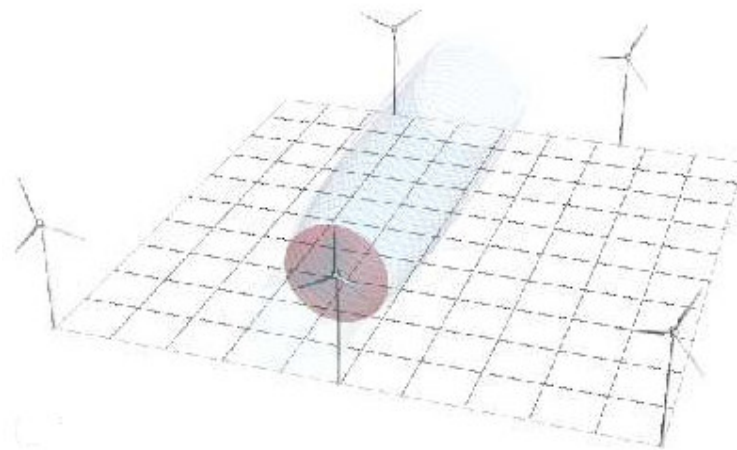


Figura 21: Ilustração do efeito parque. Fonte (COELBA, 2002).

O efeito parque prevê distâncias mínimas para instalação de outros aerogeradores no mesmo local para minimizar as perdas de desempenho causadas pela interferência da turbina anterior. Essas distâncias variam entre as referências consultadas para valores entre sete a dez vezes o diâmetro do rotor para turbinas instaladas a jusante e cinco a sete vezes o diâmetro do rotor para turbinas instaladas ao lado em relação ao vento predominante. Esses valores variam de

acordo com a velocidade do vento, rugosidade do terreno e a presença de obstáculos entre as turbinas.

A velocidade do vento é influenciada por diversos fatores globais, mas os mais importantes a serem considerados são os fatores locais, tais como a altitude em relação ao solo e com a rugosidade do terreno, a qual pode ser determinada com a utilização da equação exponencial abaixo:

$$V = V_0 \cdot \left(\frac{H}{H_0} \right)^n \quad (15)$$

Onde, V é a velocidade do vento desejada; V_0 é a velocidade do vento disponível na altitude conhecida; H é a altitude desejada; H_0 é a altitude conhecida e n é o fator de rugosidade do terreno. Na avaliação da energia potencial de um aerogerador é importante converter os dados de vento disponíveis para a altitude do eixo da turbina. A Tabela 22 indica alguns valores de rugosidade do terreno.

Tabela 22: Fator de rugosidade do terreno.

Fator de rugosidade do terreno	n
Terreno sem vegetação	0,10
Terreno gramado	0,12
Terreno cultivado	0,19
Terreno com poucas árvores	0,23
Terreno com muitas árvores, cerca viva ou poucas edificações.	0,26
Florestas	0,28
Zonas urbanas sem edifícios altos	0,32

Fonte:(REIS, 2000).

Um aerogerador não deve ser instalado em local onde exista turbulência do vento. A incidência de muita turbulência diminui a vida útil do equipamento e mesmo pouca turbulência ocasiona a perda de potência útil dado que os aerogeradores não reagem na mesma velocidade que as condições do vento. Alguns fatores devem ser considerados na escolha do local para instalação do aerogerador. Alguns fatores são ilustrados na Figura 22.

Terrenos com elevações demasiadamente altas e com grande rugosidade provocam grande turbulência no vento. Aerogeradores instalados nas bases dos morros beneficiam-se com a ausência da turbulência, quando caracterizado o potencial eólico da região. Para um local onde o vento muda de direção os aerogeradores instalados nas bases dos morros sofrerão com o sombreamento eólico quando este fato ocorrer. Para a instalação de aerogeradores nos topos do morros deve-se observar a rugosidade do terreno e calcular a altura mínima da torre para elevar o equipamento e evitar a destruição do mesmo ocasionado pela turbulência nestas localidades. Quando o terreno tiver uma baixa rugosidade pode-se aproveitar o aumento da velocidade do vento ocasionado pelo escoamento do ar sobre o morro e soma das massas de ar com diferentes altitudes e realizar a instalação do equipamento com uma torre relativamente pequena. A Figura 22, letra A, ilustra o aproveitamento eólico no topo de um morro hipotético com baixa rugosidade do terreno.

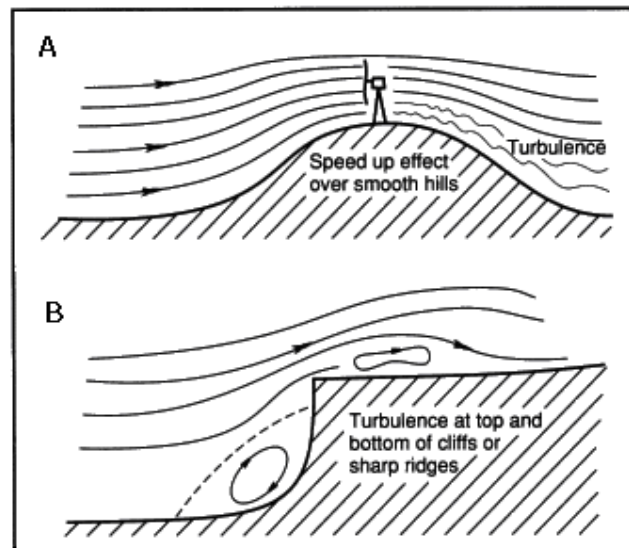


Figura 22: Escoamento do vento em relação a obstáculos e ao terreno. Fonte: (AUSWIND, 2007).

Para a instalação de aerogeradores em penhascos deve-se considerar a grande turbulência gerada nas bordas dos mesmos. Para torres pequenas a instalação dos equipamentos nestes locais deve ser distante o suficiente da borda para escapar da turbulência ocasionada no vento. A instalação de aerogeradores na borda de um penhasco deve possuir uma torre suficientemente elevada o que é um

problema para aerogeradores de grande porte. A Figura 22 letra B, ilustra a turbulência ocasionada pela presença de um penhasco.

Obstáculos ocasionam grande turbulência no vento e para a instalação de aerogeradores em localidades que possuam obstáculos deve-se observar uma distancia mínima em relação ao obstáculo ou utilizar uma torre para instalação do equipamento demasiadamente elevada. Distâncias para a instalação de aerogeradores em relação a obstáculos chegam a ser maior que dez vezes a altura do obstáculo a ser considerado. A Figura 23 ilustra a área onde o vento não deve ser aproveitado dada a presença de edificações, representado pela região hachurada.

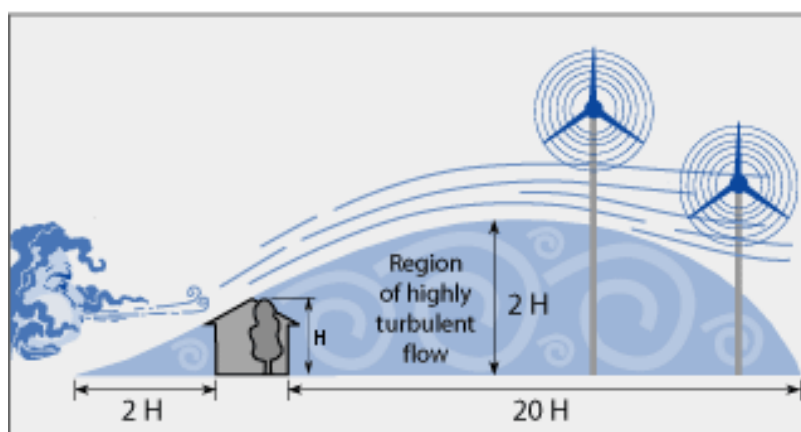


Figura 23: Região com turbulência no vento ocasionada pela presença de obstáculos ou árvores. Fonte: (WINDUSTRY, 2007).

Da mesma forma que edificações, árvores geram grande turbulência no vento. Aerogeradores instalados em regiões com grande quantidade de árvores devem estar o mais distante possível do local onde elas se encontram em relação ao vento predominante, ou instaladas por sobre a copa das árvores para não ter a eficiência comprometida pela turbulência. A Figura 23 ilustra as distâncias seguras para a instalação de aerogeradores em regiões arborizadas.

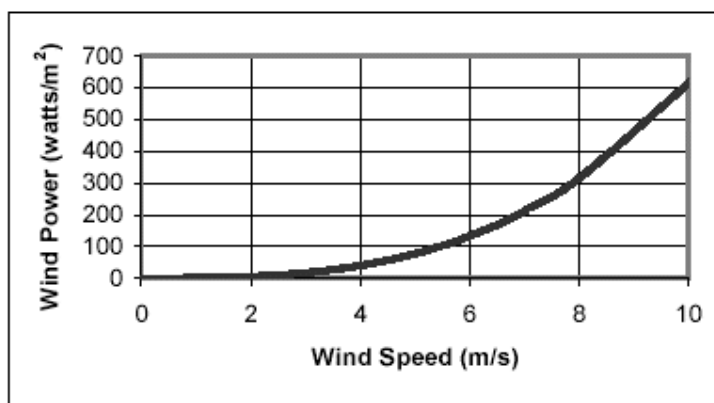


Figura 24: Relação entre a velocidade do vento e a potência eólica por unidade de área. Fonte: (ONTARIO, 2007).

Um fator importante para a produção de energia através de um aerogerador é a altura da torre onde o rotor estará localizado. O potencial eólico disponível numa porção do vento é proporcional ao cubo de sua velocidade (ver equação 4). Se a velocidade do vento dobrar, o potencial eólico disponível para o aerogerador aumentará oito vezes. É sabido que a velocidade do vento aumenta com a altitude, por isso o aumento da altura das torres dos aerogeradores pode significar um ganho considerável na eficiência do equipamento. A Figura 24 ilustra o ganho exponencial do potencial eólico por unidade de área de acordo com o acréscimo da velocidade do vento.

Comercialmente as turbinas eólicas diferenciam-se pela curva de potência, que é o resultado de diversos fatores construtivos, mais o principal é a velocidade do vento nominal. Os valores utilizados pelos fabricantes normalmente são resultados de velocidades de vento instantâneas e outros valores padronizados, tais como: densidade do ar, temperatura e altitude. É sabido que o vento possui um comportamento estocástico, variando de valor constantemente de forma aleatória. Para realizar o cálculo da energia a ser gerada por uma determinada turbina deve-se multiplicar a potência do equipamento pelo tempo de duração da velocidade do vento associado ao valor de potência. O tempo de duração de uma determinada velocidade é aproximado através de uma distribuição estatística do tipo densidade de probabilidade. Uma função de densidade de probabilidade define a probabilidade de uma variável estar entre dois valores. Para a indústria eólica se utiliza a distribuição de *Weibull*. A Figura 25 ilustra a distribuição de *Weibull* para velocidades

de vento a vinte metros de altitude na região de Sauípe no litoral norte do estado da Bahia.

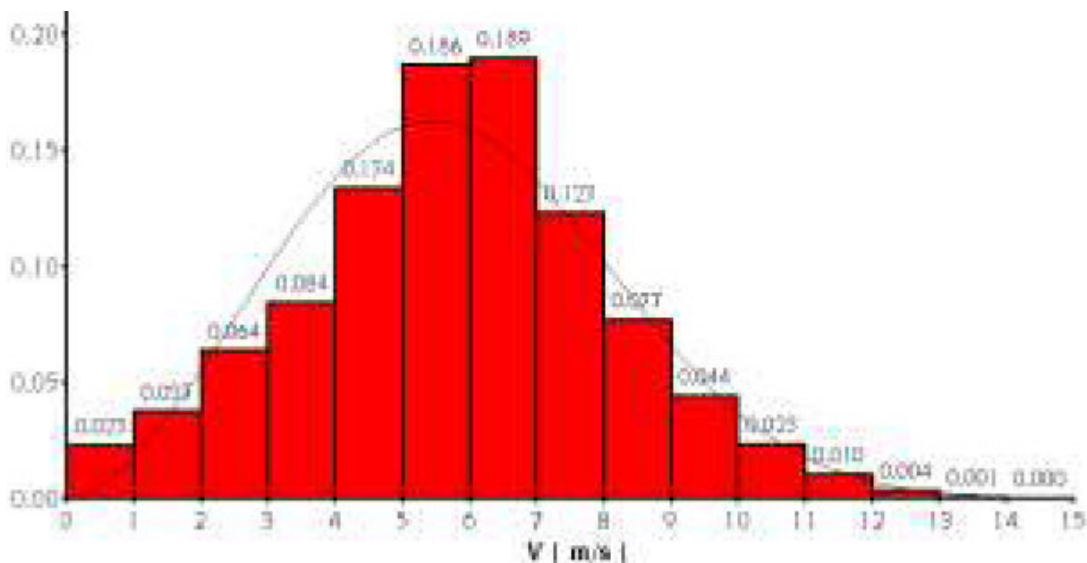


Figura 25: Distribuição de *Weibull* (fator de forma $k = 2.65$) para velocidades de vento a vinte metros de altitude para a região de Sauípe no litoral norte do estado da Bahia. Medições realizadas entre meio de 1997 e abril de 1998. Fonte: (COELBA, 2002).

A função de densidade de probabilidade de *Weibull* expressa a probabilidade de haver uma determinada velocidade durante o ano, de acordo com a equação 16. Onde k é o fator de forma (adimensional), C é o fator de escala (m/s) e v é a velocidade do vento (m/s), com valores válidos para $k > 1$, $v \geq 0$ e $C > 0$. Para uma dada velocidade média do vento, um pequeno fator de forma indica uma grande concentração de distribuições de velocidades próximas à média, e um valor alto para o fator de forma indica uma pequena concentração de distribuições de velocidades próximas à média (distribuição das probabilidades de velocidades mais espalhadas dentre os valores medidos).

$$P(v) = \frac{k}{C} \cdot \left(\frac{v}{C}\right)^{k-1} \cdot e^{-\left(\frac{v}{C}\right)^k} \quad (16)$$

Outra função de densidade de probabilidade largamente utilizada é a distribuição de *Rayleigh*, que é um caso especial da distribuição de *Weibull*, quando o fator de forma é igual a dois.

4.1.5 Recurso Eólico no Brasil

De acordo com o Atlas do potencial eólico brasileiro, o país possui um potencial eólico estimado de 143,5 GW, com ventos de média anual maior que 7 m/s para uma altura de 50 metros, possibilitando uma geração anual estimada de 272,2 TWh/ano. Dentre as regiões brasileiras o Nordeste possui maior capacidade de aproveitamento eólico com 75 GW. A Figura 26 demonstra o potencial de cada região do Brasil, com seus respectivos potenciais e capacidade de geração.

Na região amazônica, dada a grande rugosidade, a velocidade dos ventos não ultrapassa a faixa dos 3,5 m/s, a uma altura de cinquenta metros, tornando-se não atrativo para geração eólica. O estado de Roraima possui uma área isolada com altas velocidades médias anuais de vento, na região da serra Pacaraima, ao longo da fronteira do Brasil com a Venezuela. Os estados do Pará e Amapá possuem, em sua faixa litorânea, potencial para geração eólica, com velocidades médias anuais de vento entre 5 e 7,5 m/s.

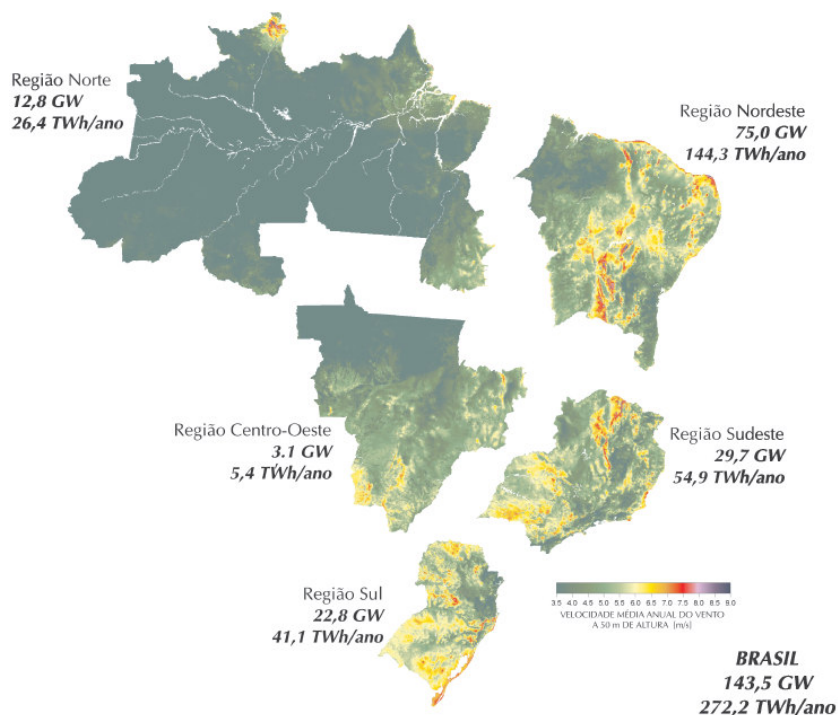


Figura 26: Potencial eólico estimado para vento médio anual igual ou superior a 7,0 m/s. Fonte (MME, 2001).

O nordeste possui a maior média anual de velocidade de vento, com médias entre 6 e 9 m/s, em todo seu litoral, abrangendo os estados de Maranhão, Piauí, Ceará e Rio Grande do Norte. O potencial é adicionado quando se acrescentam as aplicações *offshore*. As maiores velocidades médias anuais são encontradas ao norte do Cabo de São Roque, entre os estados do Rio Grande do Norte e Ceará. A faixa litorânea que se estende desde o Cabo de São Roque até aproximadamente o Rio de Janeiro experimenta velocidades médias anuais entre 3,5 e 6 m/s.

De acordo com o Atlas do potencial eólico do estado do Ceará, o estado do Ceará possui um potencial eólico de 5,8 GW possibilitando uma geração anual estimada de 12 TWh/ano para ventos com velocidade média anual de 7 m/s a uma altura de cinquenta metros. Para a altura de 70 metros o potencial eólico eleva-se para 24 GW possibilitando uma geração anual estimada de 51,9 TWh/ano para ventos com velocidade média anual de 7 m/s (SEINFRA, 2001).

No planalto central destacam-se algumas regiões mais elevadas a oeste, no estado do Mato Grosso do Sul, na fronteira com o Paraguai, onde a velocidade média anual dos ventos aproxima-se de 7 m/s. Velocidades médias anuais de vento entre 6,5 e 8 m/s são possíveis nos cumes das maiores elevações da Chapada Diamantina e Serra do Espinhaço, essas regiões fazem parte das áreas de Serras e Chapadas que se estendem ao longo da costa brasileira, desde o Rio Grande do Norte até o Rio de Janeiro, com distância de até 1000 km da costa. Na região sudeste há a existência de bons ventos no Espírito Santo, Norte Fluminense e nas maiores elevações dos estados de Minas Gerais e São Paulo. Assim como litoral nordestino o aproveitamento com parques eólicos *offshore* no litoral destes estados possui grande potencial.

No Rio Grande do Sul o potencial eólico estimado é de 15,8 GW possibilitando uma geração anual estimada de 41,69 TWh/ano para ventos com velocidade média anual de 7 m/s a uma altura de cinquenta metros, de acordo com o Atlas do potencial eólico do estado do Rio Grande do Sul. Para alturas de setenta e cinco metros o potencial eólico eleva-se para 54,43 GW possibilitando uma geração anual estimada de 132,86 TWh/ano para ventos com velocidade média anual de 7 m/s. Para aplicações *offshore*, nas regiões de Lagoa dos Patos, Mirim e

Mangueira, foi estimado um potencial de 18,52 GW possibilitando uma geração anual estimada de 51,84 TWh/ano para ventos com velocidade média anual de 7 m/s. Para alturas de setenta e cinco metros o potencial eólico *offshore* eleva-se para 19,51 GW possibilitando uma geração anual estimada de 54,61 TWh/ano para ventos com velocidade média anual de 7 m/s (SEMC, 2002).

A Bahia é o quinto estado brasileiro em área territorial, com 564.692,669 km², possui população de 14 milhões de pessoas, de acordo com dados do IBGE do ano de 2005. Quanto ao relevo, todo o litoral baiano é composto com altitudes de poucas centenas de metros, não constituindo grandes obstáculos aos ventos. Na área dos chapadões, as altitudes são superiores a mil metros. O vale do Rio São Francisco é composto por chapadas, em sua maioria, tornando-se aberto e mais plano na região da represa de Sobradinho. Quanto à vegetação, junto a costa existe uma vegetação densa e relativamente alta, produzindo alto índice de rugosidade. Nos chapadões e no vale do Rio São Francisco a vegetação caracteriza-se por ser rarefeita, composta de cerrados e caatinga respectivamente, representando menor rugosidade.

A Bahia possui um potencial eólico de 5,6 GW, ocupando uma área de 2.798 km², possibilitando uma geração anual estimada de 12,32 TWh/ano para ventos com velocidade média anual de 7 m/s a uma altura de cinquenta metros. Para a altura de setenta metros o potencial eólico eleva-se para 14,46 GW, ocupando uma área de 7.231 km², possibilitando uma geração anual estimada de 31,9 TWh/ano para ventos com velocidade média anual de 7 m/s. A capacidade hidrelétrica instalada atualmente no Nordeste é aproximadamente 10 GW, com área alagada máxima de 5.800 km², o que demonstra uma ocupação média de 1,72 MW/km². Entretanto com a geração eólica na Bahia, considerando a tendência mundial com aerogeradores instalados a altura de setenta metros, obtém-se uma taxa de ocupação média de 2,0 MW/km², sendo que a área ocupada pelos aerogeradores ainda podem ser aproveitadas para atividades agrícolas e pecuárias (COELBA, 2002). A Figura 27 mostra a velocidade média anual do vento para diferentes alturas na Bahia.

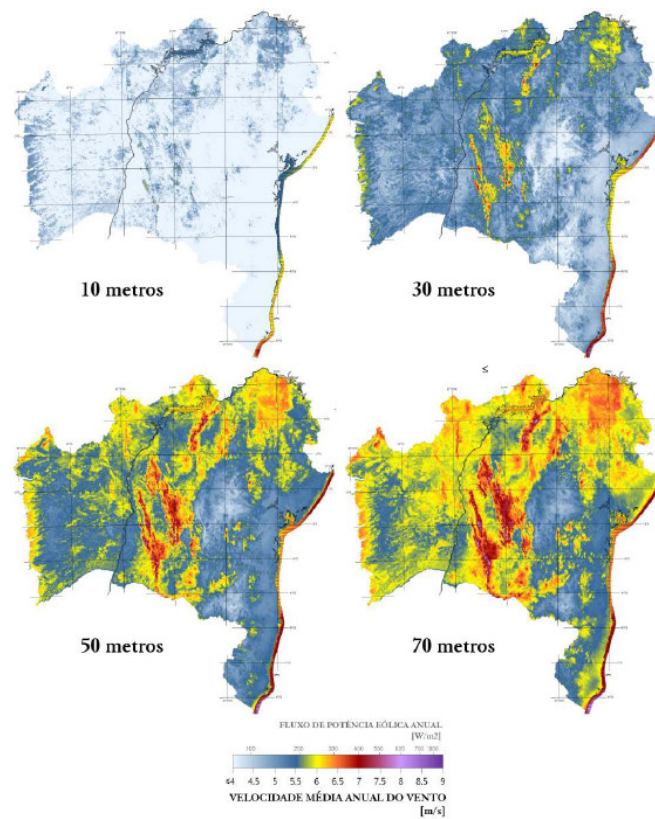


Figura 27: Velocidade média anual do vento na Bahia para diferentes alturas (m/s). Fonte (COELBA, 2002).

Quanto à sazonalidade, o estado da Bahia apresenta maior velocidade de ventos no segundo semestre (inverno e primavera), fato que pode ser verificado na Figura 28. Através do Atlas Eólico da Bahia foram estimadas as velocidades de vento que serviram para embasar teoricamente o potencial a ser gerado pelo sistema híbrido instalado como objeto de estudo para o presente trabalho.

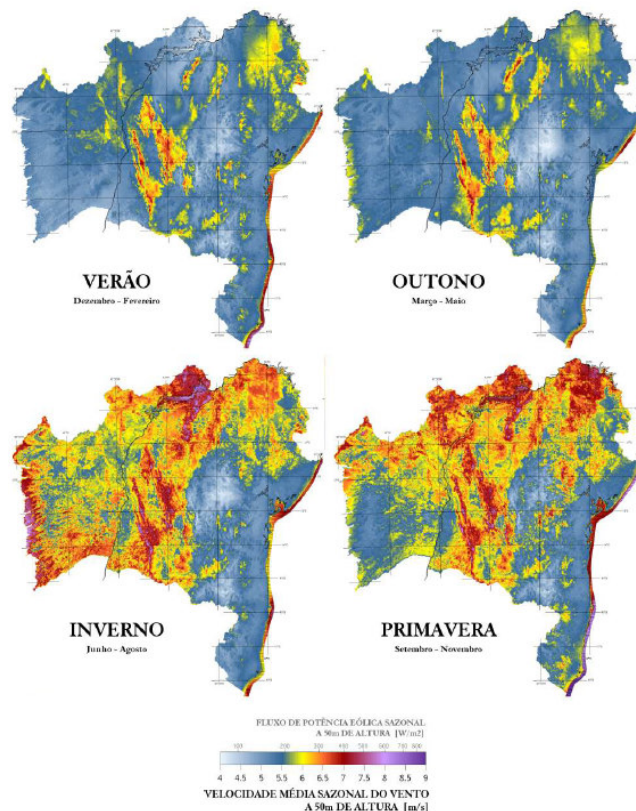


Figura 28: Velocidade média sazonal do vento a 50 metros de altura. Fonte (COELBA, 2002).

Para a região metropolitana do Salvador estão disponíveis as medições feitas para velocidade e direção do vento, realizadas pelo aeroporto internacional Luis Eduardo Magalhães, e disponibilizadas através do projeto Sistema de Organização de Dados Ambientais (SONDA) (INPE, 2005). O projeto SONDA tem como principal meta o estabelecimento de uma rede nacional de coleta de dados sobre radiação solar e velocidade de vento com objetivo de permitir caracterizar melhor esses recursos no Brasil através do desenvolvimento e validação de modelos. A Figura 29 apresenta as velocidades médias de um dia típico para cada estação durante o ano de 2002. Os Dados de velocidade e direção do vento para o ano de 2001 e 2002, disponibilizados pelo projeto SONDA podem ser encontrados no ANEXO 5.

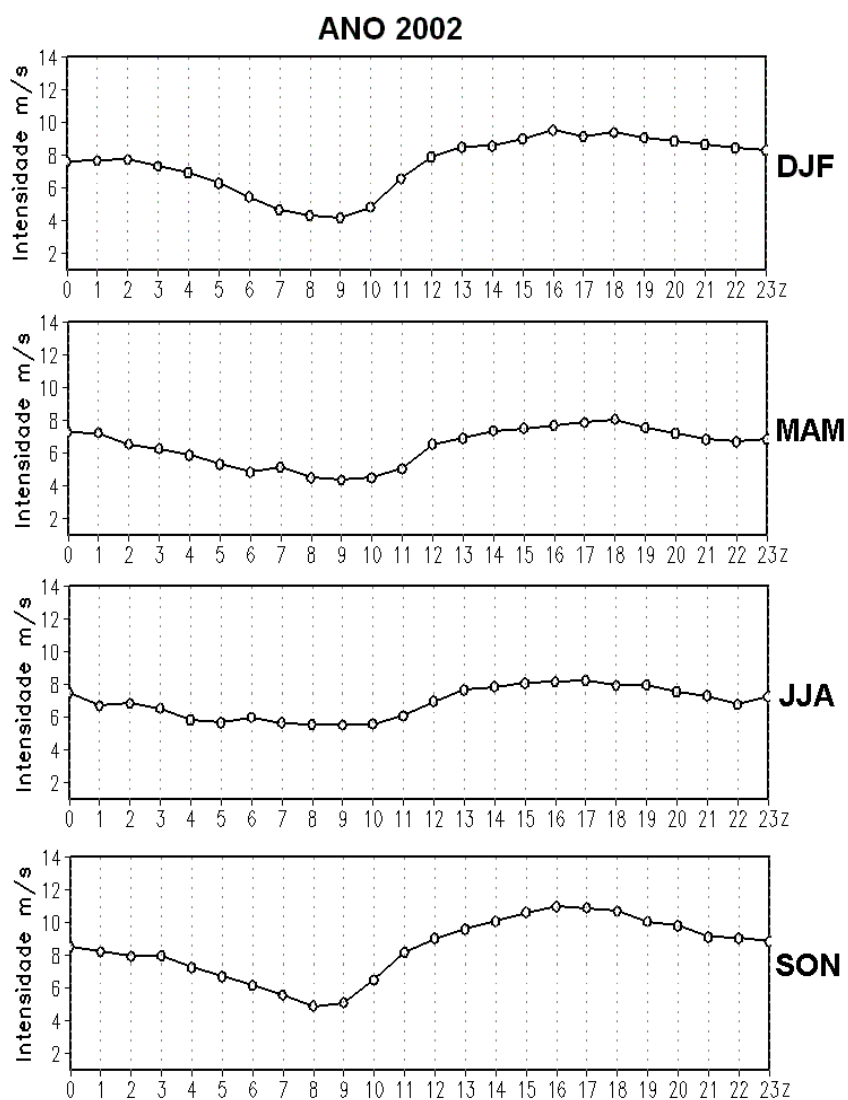


Figura 29: Velocidades médias de um dia típico para cada estação durante o ano de 2002. Fonte: SONDA. DJF = Dezembro, Janeiro e Fevereiro. MAM = Março, Abril e Maio. JJA = Junho, Julho e Agosto. SON = Setembro, Outubro e Novembro.

As velocidades médias disponibilizadas pelo projeto SONDA foram medidas com altura de dez metros. Deve-se ter cuidado, pois estas velocidades supostamente foram medidas com propósitos específicos do aeroporto e não com propósitos de geração de energia elétrica. Comparando-se esses dados com os dados disponibilizados pelo Atlas Eólico da Bahia, percebe-se uma discrepância considerável na velocidade do vento, principalmente dada a altura das medições. Por conta disso optou-se por utilizar os dados do Atlas Eólico da Bahia.

4.2 ENERGIA SOLAR

O Sol é responsável pela manutenção da vida na Terra. É a partir da energia do sol que se origina o ciclo das águas, a circulação atmosférica em larga escala (ventos), fotossíntese, a formação dos combustíveis fósseis, etc. O Sol emite a cada ano $1,5 \times 1.018$ kWh de energia para a atmosfera terrestre, correspondendo a 104 vezes o consumo mundial de energia durante o mesmo período. Havendo um enorme potencial de utilização por meio de sistemas de captação e conversão em outra forma de energia (térmica, elétrica, etc.) (CRESESB, 2004).

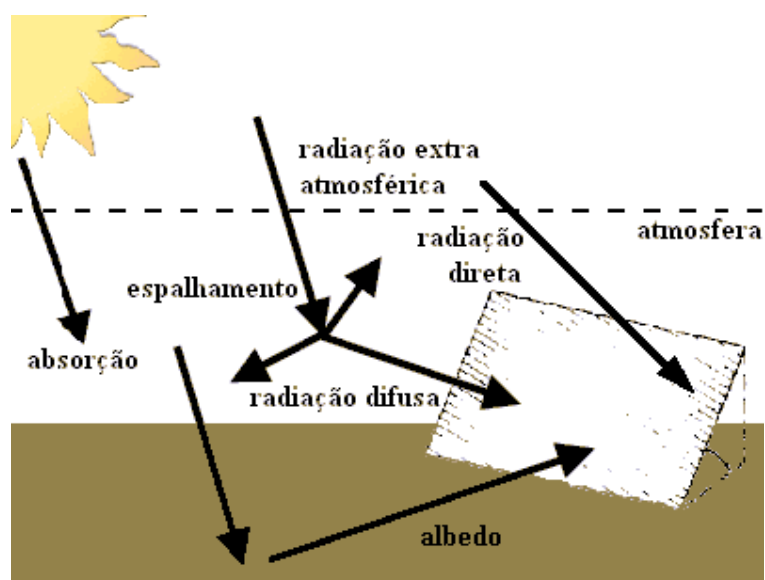


Figura 30: Decomposição da radiação solar. Fonte: Elaboração própria.

Apenas uma parcela da radiação solar que penetra na atmosfera terrestre pode ser aproveitada para geração de energia. Denomina-se radiação global a soma das parcelas da radiação que incidem na superfície coletora, dividida em: direta, difusa e albedo. Radiação direta é a parcela da radiação solar atinge diretamente a superfície coletora. Radiação difusa é a parcela que incide na superfície coletora após ter sido espalhada e/ou absorvida pela atmosfera através de partículas em suspensão (moléculas de ar e gotículas de água). Albedo é a parcela da radiação incidente na superfície após ser refletida pelo plano ao qual a superfície coletora está instalada. A

Figura 30 mostra a decomposição da radiação emitida pelo Sol que será aproveitada pela superfície coletora.

A utilização da energia solar remonta à antiguidade. Civilizações datadas antes de Cristo já utilizavam a energia solar para acender tochas ou iluminar ambientes através da reflexão de espelhos ou escudos de bronze (EERE, 2006). A utilização da energia solar para produção de energia elétrica iniciou-se em 1839, quando um cientista francês (Edmond Becquerel) descobriu o efeito fotovoltaico ao observar, em um experimento com uma solução condutora e dois eletrodos metálicos (célula eletrolítica), que a geração de energia elétrica aumentava à medida que a célula era exposta à luz do sol. Em 1954 três pesquisadores americanos (Daryl Chapin, Calvin Fuller e Gerald Pearson) desenvolveram a primeira célula fotovoltaica (FV) de silício, com eficiência de 4% (EERE, 2006). O satélite *Vanguard I*, em 1958, foi a primeira aplicação espacial a utilizar células fotovoltaicas. Até os dias atuais as células fotovoltaicas são consideradas as mais adequadas para prover eletricidade às aplicações espaciais (EERE, 2006).

A crise energética de 1973 impulsionou o interesse pelos sistemas fotovoltaicos, não apenas para fins espaciais. Contudo os custos de produção das células fotovoltaicas precisariam ser reduzidos na ordem de 100 vezes para massificar a utilização (CRESESB, 2004). Desde a crise energética da década de 70 a evolução do mercado fotovoltaico se tornou intensa, tornando comum sua aplicação em sistemas domésticos, eletrificação de cercas, telecomunicações, sinalização marítima, entre outros.

4.2.1 Estado da arte da energia solar fotovoltaica

Durante os últimos dois anos a indústria mundial de energia solar fotovoltaica conectada a rede experimentou um crescimento médio anual acumulado de 50%. Durante o ano de 2006 foram adicionados 1.600 MWp em capacidade solar fotovoltaica conectada a rede, totalizando 5.100 MWp (ver tabela 23). Para o final do

ano de 2007 esperava-se que o mercado de energia solar fotovoltaica conectada a rede conte com 7.800 MWp de capacidade instalada (REN21, 2007).

Em relação à nova capacidade instalada, a Alemanha liderou o mercado em 2006, com a adição de 850 a 1.000 MWp, em seguida o Japão com a adição de 300 MWp, os Estados Unidos com 100 MWp e a Espanha com 100 MWp (REN21, 2007). As capacidades instaladas nos países que sofreram maior acréscimo em capacidade instalada estão discriminadas na Tabela 23 (REN21, 2007).

Tabela 23: Energia solar fotovoltaica conectada a rede - valores adicionados anualmente, 2002–2006.

Country	Added 2002	Added 2003	Added 2004	Added 2005	Added 2006	Existing 2005	Existing 2006
megawatts							
Japan (Sunshine)	140	170	230	—	—	1,250	1,540
Japan (other)	40	50	40	310	290		
Germany	80	150	600	860	830*	1,900	2,800*
California	—	—	47	55	70	220	320
Other USA	—	—	10	10	30		
Spain	5	5	12	23	106	50	160
Other EU	—	—	—	—	30	130	160
South Korea	—	—	3	5	20	15	35
Other World	—	—	—	> 20	> 50	> 30	> 80
Total Added	270	400	900	1,250	1,600		
Cumulative						3,500	5,100

Fonte (REN21, 2007).

A Espanha experimentou o maior e mais rápido crescimento durante 2007, em parte devido a novas e revisadas políticas de incentivo. Em 2007 foram adicionados aproximadamente 400 MWp em energia solar fotovoltaica, 4 vezes mais que o total instalado em 2006 (REN21, 2007).

Outros países europeus experimentaram crescimento acelerado nos últimos dois anos, especialmente Itália, França e Grécia com a introdução de novas políticas de incentivo a renováveis ou revisão das existentes. Itália instalou em 2007 20 MWp e a França 15 MWp, o dobro comparado com o ano anterior. Nos Estados Unidos a Califórnia detém a maior parcela do mercado americano de energia solar fotovoltaica, com 70% em 2006. A Coreia é o país asiático com maior crescimento no mercado solar fotovoltaico, com 20 MWp instalados em 2006 (REN21, 2007).

A maior parte dos sistemas fotovoltaicos instalados no mundo possui capacidade de poucas dezenas de quilowatts, incluindo-se nesta parcela os sistemas integrados as construções (*building-integrated PV - BIPV*). Adicionando-se os sistemas fotovoltaicos isolados utilizados para eletrificação rural, sistemas de telecomunicações remotos, eletrificação de cercas, sinalização marítima, etc. a capacidade acumulada é estimada em 10.500 MWp até o final de 2007 (REN21, 2007).

Entre 2006 e 2007 houve um acréscimo dos empreendimentos solares fotovoltaicos de grande escala (entre centenas de milhares de quilowatts). A Espanha possui os maiores empreendimentos solares fotovoltaicos conectados a rede do mundo, nas cidades de Jumilla e Beneixama, com capacidade instalada de 23 MWp e 20 MWp respectivamente. Nos Estados Unidos o maior empreendimento está instalado na base da força aérea de Nellis, no estado de Nevada (LENARDIC, 2007). Os maiores mercados dos sistemas fotovoltaicos de grande porte ainda permanecem na Europa, Alemanha com 45% e Espanha com 28%. Em terceiro lugar aparece os Estados Unidos com 16% do mercado fotovoltaico de grande porte (LENARDIC, 2007). Na Figura 31 está discriminada os valores de potência instalada dos vinte e cinco maiores empreendimentos fotovoltaicos instalados no mundo.

Power (MWp)	Country	Location	On-grid since
20	Spain	Jumilla	2007
20	Spain	Beneixama	2007
14	USA	Nellis, NV	2007
13,8	Spain	Salamanca	2007
12,7	Spain	Lobosillo	2007
12	Germany	Erlasee / Arnstein	2006
11	Portugal	Serpa	2007
10,35	Germany	Brandis *	2007
10	Germany	Pocking	2006
9,55	Spain	Milagro	2007
8,76	Spain	Viana	2007
8,4	Germany	Göttelborn **	2004 – 2007
8,22	USA	San Luis Valley, Alamosa, CO	2007
6,3	Germany	Mühlhausen	2004
6,277	Spain	Aldea del Conde	2007
6	Spain	Olmedilla	2007
6	Germany	Doberschütz	2007
5,8	Spain	Darro	2007
5,568	Germany	Oberottmarshausen	2007
5,27	Germany	Miegersbach	2005
5,21	Japan	Kameyama	2006
5,076	Germany	Kleinaitingen	2007
5,04	Spain	Alvarado	2007
5	Germany	Thierhaupten	2007
5	Spain	Bullas	2007

Figura 31: Maiores empreendimentos fotovoltaicos até o final de 2007. Fonte: (LENARDIC, 2007).

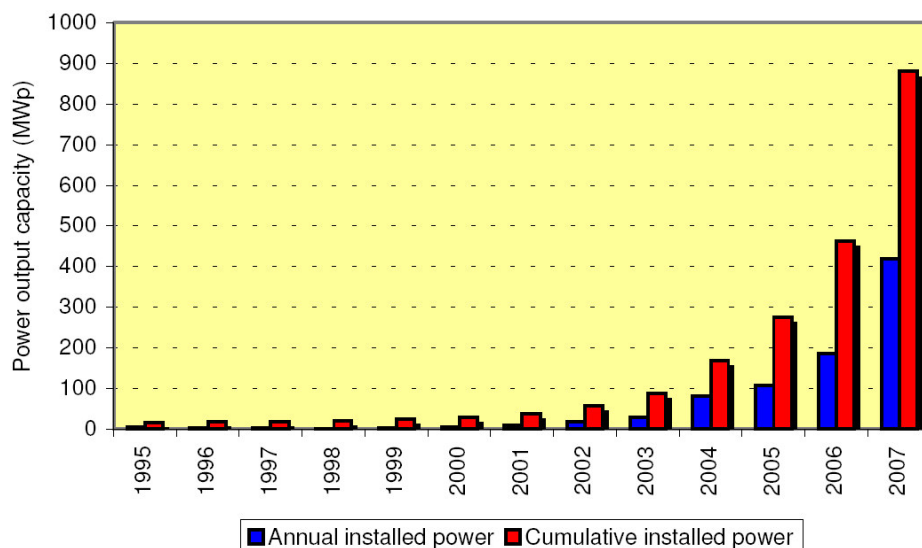


Figura 32: Mercado mundial de energia solar fotovoltaico de grande escala – crescimento instalado e acumulado entre 1995 e 2007 (MWp). Fonte: (LENARDIC, 2007).

Em 2007 foram instalados aproximadamente 250 empreendimentos fotovoltaicos de grande porte, com potência média de 1,6 MWp (ver Figura 33). No ano de 2007 o mercado de energia solar de grande escala experimentou um crescimento de 90% em relação ao ano anterior, representando 417 MWp de novos empreendimentos solares, totalizando 878 MWp em capacidade instalada (WIKIPEDIA, 2006) (Ver Figura 32).

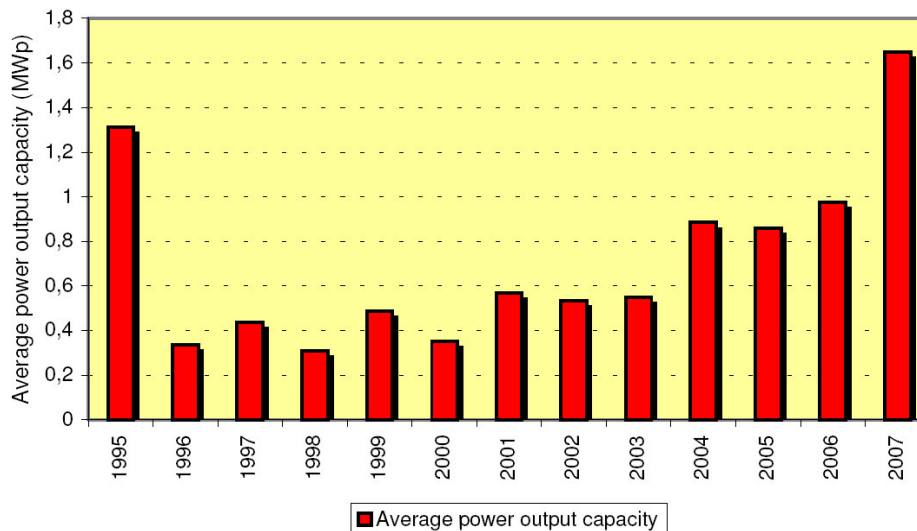


Figura 33: Desenvolvimento da potência média de sistemas fotovoltaicos de grande porte. Fonte (LENARDIC, 2007).

Contudo o mercado atual de energia solar fotovoltaica está restrito a apenas três países: Alemanha, Espanha e Estados Unidos, totalizando aproximadamente 50% de toda a capacidade instalada no mundo (REN21, 2007; WIKIPEDIA, 2006). Aos poucos este panorama está sendo modificado, dado a grande preocupação com a mudança climática global e diversos problemas ambientais associados à geração de energia, e o surgimento de programas governamentais e sociais. A Figura 34 demonstra a capacidade instalada no mundo.

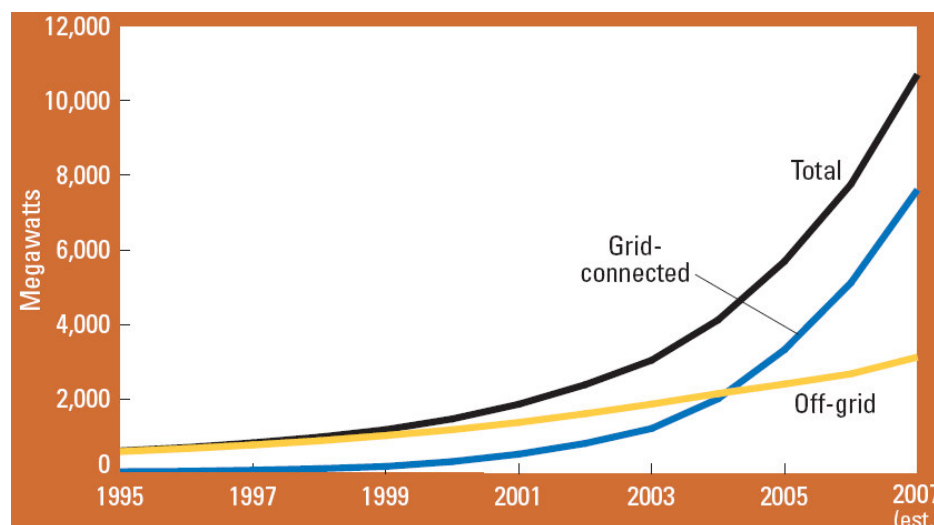


Figura 34: Mercado mundial de energia solar fotovoltaica – capacidade instalada entre 1995 e 2007 (MWp). Fonte: (REN21, 2007).

O mercado de concentradores solar *Concentrating Solar Power (CSP)* permaneceu estagnado entre a década de noventa e começo do século vinte um. Entre 2006 e 2007 três empreendimentos foram concluídos: 64 MW no estado de Nevada, 1 MW no estado do Arizona, nos Estados Unidos da América, e 11 MW na Espanha. Durante o ano de 2007 vinte novos projetos estavam em construção ou em estudo de viabilidade. Países como Espanha, Portugal, Israel, Estados Unidos, Egito, México, Marrocos, Argélia, China, Índia e África do Sul possuem planos para aproveitamento desta tecnologia para aproveitamento da energia solar (REN21, 2007).

No Brasil o aproveitamento da energia solar se faz através de coletores para aquecimento de água e sistemas isolados para geração de energia elétrica, instalados no âmbito de programas governamentais. No Brasil até o final de 2006 existiam instalados 2.200 MWp em empreendimentos solares para aquecimento de água (REN21, 2007). Cidades como Betim e São Paulo possuem políticas de incentivo para este tipo de aproveitamento da energia solar (REN21, 2007).

4.2.2 Tecnologia de aproveitamento – Painéis Fotovoltaicos

Para converter a radiação solar em energia elétrica é necessária a utilização de um dispositivo denominado de célula fotovoltaica. As células fotovoltaicas são

fabricadas a partir de materiais semicondutores (elementos optoeletrônicos que convertem diretamente a radiação solar em eletricidade) (CRESESB, 2004). A maioria destas células é fabricada a partir do silício, devido a três fatores principais: sua não toxicidade; ser o segundo elemento mais abundante na natureza (o primeiro é o oxigênio), e possuir uma tecnologia consolidada devido à sua utilização predominante no ramo da microeletrônica (GORDON, 2001).

As células fotovoltaicas podem ser construídas de três formas: monocristalino, poli ou multicristalino, e amorfo. As células de silício monocristalino são desenvolvidas a partir de um único cristal e, atualmente, já atingem 18% de eficiência comercial (aplicações terrestres) (CRESESB, 2004).

As células de silício policristalino são desenvolvidas através de diversos cristais em contato entre si, dispostos de maneira não alinhada. Os custos de produção deste tipo de célula são menores que as monocristalinas, da mesma forma que sua eficiência. Os avanços tecnológicos vêm reduzindo bastante as diferenças de custo e eficiência entre as células mono e policristalinas, sendo atualmente pouco perceptíveis (CRESESB, 2004).

As células de silício amorfo são produzidas com a disposição desordenada de átomos do material. Átomos de hidrogênio são adicionados a célula de silício amorfo para garantir melhor qualidade. Este tipo de célula possui menor custo de produção e eficiência que as células policristalino. Ainda sofre degradação logo nos primeiros meses de operação, reduzindo assim a eficiência ao longo da vida útil, sendo esta sua grande desvantagem. Comercialmente, a máxima eficiência verificada é da ordem de 13% (CRESESB, 2004).

A partir da combinação de elementos e utilização de novos materiais outras células vêm sendo pesquisadas, porém os custos de produção não são atrativos comercialmente. Materiais como: Arseneto de gálio (GaAs), disseleneto de cobre-índio (CIS) e telureto de cádmio (CdTe) são algumas das tecnologias em estágios avançados de pesquisa e produção. Tais tecnologias apresentam vantagens como boas propriedades elétricas e bons níveis de eficiência, e desvantagens como toxicidade e custos elevados de produção. As células de silício amorfo, somadas a

essas tecnologias, são denominadas tecnologias de filme fino, devido às suas características construtivas. Esta designação advém da espessura da célula ser inferior à das tecnologias cristalinas (cerca de uma ordem de grandeza) (GORDON, 2001; CRESESB, 2004).

Os valores de corrente e tensão de saída das células fotovoltaicas são baixos, sendo necessário a associação em série para garantir níveis de tensão e corrente adequados à sua utilização prática. O conjunto de células associadas em série, forma um módulo fotovoltaico, associações de módulos são denominadas de painel ou arranjo fotovoltaico.

O módulo fotovoltaico serve de proteção contra intempéries e isolamento elétrico, para as células, fornecendo rigidez mecânica ao conjunto. Pequenos condutores interligam as células e fornecem contatos externos de saída. Os painéis fotovoltaicos são protegidos por um material disposto diretamente sobre as células, normalmente transparente e isolante (Acetato de Etil Vinila - EVA), por um vidro temperado e anti-reflexivo para a cobertura frontal e uma cobertura posterior. A Figura 35 apresenta um módulo fotovoltaico e suas partes (PUCRS, 2007).

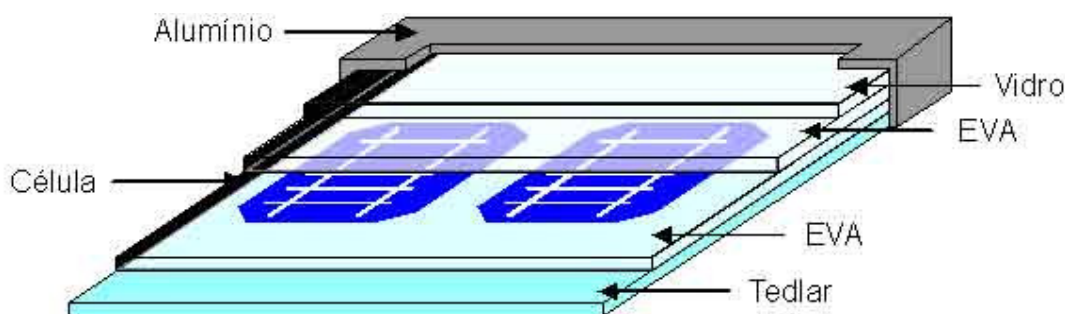


Figura 35: O módulo fotovoltaico e suas partes. Fonte: (PUCRS, 2007).

As células fotovoltaicas devem ocupar a maior área possível do módulo para aumentar a captação da energia solar. A produção das células é feita após a cristalização do silício que é feita de modo que apresentem formatos cilíndricos. Por conta disso, são realizados cortes de modo que a célula se aproxime de um octógono. A Figura 36 apresenta células fotovoltaicas de silício fabricadas a partir das formas mais difundidas comercialmente. Pode-se observar que nas células de silício monocristalino existe o corte das células e vai haver uma área não útil quando

da combinação lado a lado destas células. A combinação de células de silício policristalino e amorfo não apresentam tal problema.

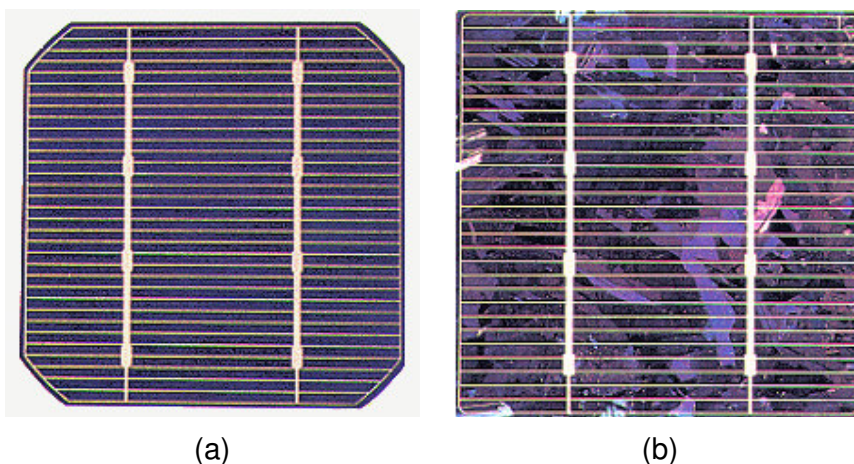


Figura 36: Células fotovoltaicas fabricados comercialmente a partir de células de silício (a) monocristalino e (b) policristalino. Fonte: (CRESESB, 2004).

A Figura 37 ilustra as curvas características de corrente elétrica versus tensão e potência versus tensão de uma célula ou módulo fotovoltaico.

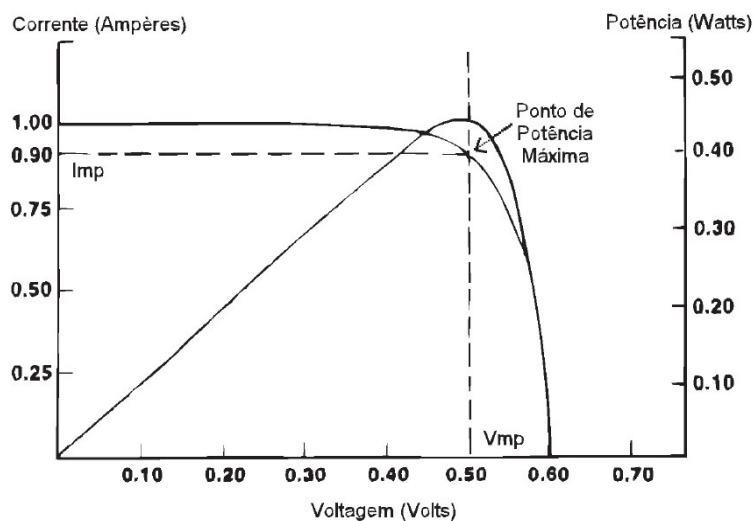


Figura 37: Características I x V e P x V de uma célula ou módulo FV. Fonte: (CRESESB, 2004).

Os valores máximos atingíveis quando o módulo opera sem carga são denominados corrente de curto-circuito e tensão de circuito aberto. Quando alguma carga é conectada, o valor máximo de potência é obtido pelo produto entre os

valores máximos de corrente e tensão, quando o retângulo formado pelas linhas pontilhadas da Figura 37 apresenta área máxima.

As características elétricas dos módulos fotovoltaicos fornecidas pelos fabricantes são baseadas em condições ideais de funcionamento: irradiância de 1.000 W/m² e temperatura da célula de 25°C. Esses dois fatores influenciam o rendimento dos painéis fotovoltaicos de forma significativa, o que pode ser verificado através da Figura 38. Baixos níveis de irradiância reduzem a corrente gerada sem causar prejuízo tão considerável à tensão, enquanto que altos valores de temperatura da célula reduzem a tensão em maiores proporções que aumentam a corrente.

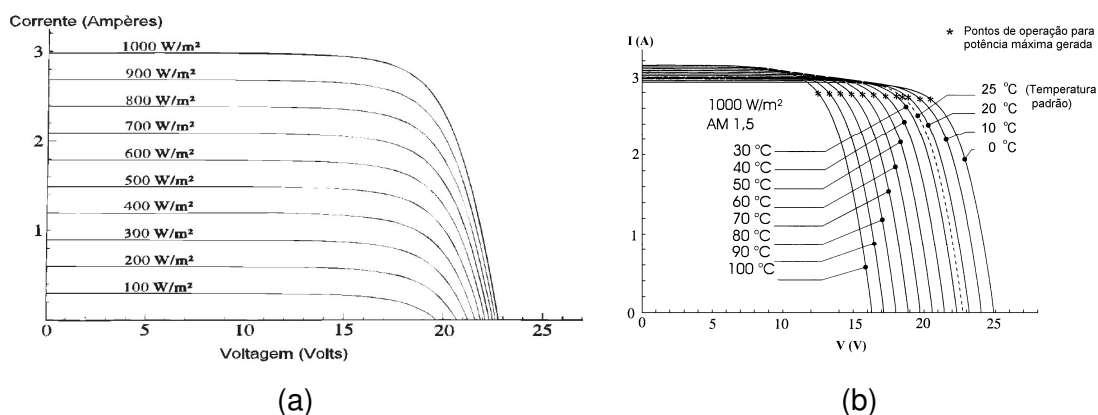


Figura 38: Influência da irradiância (a) e temperatura (b) nas características dos módulos fotovoltaicos. Fonte: (CRESESB, 2004).

4.2.3 Impactos ambientais

No caso da energia solar, os impactos podem ser considerados de menor escala. Os visuais vêm sendo contornados com o surgimento de tecnologias que integram os equipamentos de geração às edificações (BIPV) (REN21, 2007). Outros impactos considerados, como os ocasionados no processo de fabricação de células fotovoltaicas, são praticamente desprezíveis.

4.2.4 Recurso Solar

Os dados solarimétricos são obtidos através de medições realizadas sobre superfícies horizontais. Na maioria dos casos os módulos fotovoltaicos são dispostos com uma certa inclinação β . Com isso é necessária a utilização de modelos matemáticos que forneçam os valores reais de radiação para superfícies arbitrariamente orientadas. Em (BLASQUES, 2005) é apresentada a descrição de um modelo comumente adotado.

São realizados dois tipos de medições para fins de aproveitamento energético do recurso solar: a componente global da radiação, e as componentes direta e difusa da radiação. A radiação direta é medida através de um instrumento denominado piroheliômetro que, por meio de um dispositivo de acompanhamento do sol e de um sistema ótico, aceita apenas a incidência de um feixe de luz. A radiação global é medida através de um instrumento denominado piranômetro, cujo sensor está localizado no plano horizontal, desta forma recebendo radiação de todas as direções (CRESESB, 2004).

O piranômetro ainda pode ser de dois tipos: termoelétrico e fotovoltaico. O último, devido ao seu custo inferior e boa precisão, vem sendo o mais utilizado pela indústria fotovoltaica. A Figura 39 ilustra um modelo de piranômetro utilizado em testes no laboratório.

Geralmente, define-se potência por unidade de área pelo termo irradiância (W/m^2) e energia por unidade área pelo termo irradiação (Wh/m^2). Uma outra forma de representar a radiação incidente no intervalo de um dia é através do conceito de horas de sol pleno (HSP), que representa a energia total fornecida em um dia, normalizada em relação ao valor de irradiância de $1.000 \text{ W}/\text{m}^2$. Como exemplo, caso um determinado local apresente irradiação diária total de $6.000 \text{ Wh}/\text{m}^2$, o número de horas de sol pleno é obtido dividindo-se esse valor por $1.000 \text{ W}/\text{m}^2$, resultando em $\text{HSP} = 6 \text{ h}$.



Figura 39: Piranômetro fotovoltaico testado em laboratório. Fonte: Elaboração própria.

A irradiância sobre a superfície do planeta em um dia qualquer possui um comportamento como mostrado na Figura 40. A figura desconsidera a presença de nuvens, o que modificaria consideravelmente a distribuição apresentada. A distribuição ainda é modificada pelas estações do ano, o que interfere na análise da irradiância durante períodos mais extensos.

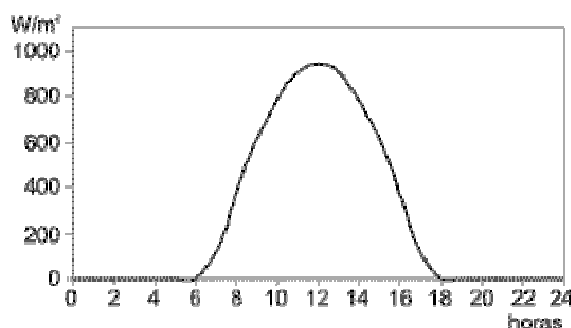


Figura 40: Distribuição da irradiância em um dia sem nuvens. Fonte: (CRESESB, 2004).

O cálculo da energia total recebida em um dia por metro quadrado na superfície terrestre horizontal, é representado pela área da curva da Figura 40, ou seja pela integral da curva considerada. Com o objetivo de facilitar os cálculos, considera-se o caso hipotético de uma distribuição que forneça uma irradiância constante de 1.000 W/m^2 , durante um tempo relativo, de modo que a energia total que incidirá sobre o metro quadrado considerado, durante todo o dia, será igual a da que reproduz a distribuição de irradiância verdadeira.

A Figura 41 representa a aproximação para a distribuição considerada no Figura 40. Graficamente, as áreas das curvas são iguais, ou seja, ambas representam a mesma energia total incidente.

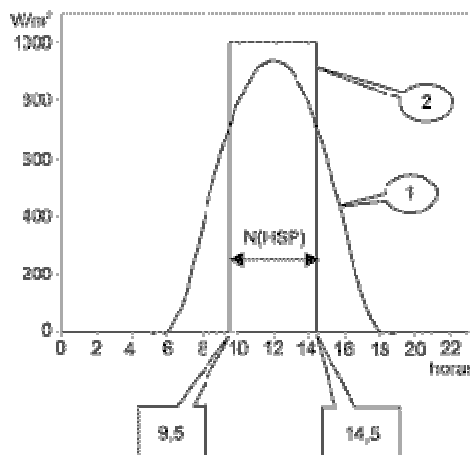


Figura 41: Distribuição da irradiância. (1) Caso real, (2) Caso hipotético. Fonte (CRESESB, 2004).

O tempo de duração de irradiância de 1000 W/m^2 , será o número de Horas de Sol Pleno (HSP). Por outro lado, a potência dos painéis fotovoltaicos é especificada em *watt* pico (Wp), a qual representa a potência entregue pelo painel, quando a irradiância é 1000 W/m^2 , com composição similar a radiação solar, e temperatura de $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Para calcular a energia total incidente em um dia, em metro quadrado, basta apenas calcular a área da curva representada pelas HSP.

O valor de Horas de Sol Pleno é fundamental para o projeto do sistema de geração fotovoltaico. Com o valor de HSP precisa-se apenas multiplicar esse valor pela potência máxima do painel fotovoltaico, dada em watt pico, para determinar a energia disponibilizada pelo sistema em um dia. Este procedimento não requer o conhecimento da área do painel fotovoltaico, muito menos sua eficiência de conversão energética. Precisa-se apenas conhecer a potência do painel (Wp) e a irradiação solar (kWh/m^2), a qual se interpretará numericamente em HSP.

Deve-se esclarecer que o índice HSP não significa a quantidade em horas de Sol num dia. O valor de HSP se refere a um Sol hipotético de 1000 W/m^2 , que irradia durante a quantidade de HSP, produzindo a mesma energia que a quantidade de horas do Sol verdadeiro.

Os módulos fotovoltaicos devem ser instalados com suas faces voltadas para o norte verdadeiro, se instalados no hemisfério sul, e para o sul verdadeiro se instalados no hemisfério norte. Dessa forma, há um melhor aproveitamento da radiação média incidente durante todo o ano. Devem estar inclinados (β), com relação ao plano horizontal (Figura 42), com um ângulo igual à latitude local. Em locais cujas latitudes estejam próximas de zero, aconselha-se a inclinação dos módulos de 10° , por questões de manutenção, para que não haja o acúmulo de substâncias (poeira, folhas de árvores, etc.) na superfície frontal do módulo (EC, 1998).

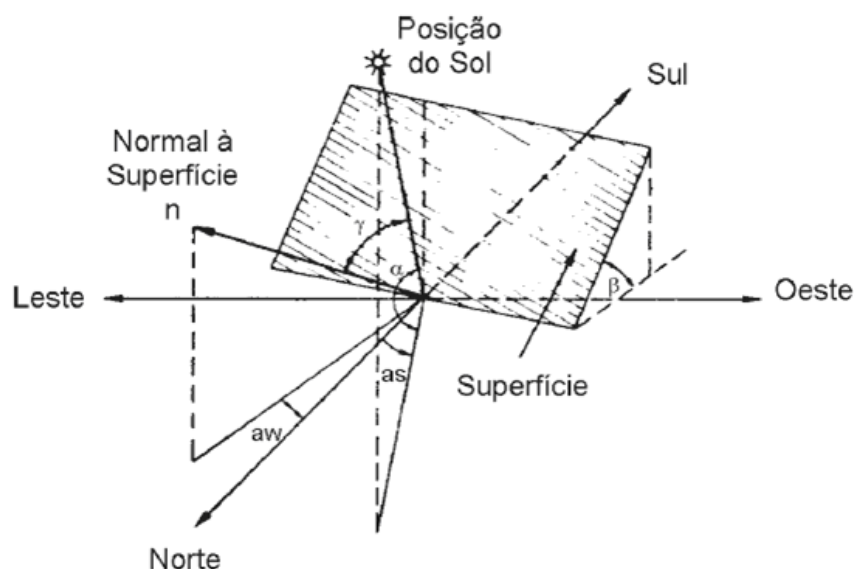


Figura 42: Inclinação para o painel fotovoltaico em relação ao plano horizontal. Fonte (CRESESB, 2004).

Técnicas de rastreamento do movimento do sol, manual ou automática, são recomendadas, para aumentar o rendimento do sistema fotovoltaico. O rastreamento visa apurar o aproveitamento da radiação solar durante todo o ano, dado que cada época do ano apresenta uma disposição ótima para os módulos fotovoltaicos captarem o máximo de radiação. Para o caso de rastreamento manual os custos e a complexidade estrutural são menores, mas a intervenção humana pode representar ponto de falha. No rastreamento automático, a utilização de peças móveis aumenta os custos de manutenção e a probabilidade de falhas.

Para o projeto do sistema fotovoltaico, deve-se calcular a potência mínima instalada do arranjo para suprir a carga determinada, considerando todas as perdas envolvidas no processo (geração, nos sistemas de armazenamento, nos sistemas de controle e características dos módulos de acordo com a temperatura e radiação do local de instalação).

O espaço disponível e a disposição de obstáculos próximos ao local de instalação dos módulos fotovoltaicos devem ser observados de forma a possibilitar a maior captação de radiação solar. Devem-se buscar locais onde os módulos não sejam expostos a condições de sombreamento em nenhuma época do ano. Comprovando-se a disponibilidade do recurso solar o espaço será problema apenas para sistemas de grande porte.

Deve-se, ainda, considerar um local para abrigar os sistemas de armazenamento e controle de potência. Este local deve estar próximo aos sistemas de geração para evitar perdas. O ambiente deve estar adequado a operação dos equipamentos a serem condicionados em seu interior, que são na maioria das vezes sensíveis a temperatura e umidade.

De acordo com o avanço experimentado pela indústria fotovoltaica a área disponível para a instalação dos módulos não representa uma grande preocupação atualmente. Módulos fotovoltaicos curvos, flexíveis, fabricados em substrato de vidro e semitransparentes são utilizados para integrar a geração de eletricidade às edificações, proporcionando conforto visual. Os módulos no formato tradicional também são integrados às edificações, sendo comuns a sua instalação sobre a cobertura. Dessa forma, ou instalados diretamente sobre o solo, havendo incidência de radiação solar suficiente, deve-se preocupar apenas a relação entre o espaço disponível, a manutenção e a segurança.

Os módulos requerem o mínimo de manutenção, mas há a necessidade de limpezas periódicas da superfície dos módulos para garantir os rendimentos de conversão especificados. Deve-se instalar os módulos fotovoltaicos em locais de fácil acesso observando critérios de segurança, para que se evite o contato indesejável de pessoas, animais ou objetos que possam danificar os equipamentos.

Em (BLASQUES, 2005) é descrita uma análise realizada no ano de 1993 comparando a eficiência de produção de energia elétrica da usina hidroelétrica de Itaipu com um sistema fotovoltaico que ocupasse a mesma área alagada de Itaipu (1.460 km²), através de módulos com 10% de eficiência. O resultado mostra que a energia produzida pela usina hidrelétrica de Itaipu seria quatro vezes menor que o sistema fotovoltaico descrito. Isso demonstra que grandes áreas ocupadas geram também grande quantidade de energia.

4.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A energia solar não fornece energia continuamente, por conta da pequena disponibilidade em períodos sem radiação solar e no inverno. A energia eólica não consegue satisfazer demandas constantes pela diferença da magnitude da velocidade dos ventos em períodos distintos. Por apresentar este comportamento a energia eólica e a energia solar são consideradas formas intermitentes de energia. A intermitência destes tipos de fontes de energia é considerada o maior problema na utilização de cada fonte separadamente.

Uma forma de minimizar a influência da intermitência das fontes eólica e solar é combinar as duas fontes num único empreendimento. Empregando dois ou mais recursos energéticos, os períodos de indisponibilidade de uma das fontes podem ser compensados pela atividade de outra fonte. Desta forma surgem os sistemas híbridos de energia, que serão discutidos no próximo capítulo.

5 SISTEMAS HÍBRIDOS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Sistemas híbridos de energia são aqueles que utilizam diversas fontes de geração de energia como, por exemplo: turbinas eólicas, geração diesel, módulos fotovoltaicos, etc., com o objetivo de fornecer eletricidade a uma determinada carga ou conjunto de cargas, de forma isolada ou conectada a rede do sistema interligado nacional. A utilização de várias formas de geração de energia elétrica visa o aproveitamento de recursos energéticos disponíveis localmente, provocando o desenvolvimento sustentável, maximizando a disponibilidade de eletricidade através da complementaridade dos recursos. Sistemas híbridos são utilizados, na sua maioria, em sistemas de médio a grande porte, visando atender um conjunto de unidades consumidoras.

Devido a grande complexidade de arranjos e multiplicidade de opções, os sistemas híbridos para geração de eletricidade tornam-se complexos e necessitam de otimização do uso das energias. É necessário um controle de todas as fontes para que haja máxima eficiência na entrega da energia para as unidades consumidoras. A forma de otimização do sistema torna-se um estudo particular para cada caso (PINHO; GALHARDO, 2005; PINHO; GALHARDO, 2006; PINHO; GALHARDO; BARBOSA, 2005).

Historicamente os geradores baseados em combustíveis fósseis, como o óleo diesel, óleo combustível e gasolina, dominaram o mercado de geração de eletricidade em sistemas isolados. Estes grupos geradores possuem custo de capital baixo e custos de operação e manutenção elevados, podendo gerar energia sobre demanda. Em contrapartida a geração elétrica através de painéis solares e turbinas eólicas possuem alto custo de capital, baixo custo de operação e manutenção e não requer “combustível” para o funcionamento. Com o avanço da pesquisa e desenvolvimento das energias renováveis, principalmente a eólica e a solar fotovoltaica, o custo de capital envolvido na instalação destes sistemas vem decaindo a cada ano (WEO, 2002; REIS, 2000; REN21, 2007).

Os sistemas híbridos encontram desvantagem quando a complementaridade das fontes não está caracterizada, necessitando de medidas confiáveis dos recursos energéticos aproveitados. Por esse motivo um sistema de armazenamento de energia faz-se necessário, por vezes garantindo níveis razoáveis de autonomia. Para garantir o atendimento a carga em períodos de pouca energia gerada e armazenada utiliza-se um grupo gerador como backup.

Um dos primeiros sistemas híbridos foi do tipo eólico – diesel, instalado na cidade de Clayton no estado do Novo México nos EUA no ano de 1977. Com potência de 200 kW do parque eólico e 7,85 MW de grupo geradores diesel (GARCIA, 2004).

Para o presente estudo será considerado o sistema híbrido eólico – fotovoltaico isolado – SHEFI, que utiliza o vento e o sol como “combustíveis” para geração de eletricidade e uma mini-rede para distribuir a energia gerada aos consumidores. Desta maneira o lugar de instalação de sistemas deste tipo deve apresentar a existência destes recursos naturais. Estas condições não se dão em todas as partes, tornando-se necessário conhecer em detalhes o potencial eólico e solar da região, antes de decidir pela instalação de um sistema híbrido deste tipo. O recurso solar é mais universalmente conhecido, o recurso eólico, todavia, é totalmente dependente das condições locais do sítio.

Estes sistemas são formados por um aerogerador que, através de um retificador/regulador de carga, se encarrega de fornecer a energia elétrica produzida para as baterias. Em paralelo existe um sistema de painéis solares que mediante o regulador de carga se conecta as baterias. O banco de baterias, por sua vez, estará ligado ao um inversor. O inversor serve para transformar a corrente contínua em corrente alternada. Essa inversão permite a ligação de equipamentos de corrente alternada, tais como: televisão, vídeo, etc, em sistemas fotovoltaicos. Dentre as formas de onda da tensão de saída dos inversores disponíveis comercialmente, tem-se: onda quadrada, quadrada modificada e a senoidal.

Quando caracterizado a existência de cargas de grande impacto na rede, tais como motores, etc., um grupo gerador a combustão interna deve ser acrescentado

ao sistema híbrido de forma a completar a geração de eletricidade. Neste caso deve-se levar em consideração no projeto do sistema híbrido a disponibilidade do combustível, a ser utilizado pelo grupo gerador, localmente.

Algumas diferenças distinguem o fornecimento de energia feito por meio da rede convencional daquele feito por meio de sistemas híbridos isolados com fontes intermitentes, podendo citar: a continuidade do serviço; flexibilidade no atendimento a diferentes tipos de cargas a qualquer momento; porte das cargas a serem atendidas e diversidade na fonte primária de energia.

5.1 VANTAGENS E DESVANTAGENS DOS SISTEMAS HÍBRIDOS

Os sistemas híbridos de energia caracterizam-se por vantagens e desvantagens adicionais às particularidades de cada fonte energética combinada ao sistema.

Uma das principais vantagens de sistemas híbridos eólico – fotovoltaico é a caracterização da complementaridade entre as fontes. Este fator é muito importante dado à intermitência das fontes envolvidas, que pode ser parcialmente ou totalmente superada. Outra vantagem é a modularidade das fontes energéticas envolvidas. Fator muito importante quando considerado o crescimento natural da demanda com o passar do tempo. Módulos fotovoltaicos, turbinas eólicas e baterias podem ser adicionados ao sistema desde que haja área disponível para instalação.

De acordo com a dispersão dos consumidores, em determinado sítio, quando não eleva demasiadamente as perdas por distribuição da energia, é economicamente viável atender consumidores considerando SHEFI. Em comparação aos Sistemas Individuais de Geração instalados e regulamentados atualmente, são eliminados pontos de falha, tais como os controladores de carga e inversores instalados para cada consumidor. Conseqüentemente o custo de instalação é reduzido dado a não utilização destes equipamentos, reduzindo também os problemas referentes a manutenção dos equipamentos individuais.

O custo de ligação por residência a uma mini-rede isolada depende do número de residências a serem atendidas, distribuição geográfica das casas, horas de atendimento da carga e o perfil da carga a ser atendida.

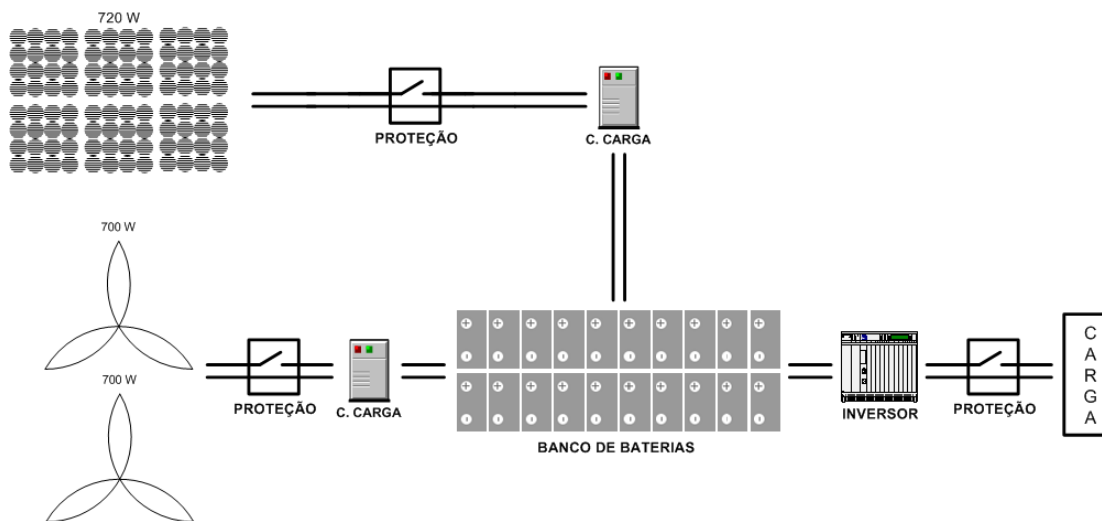


Figura 43: Configuração típica de um SHEFI. Fonte: Elaboração própria.

5.2 FATORES CONDICIONANTES NA QUALIDADE DE ENERGIA EM SISTEMAS HÍBRIDOS ISOLADOS

Todos os equipamentos influenciam a qualidade da energia fornecida pelos SHEFI, dentre os quais os inversores, o número de baterias utilizadas e o controlador de carga influenciam de forma significativa. Projetos com SHEFI devem possuir uma especificação criteriosa da carga a ser atendida, para suprir a demanda atual e o seu provável crescimento e otimizando o dimensionamento das fontes de geração.

De acordo com (PINHO; GALHARDO, 2005), o tipo de carga a ser atendida e a forma de onda de saída do inversor devem ser compatibilizadas para evitar problemas no acionamentos das mesmas. Alguns fatores influenciam a qualidade da energia disponibilizada pelo inversor, citados a seguir:

- Eficiência do equipamento;

- Distorção harmônica;
- Forma da onda de tensão de saída do inversor, influenciando de forma diferente cargas resistivas, motores, cargas com fonte chaveada e iluminação eficiente (Figura);
- Variação do valor *rms* da tensão de saída do inversor, dependente do valor da tensão instantânea do banco de baterias;
- Desequilíbrio das fases quando considerado sistemas trifásicos, devido às cargas monofásicas ou cargas não lineares;
- Conteúdo harmônico produzido por cargas não lineares, influenciando na tensão de alimentação, principalmente nos sistemas de pequeno porte;
- Potência que um inversor pode suprir na partida de um equipamento ou um conjunto deles.

Dentre as formas de onda da tensão de saída dos inversores anteriormente citadas a onda quadrada é a forma mais simples de corrente alternada (Figura 44 - a). O valor máximo da corrente elétrica (valor de pico) fica limitado ao valor da tensão nominal, conseqüentemente este tipo de inversor não é indicado para aplicações que envolvam motores. O torque de partida de um motor depende de uma corrente elevada na partida, durante uma fração de segundo, sendo a onda quadrada limitada ao valor da tensão nominal, este tipo de inversor é incapaz de fornecer a corrente necessária. A distorção harmônica dos inversores de onda quadrada é máxima, que representa, em porcentagem, a diferença entre a forma de onda do inversor e a da senóide pura de mesmo valor. Este fator incapacita a utilização deste tipo de onda em inúmeras aplicações, gerando ruídos, aquecimento e mau funcionamento.

A onda Senoidal modificada, ou semi-senoidal, possui forma intermediária entre a onda quadrada e a onda senoidal pura (Figura 44 – b). A Senóide pura é a onda com um valor único de freqüência, sendo a forma de onda das redes de distribuição de eletricidade. Para este tipo de onda a distorção harmônica é praticamente nula. Os equipamentos eletro-eletrônicos alcançam o desempenho máximo quando utilizam inversores de onda senoidal. Os inversores de onda senoidal são os mais caros encontrados no mercado.

Os sistemas híbridos com fontes intermitentes para geração de eletricidade caracterizam-se por fornecer uma quantidade restrita de energia diariamente. Essa energia é limitada pela capacidade de transformação energética das fontes utilizadas, tipicamente renováveis e pela capacidade de armazenamento de energia elétrica do banco de baterias. A utilização de equipamentos eficientes é de vital importância para autonomia e confiabilidade do sistema.

O número de baterias que compõe o banco a atender o inversor determinará a autonomia (denominado como o período de tempo que a energia útil total do banco de baterias será suficiente para alimentar a carga, quando não há disponibilidade de geração renovável) e confiabilidade dos SHEFIs. A bateria tem vida útil variável, dependendo de diversos fatores como regime de utilização, tipo (automotiva ou estacionária) e qualidade do produto. Em relação a todos os equipamentos que compõem os SHEFIs a bateria é o que possui menor vida útil. A utilização de SHEFI para o atendimento em sistemas isolados diminui o risco da utilização de baterias individualmente instaladas, dado a grande corrente de curto circuito deste equipamento, pois as baterias seriam condicionadas em local único trancado e com acesso apenas de pessoas autorizadas.

Os controladores de carga são dispositivos eletrônicos que controlam os níveis de carga e descarga das baterias. O controlador visa evitar situações de sobrecarga e descarga profunda na bateria (que provoca a redução da vida útil). O controlador trabalha desconectando a geração quando o banco de baterias atingir um nível máximo de tensão pré-fixado, e desconectando a carga quando o banco de baterias atingir um nível mínimo de tensão. Algumas informações podem ser fornecidas pelo controlador a depender do modelo, tais como potência gerada, consumida, etc.

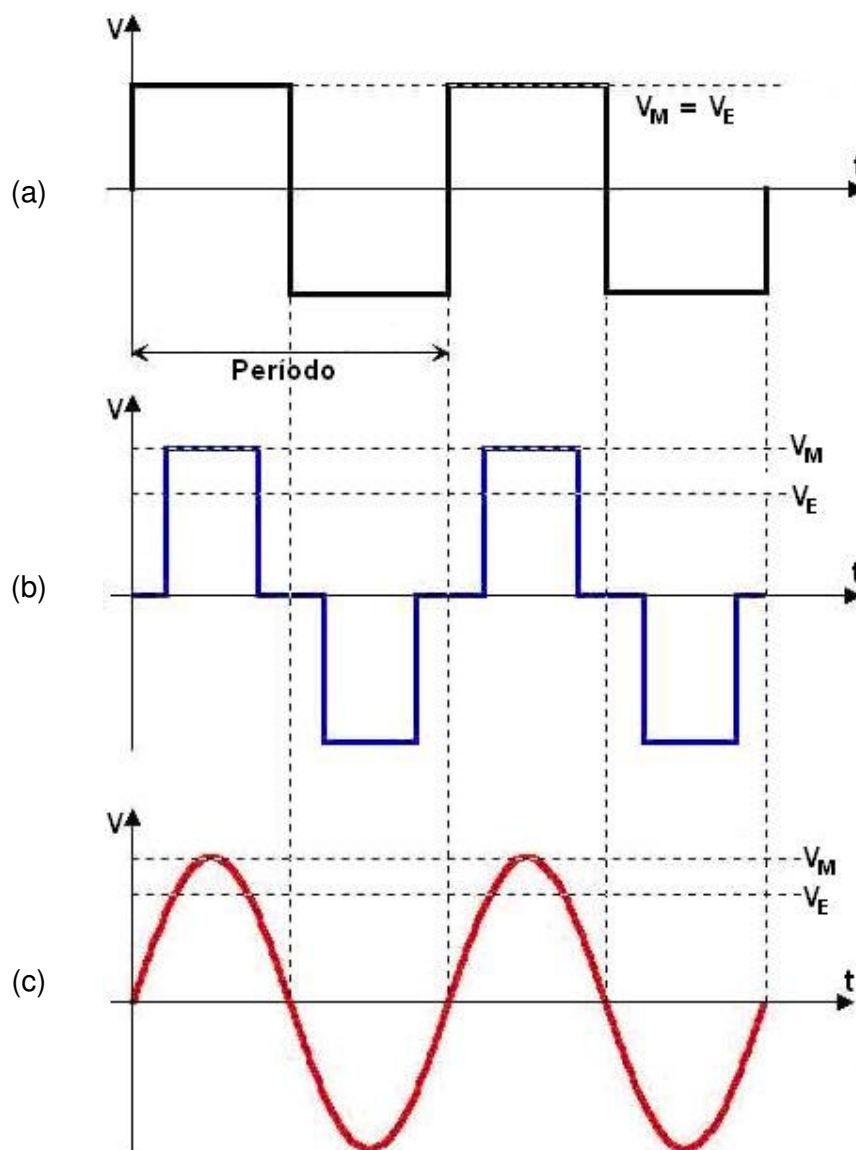


Figura 44: Tipos de onda de inversores. (a) Onda Quadrada. (b) Onda Senoidal Modificada ou Semi-Senoidal. (c) Onda Senoidal Pura. Fonte: Elaboração própria.

Pode-se utilizar um controlador de carga para cada fonte energética no SHEFI, mas a utilização ótima encontra-se quando é utilizado um único controlador para o sistema (BLASQUES, 2005). Controladores de carga ligados a SHEFI devem ser dimensionados de forma tal que permitam a passagem da corrente máxima especificada do arranjo fotovoltaico para o banco de baterias, assim como a corrente gerada pelo aerogerador que sendo alternada deve ser retificada para armazenamento no banco de baterias, sendo necessária a associação do controlador a um retificador.

5.3 ESTADO DA ARTE NO BRASIL

Mesmo considerando as vantagens, sistemas híbridos são pouco difundidos no Brasil. A opção para atendimento de comunidades isoladas ainda permanece aos geradores diesel e aplicações de Sistemas Individuais de Geração de Energia Elétrica com Fontes Intermitentes – SIGFI, regulamentados por lei (BRASIL, 2004 – RES. 063).

O maior número de sistemas híbridos instalados no Brasil se encontra no estado do Pará. O Grupo de Estudos e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas da Universidade do Pará – GEDAE/UFPA realizou a instalação de quatro sistemas híbridos no estado.

O sistema híbrido da vila de Joanes, no município de Salvaterra, ilha de Marajó, estado do Pará, foi o primeiro do tipo eólico – solar – diesel. O sistema foi concebido em 1994, mas só entrou em pleno funcionamento em 1997 atendendo as 170 unidades consumidoras da vila. Composto por quatro aerogeradores de 10 kW cada e sistema solar fotovoltaico de 10,2 kWp, entrega a energia gerada na rede pertencente ao sistema termelétrico de Salvaterra (UTE Salvaterra). O sistema opera preferencialmente de forma isolada, enquanto há geração suficiente proporcionada pelos aerogeradores e painéis fotovoltaicos. Quando há necessidade os sistemas (híbrido e UTE) são interligados, mas de forma manual (PINHO, et al., 2005). Do projeto participaram o Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL), das Centrais Elétricas do Pará (CELPA), da Universidade Federal do Pará (UFPA) e do Laboratório Americano de Energias Renováveis (NREL). Os equipamentos foram doados pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE).

O sistema híbrido da comunidade de Tamaruteua, município de Marapanim é do tipo eólico – solar – diesel. Composto de dois aerogeradores de 10 kW cada, sistema solar fotovoltaico de 1,92 kWp e grupo gerador a diesel de 30 kVA, foi instalado no ano de 1999. O sistema opera de forma isolada e entrega a energia gerada a uma mini-rede responsável pela distribuição as unidades consumidoras. A geração através das fontes renováveis de energia atende a carga de acordo com as condições do banco de baterias, para o caso das fontes renováveis não serem

suficientes elas são desconectadas e o grupo gerador diesel entra em operação, para atendimento da comunidade, esta operação é feita de forma manual (PINHO, et al., 2005). O sistema híbrido de Tamaruteua foi financiado pelo Programa do Trópico Úmido, do Ministério de Ciência e Tecnologia (PTU/MCT), projetado e executado pelo (GEDAE/UFPA) com cooperação do Grupo de Energia Eólica da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Este projeto contou com a participação da CELPA, Secretaria Executiva de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente do Pará (SECTAM) e do Instituto de Desenvolvimento Econômico-Social do Pará (IDESP). O sistema encontra-se inoperante, apenas o grupo gerador está em funcionamento. Atualmente está sendo revitalizado e expandido com recursos do Ministério de Minas e Energia (MME) (BLASQUES, 2005). A Figura 45 mostra os aerogeradores, o grupo gerador diesel e os equipamentos para revitalização e expansão do sistema.

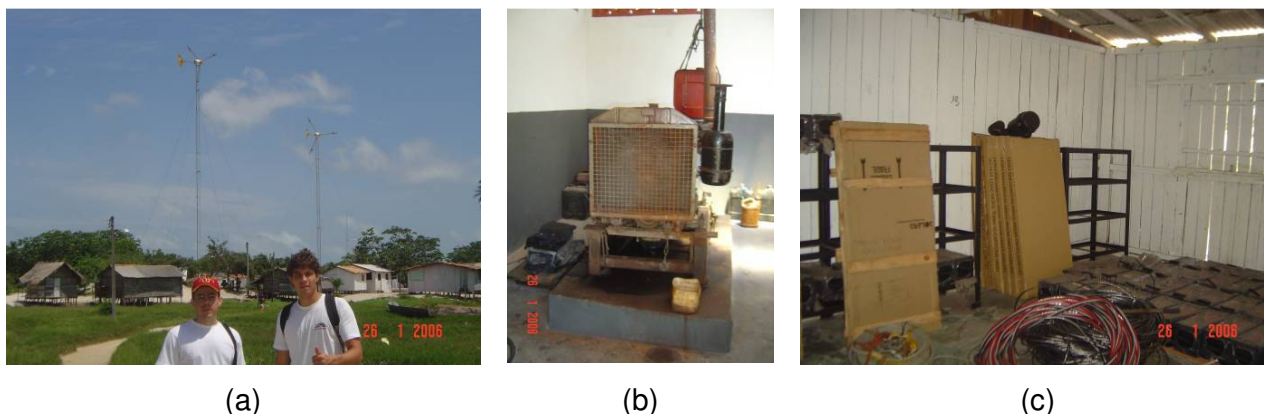


Figura 45: Sistema híbrido de Tamaruteua. (a) Aerogeradores, (b) Grupo gerador e (c) Equipamentos para revitalização e expansão do sistema. Fonte: Fotos realizadas durante visita do autor aos sistemas.

O sistema híbrido da comunidade de Praia Grande, município de Ponta de Pedras, Ilha do Marajó é do tipo eólico – diesel. Composto por um aerogerador de 10kW e 2 grupos geradores diesel de 7,5 kVA cada, foi instalado no ano de 1999. O sistema opera de forma isolada e entrega a energia gerada a uma mini – rede responsável pela distribuição as unidades consumidoras. O aerogerador, juntamente ao banco de baterias, atende a carga até que haja insuficiência de vento ou o banco de baterias esteja descarregado, nestes casos o grupo gerador diesel entra em operação para atendimento da carga até que o banco de baterias recupere sua carga original. A operação de troca do atendimento, se pelo aerogerador ou pelo grupo gerador diesel é feita de forma manual (PINHO, et al., 2005). O sistema

híbrido de Praia Grande também foi financiado pelo PTU/MCT. Foi projetado e executado pelo GEDAE/UFPA. Este projeto contou com a participação da CELPA, SECTAM e do IDESP (BLASQUES, 2005).

O sistema híbrido da vila de São Tomé, município de Maracanã, é do tipo eólico – solar – diesel. Composto por um aerogerador de 7,5kW, sistema solar fotovoltaico de 3,2 kWp e grupo gerador a diesel de 20 kVA, foi instalado no ano de 2003. A Figura 46 mostra o aerogerador, o grupo gerador diesel e os painéis fotovoltaicos. O sistema opera de forma isolada e entrega a energia gerada a uma mini-rede responsável pela distribuição as unidades consumidoras. O aerogerador e sistema fotovoltaico, juntamente ao banco de baterias, atende a carga até que haja insuficiência das fontes ou o banco de baterias esteja descarregado, nestes casos o grupo gerador diesel entra em operação para atendimento da carga até que o banco de baterias recupere sua carga original. A operação de troca do atendimento, se pelo aerogerador ou pelo grupo gerador diesel é feita de forma manual (PINHO, et al., 2005). O sistema híbrido de São Tomé foi financiado pela Petróleo Brasileiro S.A. (PETROBRAS) e da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP). Foi projetado e executado pelo GEDAE/UFPA. Este projeto contou com a participação da CELPA e da Agência Estadual de Regulação e Controle de Serviços Públicos do Pará (ARCON) (BLASQUES, 2005).

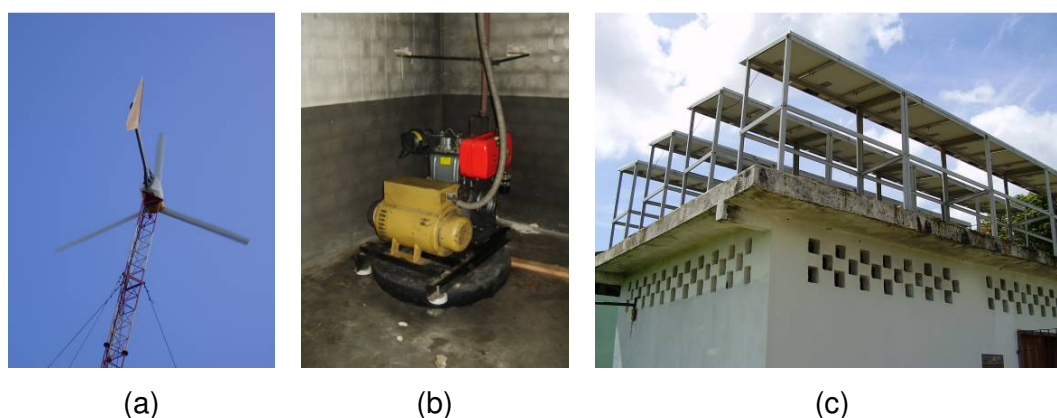


Figura 46: Sistema híbrido de São Tomé. (a) Aerogerador, (b) Grupo gerador e (c) Painéis Fotovoltaicos. Fonte: Fotos realizadas durante visita do autor aos sistemas.

O estado de Rondônia possui um sistema híbrido solar – diesel, considerado o maior deste tipo no Brasil. Instalado na comunidade de Araras, município de Nova

Mamoré é composto por um sistema solar fotovoltaico de 20,48 kWp e três grupos geradores diesel de 54 kW cada. O sistema híbrido de Araras foi financiado pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD). Foi projetado e executado pelo Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal de Santa Catarina (LABSOLAR/UFSC). Este projeto contou com a participação da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e da Fundação de Amparo a Pesquisa e Extensão Universitária da UFSC (FAPEU) (BLASQUES, 2005).

O estado de Pernambuco conta com o maior sistema híbrido, instalado no arquipélago de Fernando de Noronha. Composto por dois aerogeradores, o primeiro instalado no ano de 1992 com potência de 75 kW, e o segundo instalado no ano de 2001 com potência de 225 kW, para completar a geração a diesel já existente no arquipélago. O sistema híbrido de Fernando de Noronha teve seu primeiro aerogerador financiado pela Companhia de eletricidade de Pernambuco (CELPE) e implementado pelo Grupo de Energia eólica da UFPE, o segundo aerogerador financiado pela ANEEL sendo implementado pelo Centro Brasileiro de Energia Eólica (CBEE), com o suporte do *National Laboratory of Denmark* (RISO) (BLASQUES, 2005; SILVA; ROSA; ARAÚJO, 2004).

5.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As aplicações de sistemas híbridos utilizadas no Brasil diferem quanto à configuração das fontes e tamanho, e em sua grande maioria são resultado de pesquisa realizada em universidades. O Brasil não possui normatização no que diz respeito aos sistemas híbridos para geração de energia elétrica. Para contornar esta situação deve-se procurar compatibilizar os mecanismos regulatórios vigentes, que serão discutidos no capítulo 6, com a inclusão de sistemas híbridos com fontes intermitentes de energia, para o atendimento a localidades isoladas com o intuito de se aproveitar as vantagens desses sistemas.

6 PROJETO DO SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO – FOTOVOLTAICO

Por conta de limitações financeiras, pois o projeto é apoiado através de edital temático da Fundação de Amparo a Pesquisa do estado da Bahia (FAPESB) (Edital Temático/2004 – Meio Ambiente FAPESB / SECTI / SEMARH), provendo recursos financeiros para a compra dos equipamentos e infra-estrutura para a instalação dos mesmos, não é possível atender completamente a comunidade de Barra Velha I. Em seguida firmou-se uma parceria com a prefeitura de Nova Viçosa para o atendimento de uma carga de refrigeração e iluminação, pois a mesma construirá um bar, que atenderá a crescente demanda de turismo na região, e o meio de subsistência da maioria dos moradores é a pesca artesanal, como relatado no capítulo 2. Com refrigeradores instalados na região os moradores poderiam estocar os produtos da pesca para vender posteriormente, agregando valor ao produto, e o bar beneficiar-se-á para o atendimento aos visitantes da região. A iluminação servirá ao projeto para aumentar o conforto propiciado pelo sistema.

Os equipamentos foram selecionados de acordo com critérios de preço e nacionalização da tecnologia, nesta ordem. A quantidade de energia eólica e fotovoltaica foi estipulada de acordo com a capacidade de compra dada pela aprovação do edital temático da FAPESB (Edital Temático/2004 – Meio Ambiente FAPESB / SECTI / SEMARH). Como foi solicitado, pela prefeitura de Nova Viçosa, o atendimento da carga de refrigeração e iluminação chegou-se ao equilíbrio de compra entre equipamentos, infraestrutura e transporte.

A proposta para o sistema híbrido G穆DE/UNIFACS conta com 1,7 kW de potência dos aerogeradores e 780 Wp de painéis solares, um inversor de 3 kW e banco de baterias composto de 26 baterias de 105 Ah/12V. O sistema ainda possui controladores de carga para os grupos solar e eólico. O controlador do aerogerador possui um retificador em sua saída. A seguir os equipamentos constituintes do sistema híbrido G穆DE/UNIFACS serão descritos mais detalhadamente.

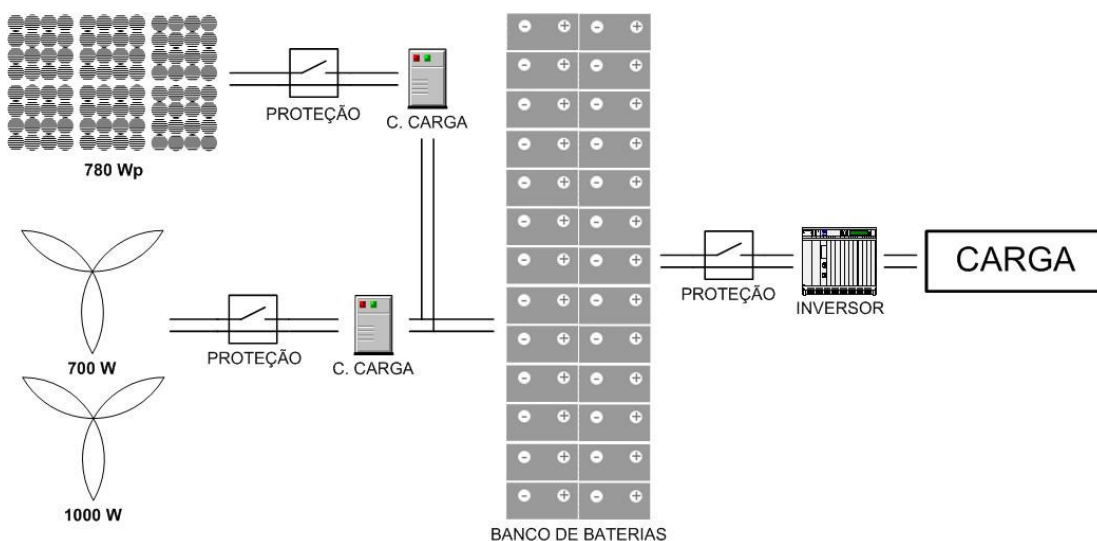


Figura 47: Esquema de ligação dos equipamentos do sistema híbrido GMUDE/UNIFACS. Fonte: Elaboração própria.

Por ser um protótipo para estudar a aplicação desta tecnologia incipiente no estado da Bahia optou-se por utilizar turbinas menores por algumas razões. Os custos de instalação e transporte dos componentes para o caso de turbinas de pequeno porte não requerem a utilização de guindaste, bem como caminhões e estradas em boas condições. A utilização de turbinas eólicas de pequeno porte em detrimento a uma única turbina de maior capacidade diminui o risco em caso de falha das máquinas, tais como falhas mecânicas, acidentes naturais, etc. Ainda neste quesito há uma menor flutuação na eletricidade de saída de um parque eólico composto de duas ou mais máquinas pequenas, pois as flutuações de vento raramente ocorrem simultaneamente, tendendo a cancelar-se. Referindo-se a paisagem, pequenos aerogeradores causam menor impacto visual.

Os melhores locais para instalação do projeto estão situados na chapada diamantina, como discutido no capítulo 4. Entretanto foi firmada a parceria com a prefeitura do município de Nova Viçosa para atender a comunidade de Barra Velha, uma vila de pescadores próxima a sede do município localizada na ilha de Cassumba. Na vila de Barra Velha não existe a disponibilidade de recursos energéticos sem a existência de obstáculos. As Figura 48 e Figura 49 demonstram a localização a ser utilizada para a instalação do SHEFI – UNIFACS através de imagem de satélite.

No mês de abril do ano de 2007 foi realizada uma visita ao local para estudar e selecionar o melhor local para a instalação do sistema de acordo com as necessidades locais e disponibilidade dos recursos energéticos escolhidos, conforme exposto no capítulo 3. Como pode ser vislumbrado na Figura o sistema será instalado nas coordenadas 17º 52,922' latitude Sul e 39º 18,011' longitude Oeste, bem próximo à praia e a trezentos metros do cais da vila de Barra Velha I.

Num primeiro momento serão apresentados os equipamentos a serem utilizados pelo sistema híbrido, em seguida será feita uma estimativa da geração de energia elétrica a partir das fontes do SHEFI para dimensionar a carga a ser atendida e o banco de baterias a ser utilizado, através de dados disponibilizados pela plataforma SUNDATA v1.0 do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (CRESESB) e do Atlas Eólico da Bahia da Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia (COELBA).

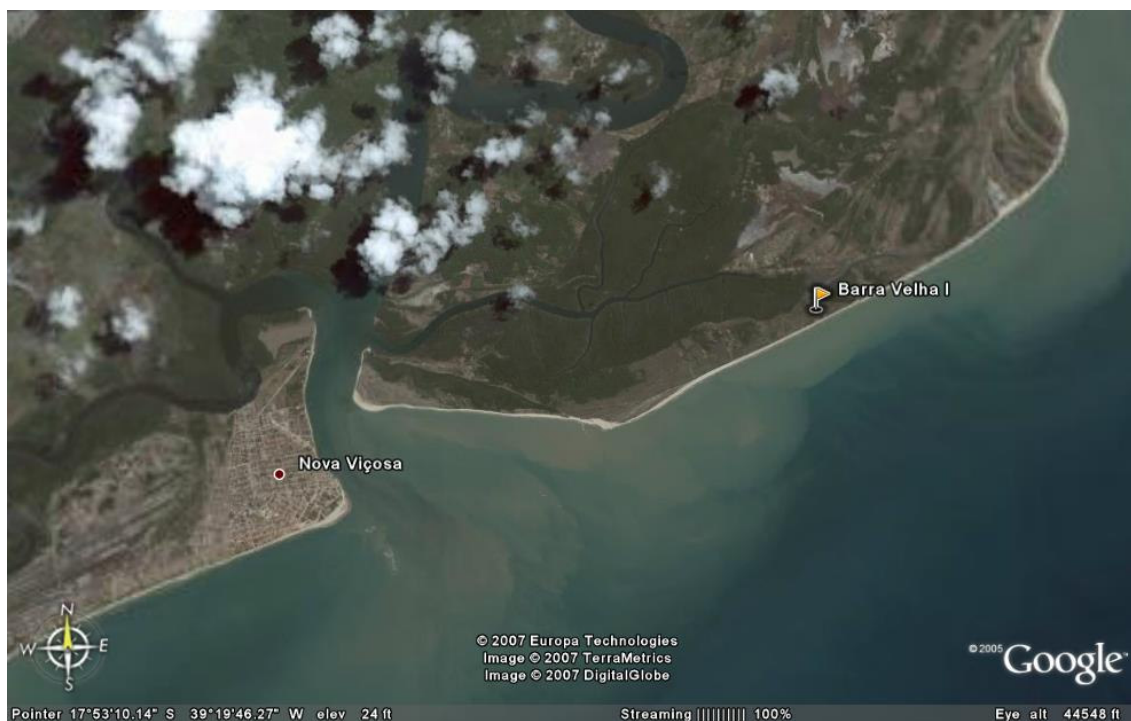


Figura 48: Localização por satélite da vila de Barra Velha I onde o SHEFI – UNIFACS será instalado. Fonte: Google Earth 2007.

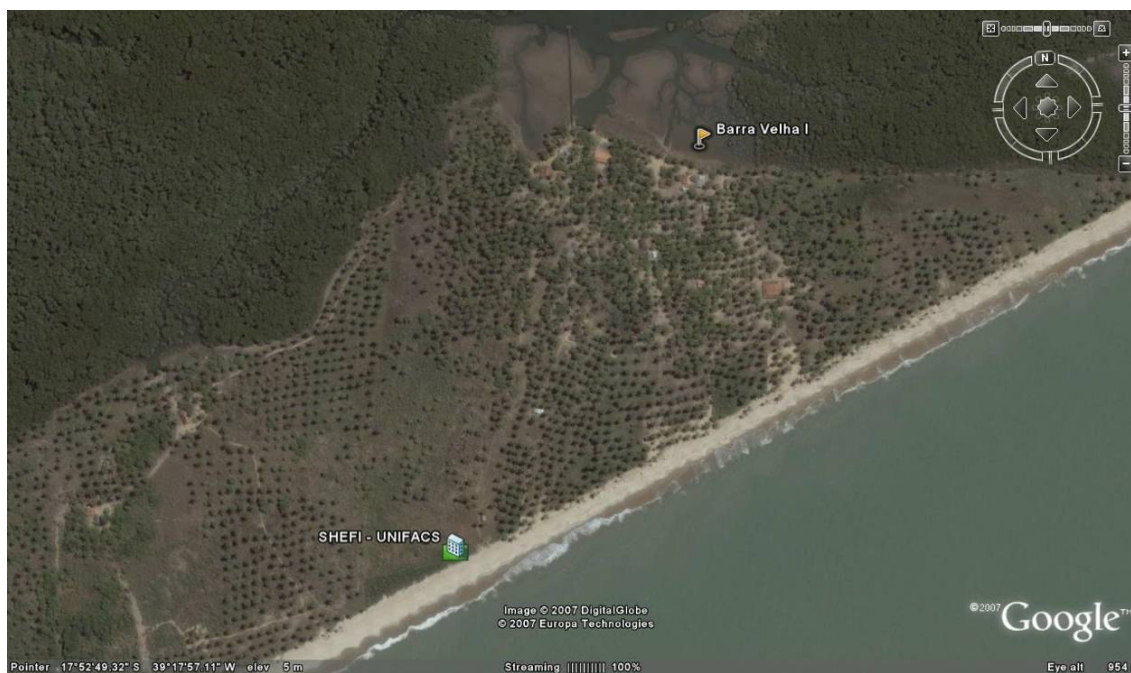


Figura 49: Localização exata onde o SHEFI - UNIFACS será instalado de acordo com coordenadas geográficas após visitação do local. Fonte: Google Earth 2007.

6.1 GERAÇÃO EÓLICA

As turbinas eólicas a serem utilizadas para aproveitar a energia proveniente dos ventos são os modelos GERAR 208 e GERAR 246, fabricadas pela Indústria e Solu es Energéticas Ltda (ENERSUD), empresa nacional, com sede na cidade do Rio de Janeiro. Os modelos diferem apenas no diâmetro percorrido pelas hélices e conseqüente potência nominal, sendo de 2,08 e 2,36 metros e 700 e 1000 W, respectivamente.

O rotor do GERAR é composto de três hélices feitas de fibra de vidro fixadas na carcaça do alternador, permitindo o ajuste do ângulo de ataque em fun o da velocidade do vento. As hélices têm formato torcido estreitando-se da base até as pontas visando possibilitar a partida com velocidades reduzidas. O alternador   do tipo axial com duplo rotor utilizando magnetos permanentes (gerador síncrono a imãs permanentes) feitos a base de neodímio, acoplado diretamente a hélices, não utilizando sistemas multiplicadores de velocidade (ENERSUD, 2005).

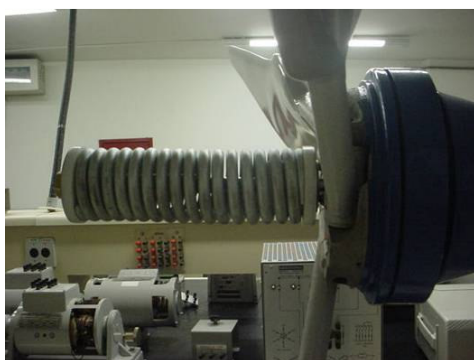
Os aerogeradores possuem um eixo central que serve para o acoplamento do tubo que serve, junto a outras partes, como torre de sustentação. Este eixo central possui rolamentos internos que permitem o giro completo de acordo com a direção do vento. Este alinhamento é efetuado pelo leme direcionador, feito em fibra de vidro, acoplado ao corpo do eixo central. Ainda no eixo central se encontram os três cabos por onde a corrente trifásica, fornecida pelo alternador, percorrerá até a base da torre, passando por dentro dos tubos, para ser acoplada ao controlador de carga e ao retificador trifásico (ENERSUD, 2005).



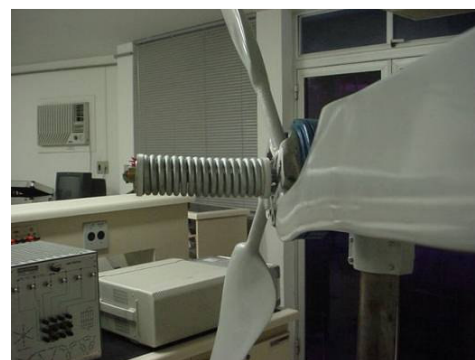
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 50: (a) Aerogenerador GERAR 208 montado no laboratório da UNIFACS. (b) Detalhe do eixo central que realiza a conexão entre o rotor e o leme, e o encaixe com os tubos de ferro que constituem a torre. (c) Detalhe do rotor da turbina e (d) Detalhe da curvatura das hélices, necessária para o controle *active stall*.

Os aerogeradores possuem velocidade de partida de 2,0 m/s e controle de velocidade do tipo “*Active Stall*” entrando em operação para velocidades acima de 20 m/s. Até a velocidade de 12,5 m/s as hélices estarão fixas maximizando o aproveitamento dos ventos, para velocidades acima de 12,5 m/s o sistema de controle é acionado mecanicamente, regulando a rotação do aerogerador, permitindo o aumento da rotação até a velocidade de 20 m/s, porém limitando a potência produzida ao valor nominal (P_n) pelo efeito do controle “*active stall*”. A partir daí a rotação é reduzida em dois terços, mesmo que a velocidade do vento continue a aumentar. Este sistema proporciona maior segurança para a máquina, evitando a quebra das hélices, diminuindo a necessidade de manutenção e o nível de ruído (ENERSUD, 2005). A Figura 51 mostra a curva de potência dos aerogeradores GERAR 208 e 246, para diversas velocidades de vento. No ANEXO 2 encontram-se outras informações técnicas a respeito do aerogerador, tais como diâmetro da hélice, velocidade de partida, potência nominal e máxima, material, peso, etc.

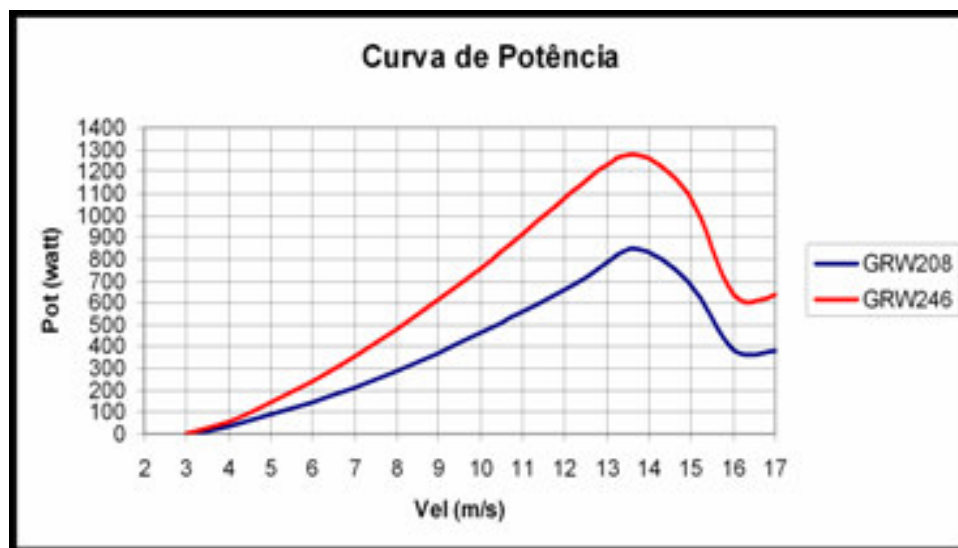


Figura 51: Curva de potência dos aerogeradores GERAR 208 e 246. Fonte: ENERSUD, 2007 (ENERSUD, 2005).

6.2 GERAÇÃO FOTOVOLTAICA

Para conversão da radiação solar em energia elétrica serão utilizados dois painéis fotovoltaicos modelo KC130, fabricado pela Kyocera. Cada painel possui

potência máxima de 130 Watts. Cada painel possui 1,425 metros de altura, 0,652 metros de largura, 0,052 metros de espessura e 12 quilos de peso.

Serão feitos três arranjos de dois painéis fotovoltaicos ligados em série, para obtenção da tensão de trabalho do sistema híbrido que é de 24 Volts, totalizando 780 Wp de potência. No ANEXO 2 encontram-se outras informações técnicas a respeito do painel fotovoltaico, tais como corrente de curto circuito, voltagem de circuito aberto, corrente e voltagem de máxima potência, etc.

6.3 ESTIMATIVA DA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA DO SHEFI - UNIFACS

Através dos dados de velocidade do vento disponibilizados pelo Atlas de energia Eólica, realizado pela COELBA em 2002 e dos dados de radiação solar disponível on-line, através da plataforma SUNDATA 1.0, no site do CRESESB, procurou-se estimar a quantidade média de energia diária de cada fonte, considerada no projeto.

O Atlas Eólico da Bahia disponibiliza a média anual de velocidade do vento ou a velocidade do vento por estação do ano. É importante ressaltar que os dados do Atlas Eólico da Bahia são disponibilizados através de figuras, sendo assim, os valores descritos são aproximados. Existe uma estação anemométrica instalada em Caravelas, próxima ao local de instalação do sistema em Barra Velha, Nova Viçosa. Pelo fato da estação anemométrica de Caravelas, pertencer ao Departamento de controle de espaço aéreo (DEPV), e não possuir o objetivo de coleta de dados para geração de energia, resolveu-se utilizar os dados anemométricos da estação de Costa Dourada, próxima à Nova Viçosa, sendo uma estação da COELBA, instalada para levantamento do potencial eólico da Bahia. A Tabela 24 exibe alguns dados da estação anemométrica de Caravelas.

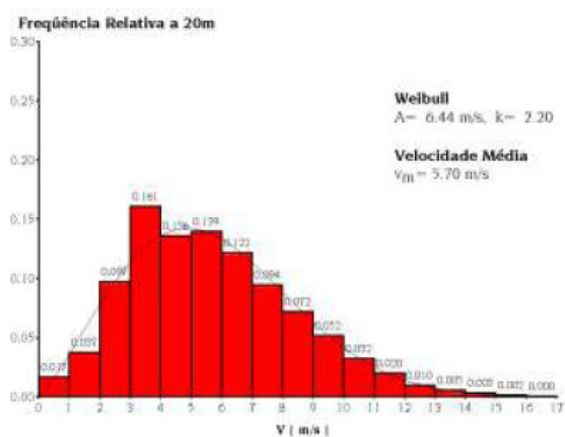
Tabela 24: Dados anemométricos da estação Caravelas – DEPV

LAT.	LONG.	ALT. (m)	PERÍODO DE OBSERVAÇÃO (anos)	VEL. MÉDIA (m/s)	VEL. MÁXIMA (m/s)	DIREÇÃO PREDOMINANTE
17°38'S	39°15'W	4.00	5	2.06	18.52	NE

Fonte: Rede Principal DEPV (INPE, 2005).

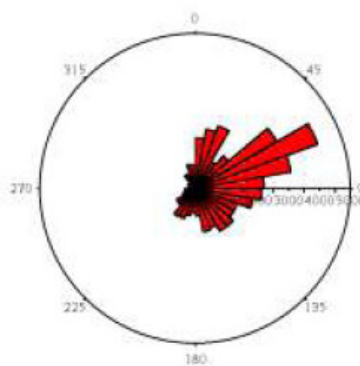
Através do mapa eólico da Bahia e para a estação anemométrica de Costa Dourada, obteve-se um valor médio para a velocidade do vento de 5,7 m/s, fator de *Weibull* de 2,2, rugosidade quase nula, por causa da proximidade com o mar, com direção predominante de Lés-nordeste – ENE. Os ventos possuem maior intensidade ao final do dia e nos últimos meses do ano. Estes dados podem ser verificados através da Figura 52.

Utilizando a distribuição de *Weibull* da figura 52 (a), e as características dos aerogeradores obtidos com o fabricante (Tabela 25), pôde-se calcular a energia média mensal gerada por cada aerogerador.



(a)

DIREÇÕES DE VENTO A 30m (em no. de ocorrências)



(b)

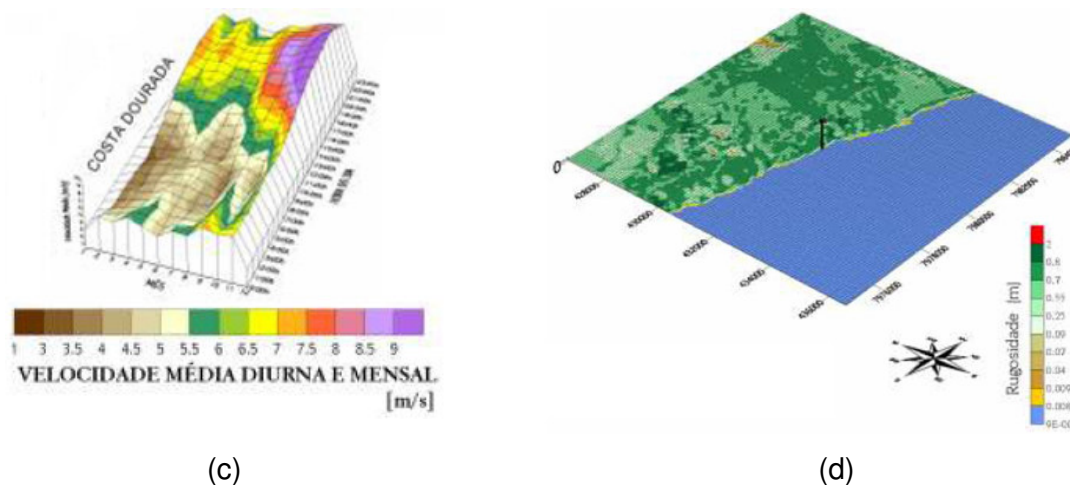


Figura 52: (a) Freqüência relativa para velocidade de ventos a 20 metros de altura. (b) Direções de vento predominantes. (c) Velocidade dos ventos em relação às horas do dia e meses do ano e (d) Quantificação em relação ao relevo local. Fonte: Atlas eólico da Bahia – COELBA.

Com a velocidade do vento e sua freqüência de ocorrência, a vinte metros de altura, e o valor de densidade do ar, ao nível do mar e 15° C, utilizou-se a equação 6, do capítulo 3, para calcular o potencial eólico por unidade de área, em W/m^2 . Multiplicando-se o resultado com a área varrida pelas hélices do aerogerador, e o coeficiente de eficiência de conversão para o aerogerador e o coeficiente de eficiência para o grupo gerador/transmissão obteve-se o valor médio mensal de geração de energia para os aerogeradores. As velocidades de 1 e 2 m/s não foram utilizadas dado que o aerogerador não produz eletricidade para essas velocidades. Os valores médios de energia elétrica podem ser vislumbrados na Tabela 26.

É importante esclarecer que o coeficiente de eficiência utilizado é uma média, dado que a eficiência do aerogerador varia de acordo com a velocidade do vento.

Tabela 25: Características dos aerogeradores GERAR da ENERSUD.

Área percorrida pelas hélices do ENERSUD - GERAR 246	4,76	m ²
Área percorrida pelas hélices do ENERSUD - GERAR 208	3,40	m ²
Eficiência de conversão dos aerogeradores	30	%
Eficiência gerador/transmissões mecânicas e elétricas	69	%

Fonte: Elaboração própria através de dados da ENERSUD.

Tabela 26: Energia média mensal gerada pelos aerogeradores GERAR 208 e 246.

Aerogeradores GERAR		208	246
Vel. Vento (m/s)	Freqüência	Energia (kWh/mês)	
1	0,019	-	-
2	0,039	-	-
3	0,09	0,754	1,054
4	0,161	3,196	4,471
5	0,136	5,273	7,376
6	0,139	9,313	13,027
7	0,122	12,980	18,156
8	0,094	14,929	20,882
9	0,072	16,281	22,773
10	0,052	16,130	22,562
11	0,03	12,386	17,325
12	0,02	10,720	14,995
13	0,01	6,815	9,532
14	0,005	4,256	5,953
15	0,003	3,141	4,393
16	0,002	2,541	3,554
17	0	0,000	0,000
Total mensal		118,71	166,05

Fonte: Elaboração própria a partir dos cálculos realizados.

Os valores encontrados para geração de energia elétrica pelos aerogeradores em questão podem ser comparados através de dados de geração disponibilizados pelo fabricante. A Figura 53 compara a produção média mensal de energia para médias anuais de vento. Considerando a média anual obtida através da freqüência de ventos mensurados na estação anemométrica de Costa Dourada, cujo valor é de 5,7 m/s a 20 metros de altura os valores calculados estão próximos aos definidos no gráfico da Figura 53.

Tabela 27: Densidade do ar – kg/m³ (ρ).

Nível do mar, 0° C	1,2929
Nível do mar, 15° C	1,2250

Fonte: (ROHATGI; NELSON,, 1994).

É importante ressaltar que a distribuição de *Weibull* utilizada reflete a freqüência das velocidades dos ventos durante o ano. O cálculo realizado para obter a energia média mensal utilizou essa distribuição, obtendo-se um valor aproximado, o que não reflete uma disparidade muito grande.

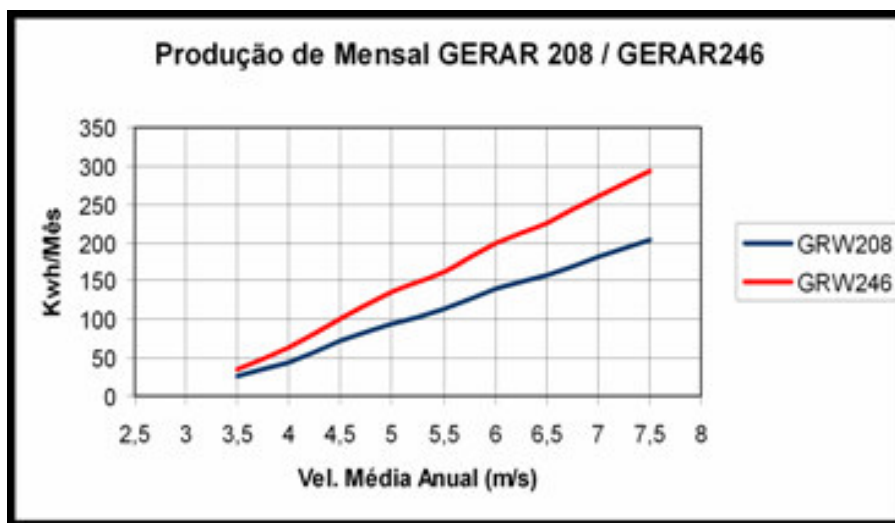


Figura 53: Geração mensal de energia dos aerogeradores 208/246. Fonte: ENERSUD 2007.

O CRESESB disponibiliza a radiação solar diária média para cada mês do ano. A Tabela 28 demonstra os dados coletados de radiação solar para a localidade de Caravelas, coordenadas 17.732°S e 39.266° W.

Tabela 28: Radiação Solar (kWh/m².dia)

MÊS	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Radiação	5,36	5,82	5,14	4,84	4,39	4,24	4,53	4,78	4,71	4,51	5,41	5,47

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do SUNDATA – CRESESB.

Dado que a radiação solar representa o acúmulo de energia por unidade de área, ao dia, efetuou-se a divisão deste dado com o padrão de irradiância solar na superfície da terra, cujo valor é de 1000 W/m², determinando-se a quantidade de horas de Sol pleno por dia, mostrados na Tabela 29. Em seguida multiplicou-se o resultado pela corrente elétrica de máxima potência do arranjo fotovoltaico especificado (três arranjos em paralelo obtêm-se 22,17 A) e pela tensão de máxima potência do arranjo fotovoltaico, (dois painéis em série obtêm-se 35,2 V), obtendo-se o valor diário de geração de energia para os painéis fotovoltaicos. Multiplicando-se este valor pela quantidade média de dias em um mês, obtêm-se a energia elétrica média mensal gerada. A Tabela 30 contém os valores calculados de estimativa de energia gerada em kWh por mês para o arranjo fotovoltaico.

Tabela 29: Quantidade de Horas de Sol Pleno – HSP.

MÊS	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
HSP	5,36	5,82	5,14	4,84	4,39	4,24	4,53	4,78	4,71	4,51	5,41	5,47

Fonte: Elaboração própria a partir dos cálculos efetuados.

Tabela 30: Energia média mensal gerada pelo arranjo fotovoltaico - kWh/mês.

MÊS	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
ENERGIA	125	136	120	113	103	99	106	112	110	106	127	128

Fonte: Elaboração própria através dos cálculos efetuados.

Para prever uma possível complementaridade entre a geração de energia dos recursos eólico e solar, estimou-se a energia gerada pelos aerogeradores mensalmente utilizando a curva fornecida pelo fabricante e as médias anuais de velocidade do vento para cada estação do ano encontrada no Atlas eólico do Bahia. A Tabela 31 ilustra os dados coletados para velocidade do vento coletado na respectiva fonte.

Tabela 31: Velocidade do vento para cada mês do ano na localidade de Barra Velha.

MÊS	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
50 metros	6,50	6,50	5,50	5,50	5,50	6,00	6,00	6,00	7,00	7,00	7,00	6,50
18 metros	5,87	5,87	4,97	4,97	4,97	5,42	5,42	5,42	6,32	6,32	6,32	5,87

Fonte: Atlas Eólico da Bahia – COELBA.

A velocidade de vento para os dezoito metros utilizados pelas torres dos aerogeradores foi calculada com o emprego da equação 15 e fator de rugosidade para terrenos sem vegetação, descritos no capítulo três. Para a estimativa da energia média mensal utilizou-se a Figura 53.

Tabela 32: Energia mensal gerada pelos aerogeradores – kWh/mês.

MÊS	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
GERAR 208	130	130	90	90	90	105	105	105	150	150	150	130
GERAR 246	180	180	130	130	130	150	150	150	210	210	210	180

Fonte: Elaboração própria a partir dos cálculos efetuados

De acordo com os cálculos, a complementaridade entre as fontes eólica e solar é percebida entre outubro e novembro, quando se percebe um acréscimo da energia gerada de uma fonte em detrimento da outra. Para verificação da

complementaridade estão sendo considerados o arranjo fotovoltaico com potência de 780 Wp e o aerogerador GERAR 208 com potência de 700 W a 12 m/s. A Figura 54 ilustra a complementaridade através de gráfico com os valores da energia estimada calculada, facilitando a visualização, cujos valores estão descritos nas Tabela 30 e Tabela 32.

Tabela 33: Total da energia média mensal gerada pelas fontes eólica e solar – kWh/mês

MÊS	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Total eólica	310	310	220	220	220	255	255	255	360	360	360	310
Arranjo KC130	125	136	120	113	103	99	106	112	110	106	127	128
Total Geral	435	446	340	333	323	354	361	367	470	466	487	438

Fonte: Elaboração própria através dos cálculos efetuados.

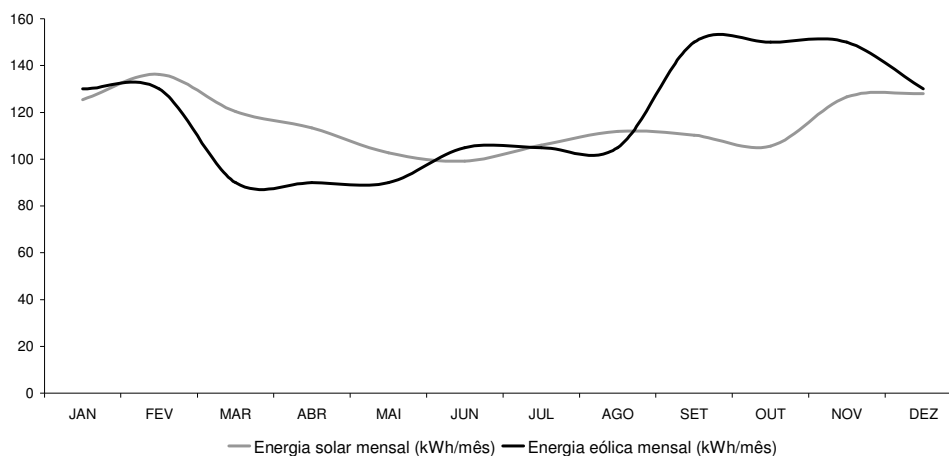


Figura 54: Complementaridade estimada para as fontes Eólica e Solar na localidade de Barra Velha – Bahia. Fonte: Elaboração própria a partir dos cálculos efetuados.

6.4 CARGA A SER ATENDIDA

Serão atendidas cargas para refrigeração, próximas ao local de instalação do sistema, na comunidade Barra Velha no município de Nova Viçosa. A carga a ser considerada é um freezer, com capacidade para armazenar 477 litros. A potência nominal do freezer é de 260 watts, em tensão de 220 volts. O modelo considerado para os cálculos foi o Electrolux H500 horizontal, cujo consumo mensal estimado pelo fabricante é 100 kWh/mês.

Valendo-se da pior média de energia média mensal estimada, sendo o mês de maio, cujo valor é 103 kWh/mês para energia solar e 220 kWh/mês para energia eólica, conclui-se que será possível atender apenas dois freezers através do sistema e quatro pontos de iluminação com lâmpadas fluorescentes compactas de 15 W, totalizando uma potência instalada de 580 *watts* e uma energia requerida de 210 kWh por mês. O cálculo da energia levou em consideração seis horas por dia de utilização da carga de iluminação e o consumo médio mensal de cada freezer descrito no parágrafo anterior. Será necessária a utilização de um sistema de armazenamento de energia, que será descrito a seguir, dada a intermitência das fontes energéticas utilizadas.

Dado a característica inerente aos motores, será necessário considerar a corrente de partida dos mesmos, refletindo na potência máxima a ser atendida instantaneamente pelo inversor. Considerando a quantidade de horas necessárias para o atendimento das cargas, a energia requerida para o sistema, mesmo considerando apenas dois freezers, será elevada. Ademais, a energia média mensal requerida pelo equipamento dependerá da utilização do mesmo, sendo a responsabilidade de quem o estiver manipulando. Para o cálculo do sistema de armazenamento foi considerada uma energia de 230 kWh/mês para dar uma folga de aproximadamente 10% aos cálculos realizados de consumo dos equipamentos.

6.5 SISTEMA DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA

Para o projeto do banco de baterias foi considerado um período de indisponibilidade das fontes de dois dias, ou seja, um período de 48 horas sem a geração de energia.

O número de baterias considerado no sistema de armazenamento foi calculado da seguinte maneira:

- a) Multiplicou-se a energia diária requerida pelo sistema ao número de dias de autonomia do sistema. Em seguida o resultado é dividido pelo fator de

eficiência do inversor, este fator está relacionado com a perda de energia na conversão do dispositivo. Foi utilizado um fator de eficiência para o inversor de 80%;

- b) Dividindo-se a energia total do sistema de armazenamento pela tensão de operação, cujo valor é 24 V, determina-se a quantidade de corrente elétrica requerida pelo sistema, no período especificado de 48 horas, medida em Ah. Deve-se dividir o valor encontrado pelo fator de profundidade de descarga das baterias, cujo valor é 30%. Este cálculo representa a quantidade total de energia do banco de baterias, quando a energia requerida pela carga durante o período de autonomia é 30%. Este fator interfere na vida útil das baterias, ou seja, quanto menor o índice utilizado, menor será a quantidade de ciclos de carga e descarga, maior será a vida útil do sistema de armazenamento;
- c) Finalmente divide-se o valor encontrado pela corrente nominal da bateria utilizada no sistema, que para o SHEFI – UNIFACS será de 105 Ah, obtendo-se a quantidade de baterias requerida pelo sistema.

O banco de baterias do sistema híbrido GMUDE/UNIFACS será composto por vinte e seis baterias do tipo estacionária. Optou-se por utilizar o modelo *12MC105* da marca *Moura*. Cada bateria possui tensão nominal de 12 V, sendo necessária a combinação de duas baterias em série e os treze grupos em paralelo, para resultar numa tensão nominal de 24 V, que será a tensão nominal do sistema. A Figura 55 demonstra o esquema de ligação do banco de baterias. No ANEXO 2 pode-se encontrar mais detalhadamente as especificações técnicas deste modelo de bateria, tais como temperatura de operação, peso, dimensões, etc.

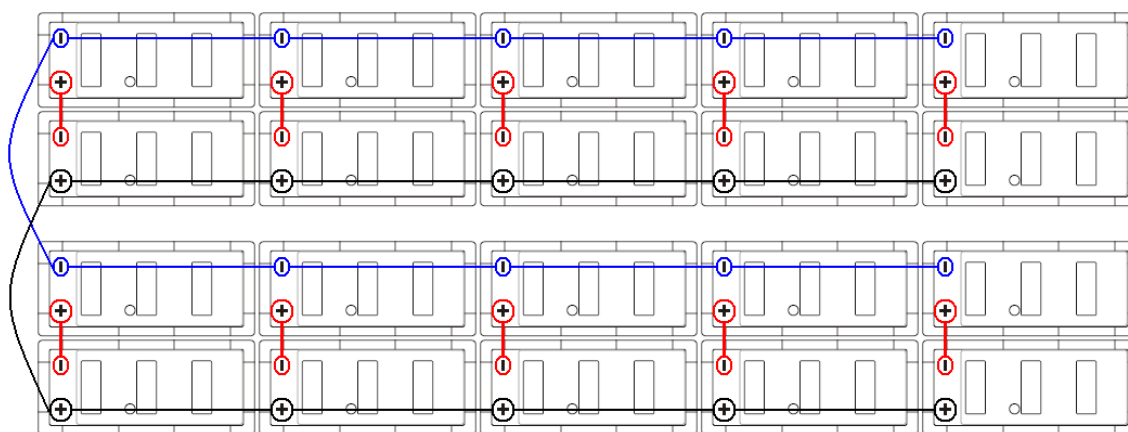


Figura 55: Esquema de ligação do banco de baterias para obtenção de 24V na saída. Elaboração própria.

Cada bateria possui 25,5 Kg, totalizando aproximadamente 663 Kg para todo o sistema. As baterias serão acomodadas em estantes de ferro galvanizado, para evitar a auto descarga ocasionado pela umidade do piso. A Figura 56 ilustra a estante projetada para o SHEFI – UNIFACS. No ANEXO 4 encontram-se as diversas vistas do projeto do suporte para baterias e suas dimensões. Para a modelagem do projeto foi utilizado o *SketchUp*, software de modelagem 3D desenvolvido pela Google.

Foi escolhido o modelo *Moura Clean 12MC105*, por conta de seus menores peso e dimensões em relação ao modelo 12MC150. Mesmo com um maior número de baterias, dado a menor capacidade de fornecimento de corrente elétrica, o preço e o peso final do banco de baterias ficou menor.

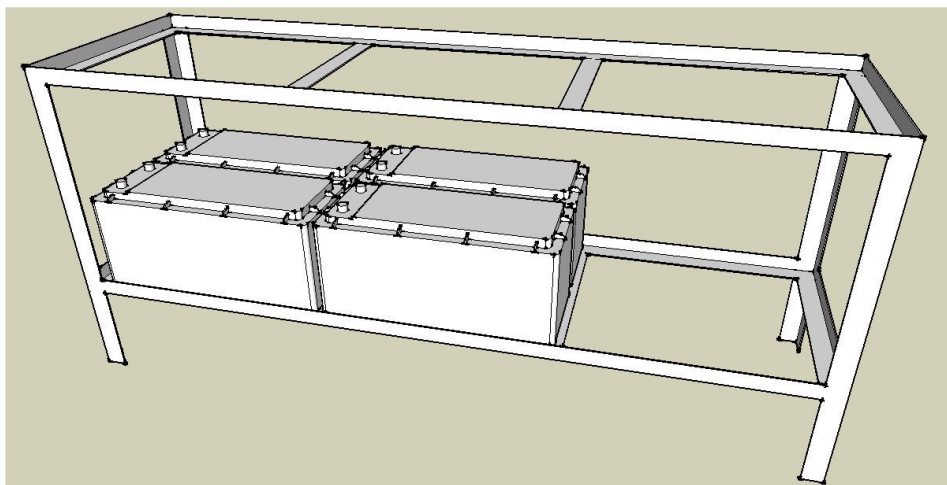


Figura 56: Esquema do suporte para o banco de baterias. Detalhe para o número de baterias inicial. Elaboração própria.

Entre cada prateleira e as baterias será acomodada uma placa de madeira para diminuir os riscos da condutividade do ferro galvanizado.

6.6 CONTROLADORES DE CARGA

A corrente alternada e trifásica, gerada pelos aerogeradores GERAR 208 e 246, varia extremamente de acordo com a velocidade do vento. Para utilização desta energia, em equipamentos de iluminação, eletrodomésticos, etc., é necessária a estabilização e acumulação da energia, realizado pelo controlador de carga específico para este fim. Este equipamento é responsável em transformar a energia proveniente do aerogerador, na forma contínua, num nível de 24 V, entregando esta energia ao sistema de armazenamento de energia. Cada aerogerador possui seu controlador de carga, que além de estabilizar e condicionar a energia proveniente do aerogerador monitora o carregamento e a descarga do banco de baterias (ENERSUD, 2005). Através do controlador pode-se aplicar o freio magnético, acionando-se uma chave no painel do controlador, que consiste em aplicar uma corrente elétrica em sentido contrário, proveniente do banco de baterias, e através da indução magnética dos rolamentos do gerador elétrico parar o aerogerador. Este recurso é utilizado para a manutenção do equipamento. A Figura 57 mostra o controlador de carga do GERAR 208 em detalhes.



(a) (b)

Figura 57: Controlador de carga GERAR 208. (a) Painel Frontal e (b) Destaque para a chave de acionamento do freio magnético na parte superior esquerda, nível de corrente elétrica e leds mostradores do nível de energia do banco de baterias.

Para o arranjo fotovoltaico será utilizado o controlador de carga ProStar – 30, fabricado pela Morningstar Corporation. Para especificação do controlador utilizou-se a corrente de máxima potência do arranjo fotovoltaico (22,17 A). O controlador ProStar – 30, suporta uma corrente elétrica nominal de até 30 A, para os módulos e para as cargas. Permite um excesso de 25% no valor da corrente nominal durante 5 minutos. O controlador ainda permite, através de microprocessamento, seleção automática de tensão do sistema, operando em 12 e 24 volts. A Figura 58 ilustra o painel frontal do controlador, onde pode-se verificar os bornes de conexão, leds indicadores, visor de cristal liquido e botão para ligamento ou desligamento instantâneo. As especificações técnicas mais detalhadas do controlador estão disponíveis no Anexo 4.



Figura 58: Controlador de carga do arranjo fotovoltaico. Painel frontal com indicadores de estado e bornes de contato. Fonte: Kyocera, 2007.

Os controladores de carga servirão para monitorar o carregamento do banco de baterias, para evitar a sobrecarga do mesmo prolongando sua vida útil. O inversor ficará responsável em entregar a energia e controlar a descarga do banco de baterias, especificado em 30%, evitando o descarregamento excessivo, fundamental para a vida útil das baterias.

6.7 INVERSOR

Será utilizado o inversor de tensão (CC/CA) ISOVERTER do fabricante *Isofotón*. Este inversor possui potência máxima de saída de 3000 *Watts* na forma de onda senoidal pura, tensão alternada de 220 V com frequência de 60 Hz (+/- 1%), com entrada CC de 24 V. Este inversor suporta uma potência de 6000 *watts* durante 3 segundos, 4000 *watts* durante 60 segundos e 3600 *watts* durante 10 minutos. O inversor foi escolhido de acordo com a forma de onda pretendida, potência de saída, rendimento, distorção harmônica, alarmes disponíveis e preço. A potência permitida pelo o inversor de 6000 watts, mesmo que durante 3 segundos será essencial para o acionamento dos compressores dos freezers, que no transitório de partida podem chegar a potências de até 10 vezes seu valor nominal. No ANEXO 4 encontra-se as informações técnicas a respeito do inversor.



Figura 59: Inversor 3 kW. A foto mostra os contatos para conexão com o banco de baterias e Painele de ligação com as cargas, chave liga – desliga e indicadores de estado do banco de baterias.

A forma de onda senoidal pura é a melhor opção para adequação das cargas a serem acionadas pelo sistema. Este tipo de inversor possui similaridade de tensão e frequência ao fornecido pela concessionária de energia do estado da Bahia, permitindo a utilização de equipamentos comercialmente encontrados (eletrodomésticos, lâmpadas, etc.), eliminando a necessidade de adaptação dos

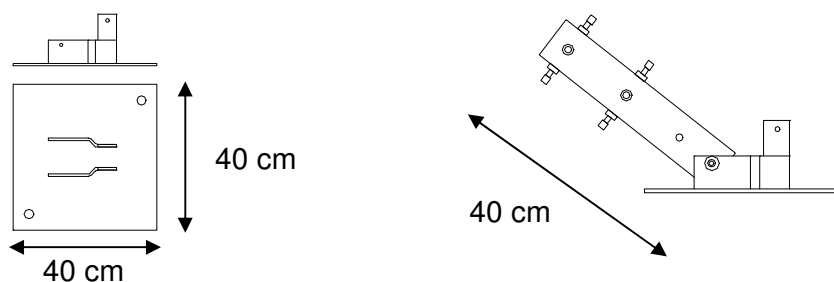
mesmos. O inversor deve ser ligado antes das cargas, para o carregamento de seus capacitores.

O inversor será alocado na casa de potência e controle, fixado na parede oposta ao banco de baterias para permitir a livre ventilação na parte traseira do mesmo. No painel frontal do inversor existe a indicação do nível de voltagem, do consumo de corrente, indicações de sobrecarga e temperatura do banco de baterias. A figura 59 ilustra os diversos painéis do inversor. As especificações técnicas mais detalhadas do inversor estão disponíveis no anexo 4.

6.8 INSTALAÇÃO

O sistema híbrido G穆DE/UNIFACS será instalado na comunidade de Barra Velha, no município de Nova Viçosa, no segundo semestre de 2008, respeitando o acordo a ser realizado entre a UNIFACS, a FAPESB, a prefeitura do município. O sistema ocupará uma área construída de doze metros quadrados e uma área de aproximadamente quatrocentos metros quadrados, ocupada pelos estais das torres de sustentação do aerogerador e equipamentos de medição. Neste momento é importante ressaltar que as torres a serem utilizadas pelo SHEFI – UNIFACS são do tipo ancorado, sendo a área utilizada pela torres, ocupada por cabos e pregões de ancoragem.

Para a instalação do aerogerador, serão utilizados os kits torre fornecidos pelo fabricante do aerogerador. Cada kit torre é composto de base, elemento articulado, anel para conexão dos tubos de ferro galvanizado, colar superior e pregões de ancoragem. A Figura 60 mostra cada elemento constituinte do kit torre.



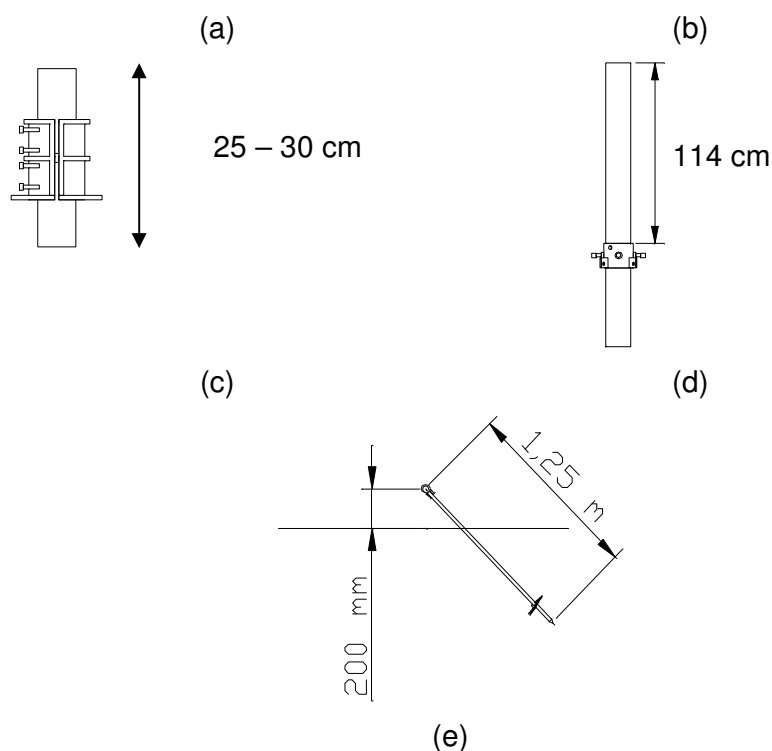


Figura 60: Elementos que compõem o kit torre. (a) Base, (b) Elemento articulado, (c) Anel de conexão dos tubos e (d) Colar superior e (e) Pregão de ancoragem. Fonte: (ENERSUD, 2005).

A base suporta o elemento articulado, a depender do terreno não se faz necessário a utilização de fundações. O elemento articulado, acoplado a base, permite o giro da torre da posição de montagem para a posição vertical. O anel para conexão dos tubos serve para unir duas peças de ferro galvanizado com seis metros cada e receber os cabos de aço dos estais intermediários. Para o sistema híbrido GMUDE/UNIFACS foi necessário a aquisição de outro anel de conexão para cada torre, pois optou-se por uma altura de dezoito metros, utilizando-se três tubos de ferro galvanizado de seis metros. O colar superior fixa os estais superiores. Existe uma distância que deve ser respeitada para que as hélices não se choquem com os estais, no caso da serie GERAR é o comprimento da hélice mais uma margem de segurança de dez centímetros. Os pregões de ancoragem são elementos de fixação no solo dos estais, possuem um metro e vinte e cinco centímetros de comprimento e um disco de vinte e cinco centímetros de diâmetro na ponta em formato de rosca para aplicações em alguns tipos de solo. Para solos duros, com detritos ou de areia fofa faz-se necessário a aplicação de blocos de concreto para adequação da ancoragem (ENERSUD, 2005).

Outros elementos devem ser adquiridos para complementar o kit torre de cada aerogerador. Estes elementos são descritos do Quadro 1.

8 tubos de ferro galvanizado de 2½ polegada (DIN 2440)
212 metros de cabos de aço inoxidáveis de 3/16 polegadas.
48 “clips” de 5/16 polegadas + 4 “clips” para elevação da torre
8 Manilhas de 5/16 polegadas
12 esticadores de 3/8 polegadas
6 blocos de concreto de 30 litros cada (terreno pouco resistente)
2 roldanas de 3 segmentos cada
1 ginpole (tubo de ferro galvanizado com 50 mm de diâmetro e 6 metros de comprimento)
Eletrodutos para passagens dos cabos até a casa de potência e controle.

Quadro 1: Elementos que complementam o kit torre da ENERSUD.
Fonte: (ENERSUD, 2005).

Cada torre utilizará uma área aproximada de duzentos metros quadrados, de acordo com o raio mínimo de oito metros utilizado pelos pregões de ancoragem. A Figura mostra detalhadamente a área ocupada pela torre do aerogerador. O aerogerador do sistema híbrido G穆DE/UNIFACS será instalado a dezoito metros de altura, é importante ressaltar que a Figura 61 (a) mostra a torre elevada a doze metros.

Para o cálculo da quantidade, em metros, de cabos de aço a serem utilizados pela torre, foi utilizada a fórmula de *baskara*, para cada triângulo formado pelos pontos de estaiamento da torre a seis, doze e dezessete metros respectivamente.

Os fios que conectarão os aerogeradores aos controladores de carga, condicionados na casa de potência e controle, passarão por dentro dos tubos de ferro galvanizado, que compõem a torre, e por dentro de eletrodutos subterrâneos que serão colocados no terreno, da base da torre de cada aerogerador até a casa de potência e controle.

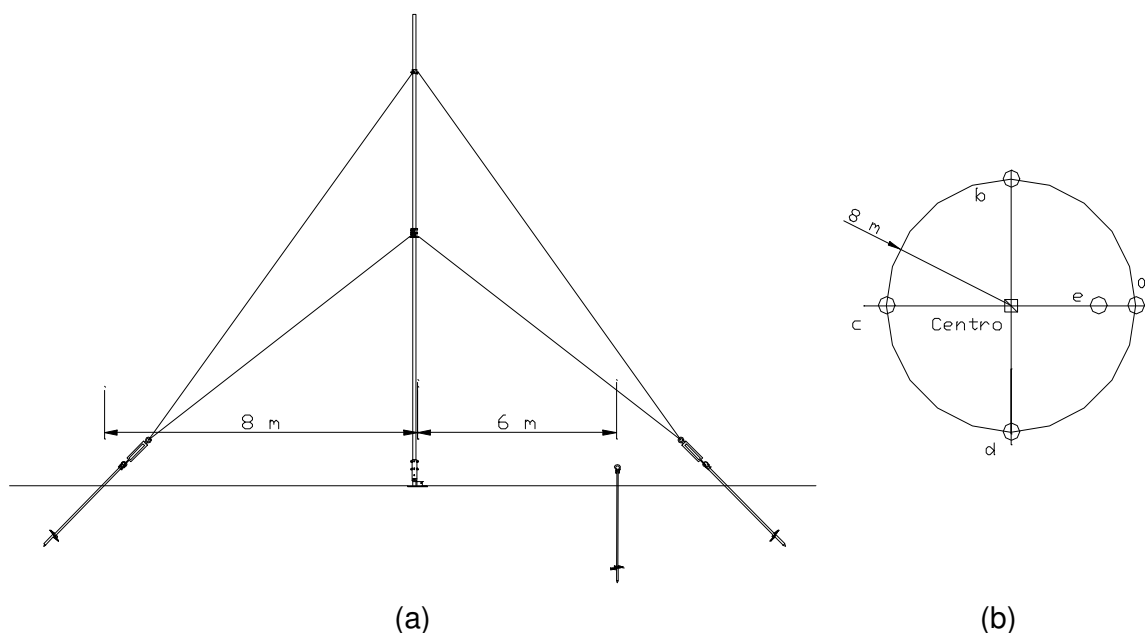


Figura 61: Dimensões da locação do aerogerador do sistema híbrido GMUDE / UNIFACS. (a) Distância dos pregões de ancoragem e (b) Vista superior. Fonte: (ENERSUD, 2005).

Para elevação da torre será utilizado o *ginpole*. O *ginpole* é um tubo auxiliar que corrige o ângulo de tração do cabo de elevação da torre, reduzindo o esforço. O *ginpole* é acoplado ao elemento articulado do kit torre, que neste caso deve possuir um diâmetro de cinquenta milímetros, especificado pelo fabricante. A Figura 62 mostra o esquema de utilização do *ginpole* e a forma de fixação dos cabos de aço para elevação da torre.

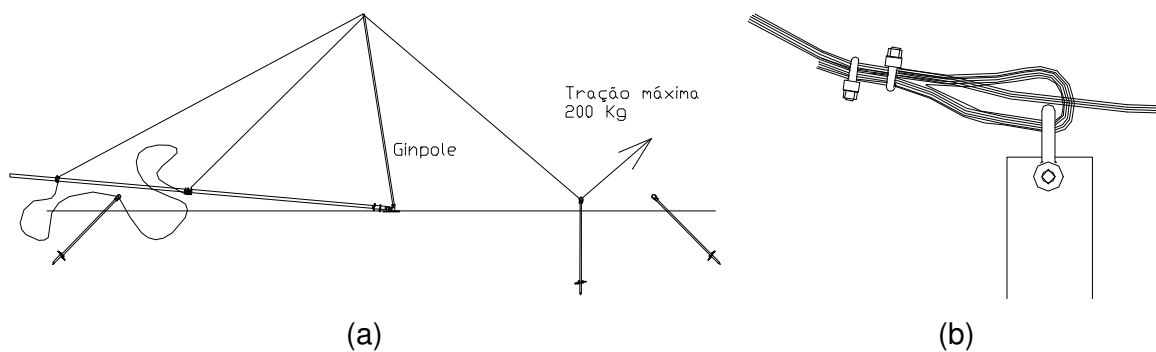


Figura 62: Esquema de elevação da torre. (a) Esquema ilustrando a utilização do *ginpole* e (b) Fixação dos cabos de aço para elevação da torre. Fonte: (ENERSUD, 2005).

Os painéis fotovoltaicos serão fixados no telhado da casa de potência e controle, que terá inclinação um inclinação de 17° , de acordo com a latitude da

região considerada, devendo-se ter cuidado para que não haja regiões de sombreamento ocasionado pela vegetação nativa ou alguma construção próxima.

A casa de potência e controle possuirá doze metros quadrados, sendo três metros de largura e quatro de comprimento. Na casa de potência e controle serão condicionados os equipamentos que necessitam de proteção contra luz direta do sol, da chuva ou umidade e poeira excessiva. Os equipamentos que serão condicionados na casa de potência e controle estão listados na Quadro 2.

Sistema de condicionamento de potência
Inversor
Controladores de carga
Chaves de proteção e segurança

Quadro 2: Equipamentos que serão alocados na casa de potência e controle.

Para ventilação a casa de potência e controle possuirá pequenos espaçamentos em sua estrutura (cobogó). A parte interna destes espaçamentos será coberta com tela de nylon para evitar a entrada de insetos ou animais de pequeno porte. A Figura 63 ilustra a casa de potência e controle. O Anexo 4 mostra as dimensões e detalhes da casa de potência e controle. Para a modelagem do projeto da casa de controle foi utilizado o SketchUp, software de modelagem 3D desenvolvido pela Google.



Figura 63: Esquema da casa de potência e controle. Vista para o sistema de ventilação passivo. Fonte: Elaboração própria.

Foi realizado o projeto elétrico da casa de controle e potência, conforme pode ser visto na Figura 64. No projeto elétrico previu-se duas tomadas para ligação dos freezers, 4 pontos de iluminação, sendo 2 internos e 2 externos, eletrodutos aparentes de $\frac{3}{4}$ polegada, caixas de passagem, painel de disjuntores e disjuntores. O Quadro 3 detalha a quantidade de cada material a ser utilizado na instalação elétrica da casa de controle e potência.

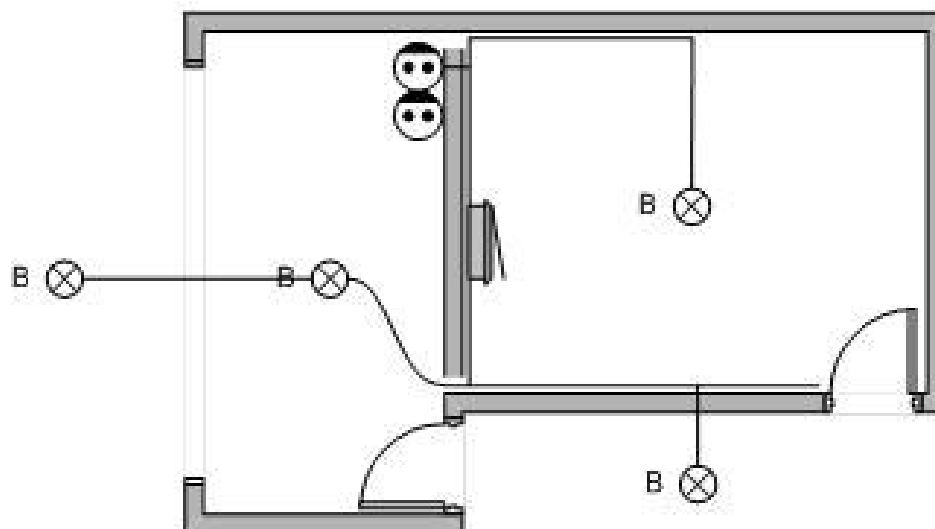


Figura 64: Planta baixa e esquema de instalações elétricas da casa de potência e controle.
Fonte: Elaboração própria.

Descrição do equipamento	Quantidade
Eletrodutos $\frac{3}{4}$	20 metros
Disjuntor 120 A	1 peça
Disjuntor 30 A	1 peça
Condutor seção nominal 6 mm ²	150 metros
Caixa de passagem	3 peças
Bocal para encaixe das lâmpadas	4 peças

Quadro 3: Equipamentos para a instalação elétrica do sistema híbrido.
Fonte: Elaboração própria.

No projeto elétrico não é ilustrado a conexão dos aerogeradores que será realizada mediante a passagem dos condutores através da torre tubular até sua base e a partir daí em eletrodutos até a casa de controle. Os condutores dos painéis solares passarão através de eletroduto que descerá do telhado para a sala de controle e potência pela parede norte.

7 FLEXIBILIZAÇÃO DO ARCABOUÇO REGULATÓRIO VIGENTE

7.1 ESTRUTURA POLÍTICA DE INCENTIVO AS RENOVÁVEIS

Neste capítulo serão discutidos os aspectos legais, sob a óptica dos índices de continuidade da energia, que permitam a inserção dos sistemas híbridos para geração de energia de forma isolada, através de mini – redes, de acordo com a flexibilização do arcabouço regulatório brasileiro vigente.

Para a utilização das energias renováveis a estrutura política é crucial. Ademais, os combustíveis fósseis não internalizam os custos ambientais relacionados à sua utilização. Mecanismos foram criados para facilitar a implantação das suas tecnologias. O mais conhecido no âmbito global é o Tratado de Quioto, que apesar de ter como objetivo primário a redução das emissões de gases de efeito estufa, de modo secundário culmina por incentivar as fontes alternativas de energia através da substituição da utilização do combustível fóssil por um em que não haja emissão de gases poluentes.

A comunidade europeia aprovou em 2001 a diretiva 2001/77/CE que, em seu artigo 3º, estabelece metas indicativas para as energias renováveis no consumo em 12% de energia e 22,1% de eletricidade de em 2010. A Figura ilustra a meta de cada país da União Europeia e o nível atual de penetração das renováveis. Essa tendência deve ser seguida por outras nações para que o mundo experimente os benefícios das energias renováveis. Mesmo os Estados Unidos e o Canadá, que não possuem obrigações de desenvolvimento para as energias renováveis, têm em alguns dos seus estados e províncias metas para essas fontes: 18% no primeiro e 3% no segundo.

A maioria das metas nacionais é para produção da eletricidade, com percentuais entre 5% e 30%. Outras metas são para fontes de energia primária, capacidades instaladas específicas ou de quantidades totais de produção de energia

renováveis, incluindo calor. A maioria das metas é especificada para o horizonte 2010 e 2012.

Dentre os países em desenvolvimento, alguns também apresentam metas para a introdução das fontes renováveis em suas matrizes energéticas, são eles: China, Brasil, República Dominicana, Egito, Índia, Malásia, Mali, Filipinas, África do Sul, e Tailândia. Por fim, há países em que não há a obrigação, mas há incentivos para a implementação das fontes renováveis, são eles: Austrália, Japão, Coreia do Sul, Noruega, Singapura, Israel e Suíça. No total, estima-se que 48 países já tenham implementado políticas de incentivo as energias renováveis, tendência que deve ser seguida por demais nações. A Tabela 34 resume as metas de diversos países que não fazem parte da comunidade europeia.

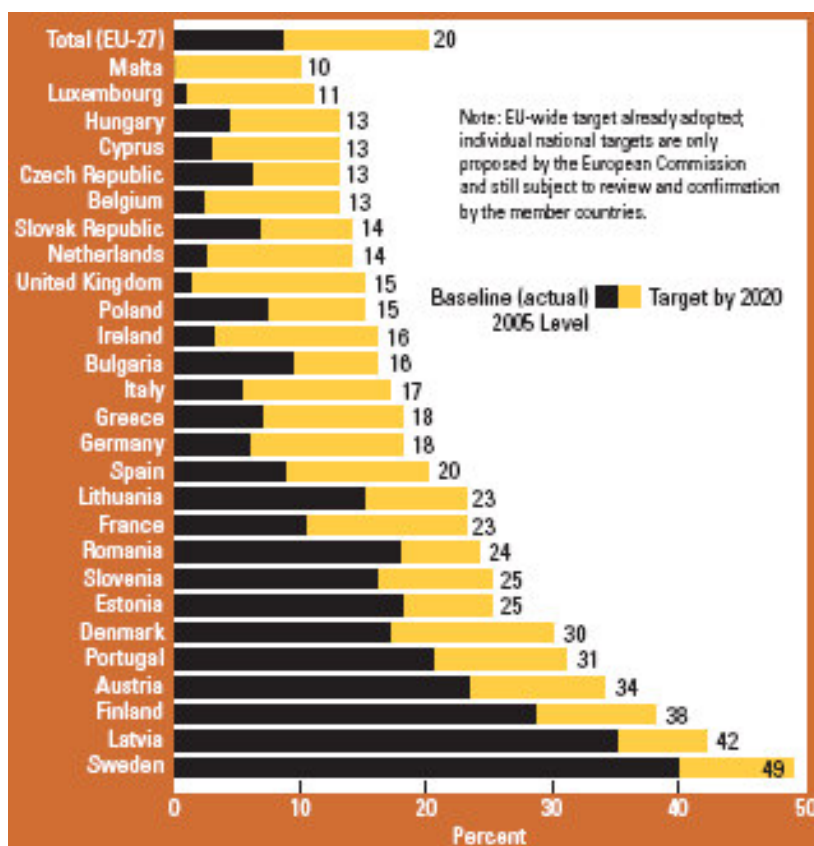


Figura 65: Porcentagem da eletricidade produzida nos países que compõem a União Europeia por volta de 2020. Metas da Fonte: (REN21, 2007).

No Brasil, pela potencialidade que detém o país, o incentivo às novas energias renováveis é quase inexistente. Ao se observar o arcabouço regulatório

nacional, podem ser encontrados poucos dispositivos que incentivam a utilização das fontes renováveis de energia, e eles se resumem no Programa Emergencial de Energia Eólica (PRÓEÓLICA), no Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) e no Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB).

Tabela 34: Países que não compõem a União Europeia com metas de energias renováveis.

Country	Target(s)
Australia	9.5 TWh of electricity annually by 2010 (RPS)
Brazil	3.3 GW added by 2006 from wind, biomass, small hydro
Canada	3.5% to 15% of electricity in 4 provinces (RPS); other types of targets in 5 provinces
China	300 GW hydro, 30 GW wind, 30 GW biomass, 1.8 GW PV, 300 million square meters solar hot water by 2020
Croatia	400 MW by 2010, excluding large hydropower
Dominican Republic	500 MW wind power capacity by 2015
India	10% of added electric power capacity during 2003–2012 (expected 10 GW). 10.5 GW total wind power existing by 2012; other long-term goals to 2032
Italy	3 GW of solar PV by 2016
Iran	500 MW of electricity output by 2010
Korea	1.3 GW of grid-connected solar PV by 2011, including 100,000 solar homes
Mexico	4 GW added by 2014
Morocco	1 GW wind power by 2012 and 400,000 square meters solar hot water added by 2015
New Zealand	30 PJ of added capacity (including heat and transport fuels) by 2012
Norway	7 TWh from heat and wind by 2010
Philippines	4.7 GW total existing capacity by 2013
Singapore	50,000 square meters (~35 MWth) solar hot water by 2012
South Africa	10 TWh added final energy by 2013
Switzerland	3.5 TWh from electricity and heat by 2010
Spain	500 MW solar power by 2010
Tunisia	500,000 square meters solar hot water by 2009 and 300 MW added wind by 2011
Turkey	2% of electricity from wind by 2010
Uganda	100 MW small hydro and 45 GW geothermal by 2017; other rural electricity and productive-uses targets
United States	5% to 30% (typical) of electricity in 26 states and District of Columbia (RPS)

Fonte: (REN21, 2007).

O PROEÓLICA, programa emergencial foi instituído em 05 de julho de 2001, através da Resolução nº. 24, da Câmara de Gestão da Crise Energética. O programa visava contratar inicialmente 1.050 MW em empreendimentos eólicos. Os empreendimentos, no âmbito deste programa, teriam contrato de compra garantido pela Eletrobrás, por quinze anos, e benefícios no valor de venda da energia nos dois primeiros anos para empreendimentos que iniciassem sua operação até dezembro do ano de 2002.

O PROINFA foi instituído pela Lei nº. 10.438, de 26 de abril de 2002, e foi revisado pela Lei nº. 10.762, de 11 de novembro de 2003. O programa estabelece,

em sua primeira fase, a contratação de 3.300 MW de eletricidade durante 20 anos, no âmbito do SIN, através de fontes alternativas, a saber: Hidroeletricidade considerando Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH), Biomassa e Energia Eólica. O montante a ser contratado deve ser dividido entre as fontes igualmente.

O PNPB, instituído pela Lei 11.097/05, determina a adição de biodiesel no óleo diesel em percentuais que variam até 5% conforme o horizonte do programa. Num primeiro momento, a mistura dos combustíveis é opcional. A partir de 2007, ela é obrigatória devendo ser adicionado 2% de biodiesel ao “petrodiesel” e, em 2013, este valor muda para 5% na mistura.

Os programas de aproveitamento das energias alternativas no Brasil têm um caráter de complementação sazonal ao parque energético do país, onde quase 90% da geração são provenientes de usinas hidrelétricas. Na região Nordeste ocorre com o regime de ventos, e no Sul e Sudeste, com a colheita de safras propícias à geração de eletricidade, sendo contrários aos períodos chuvosos em suas regiões.

Ainda se tratando do atendimento da demanda futura nacional de eletricidade, o Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica 2006-2015 indica, no seu programa de obra de geração termelétrica, a instalação de 10.486 MW em novos empreendimentos ou ampliações do atual parque gerador. Deste montante, tem-se que: 5.341 MW serão em usinas com gás natural (13 projetos), 969 MW de plantas com óleo diesel (2 projetos), 1.817 MW de usinas a biomassa (5 projetos), 1.050 MW (3 projetos) de plantas baseados em carvão mineral e 1.309 MW de nuclear (1 projeto). Ou seja, se por um lado buscou-se uma maior diversificação da matriz energética, aumentando a participação de projetos termelétricos na geração, por outro, baseou-se a expansão da matriz praticamente em combustíveis fósseis que aumentam a emissão de gases do efeito estufa.

Quando é observado o resultado do primeiro leilão da energia nova e as projeções do Plano Decenal, percebe-se que os combustíveis fósseis ganharam mais espaço na matriz energética nacional. Usinas termelétricas a gás natural, carvão e até mesmo óleo combustível e óleo diesel, cujo montante despachado no SIN diminuía desde 2002, foram contratadas e tem novos projetos de construção

previstos, apesar de que, quando tem a sua energia leiloada, as usinas baseadas em combustíveis fósseis não internalizam os custos ambientais provenientes da sua utilização.

Além do problema ambiental oriundo das emissões decorrentes da queima de combustíveis fósseis, há outros de origem política ou econômica. Os empreendimentos a base de óleo diesel são muito arriscados, considerando-se a atual incerteza de preços que paira sobre o petróleo. As recentes altas de preços por qual passou o combustível e a instabilidade política das principais regiões produtoras, servem pra agravar a viabilidade nestes empreendimentos.

Por fim, o gás natural, fonte correspondente à metade da nova capacidade termelétrica a ser instalada, vem atravessando problemas relacionados à instabilidade política boliviana e a falta de estrutura de distribuição do combustível. Por isto, os atrasos na construção de novos gasodutos, a exemplo do gasoduto Coari-Manaus, por conta dos embargos ambientais; a elevação do preço do gás boliviano em 285%, passando de US\$ 1,09 para US\$ 4,20 por milhão de BTU, e a política instável dos países exportadores de gás natural, acarretam em incerteza do abastecimento a novas usinas térmicas que utilizem esse combustível.

Ainda se tratando do Plano Decenal, em relação à expansão relacionada ao programa de expansão da geração hidrelétrica, os 31.144,5 MW previstos para implantação estão divididos em 84 projetos, dos quais um terço pertencem aos projetos relacionados ao complexo do Rio Madeira, em Rondônia, e Belo Monte, no Pará, e que possuem problemas associados as suas obras. O complexo hidrelétrico de Belo Monte, por exemplo, cujo projeto inicial é datado de mais de 20 anos, tinha como previsão instalar cinco usinas com um total de 19.466 MW de capacidade instalada. Mas, as dificuldades em conseguir o licenciamento ambiental para a execução da obra, situação corriqueira hoje em se tratando de grandes aproveitamentos hidrelétricos, reduziram o parque para uma única usina com uma potência instalada de 11.181,3 MW. As grandes plantas também enfrentam problemas associados à distância do aproveitamento em relação aos centros de carga. Praticamente é impossível, hoje, realizar obras de porte imenso fora da região norte. Com isso, grandes obras de transmissão são necessárias para transportar

esta energia para o Sistema Interligado Nacional (SIN), o que encarece o custo da eletricidade para os consumidores.

Desta forma, a segunda fase do PROINFA, que se caracteriza como o maior incentivo legal às energias renováveis desenvolvido pelo Brasil, está comprometida. A segunda etapa do PROINFA é prevista pela lei 10.438, de 26 de abril de 2002, que em seu artigo 3, inciso II, alínea a, regulamenta que 10% do consumo anual de energia elétrica no Brasil, em até 20 anos, desde que atingida a meta de 3.300 MW, definidos em sua primeira fase, deverão ser realizadas através das fontes alternativas consideradas pelo programa.

A vantagem das energias renováveis, além de preservar o ambiente, é o fato de poderem ser utilizadas para produzir energia em grande ou pequena escala e distribuir a produção em diversos locais, dependendo apenas da existência do insumo energético. Com isso existe a possibilidade de criar ilhas energéticas isoladas, em qualquer escala em praticamente todo lugar.

7.2 CARACTERÍSTICAS DA LEGISLAÇÃO DO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO E A UNIVERSALIZAÇÃO DOS SERVIÇOS DE ENERGIA ELÉTRICA

Uma grande parcela da população que reside em regiões isoladas dificilmente poderá vir a ser atendida pelo sistema convencional de distribuição, dado a inacessibilidade dos sistemas elétricos na região que habitam ou o volume de investimentos necessários assume valores que inviabilizam a execução dos projetos de distribuição de energia. As longas distâncias entre as comunidades, que por sua vez possuem baixa densidade demográfica e excessiva pobreza, e a existência de entraves ambientais somam-se às dificuldades técnicas e econômicas dos projetos, tais como: custo do atendimento, manutenção e operação do sistema. Ademais a legislação do setor elétrico foi elaborada para regular o sistema interligado nacional, que não abrange os sistemas isolados.

De acordo com a Constituição Brasileira de 1988, em seu Artigo 21, inciso XII, alínea b, os serviços de energia elétrica e o aproveitamento energético dos cursos das águas devem ser explorados pelo poder público, de forma direta ou mediante

autorização, concessão ou permissão. O Artigo 175 da mesma constituição redige que a prestação de serviços é responsabilidade do poder público, que pode ser realizado de forma direta ou sob concessão ou permissão.

Os princípios fundamentais para a prestação do serviço público de energia elétrica, tais como: universalidade, adequabilidade, impessoabilidade, adaptabilidade, continuidade, legalidade, publicidade e modicidade tarifária são repassadas para o concessionário, mas apenas a título de função, não transferindo sua competência (GRAU, 2002). A prestação do serviço público de energia elétrica através de permissão destina-se a regulamentar os casos em que a concessionária não cumpra plenamente com suas obrigações, principalmente o de universalização. As condições de prestação do serviço público através da permissão não poderão ser muito diferentes das ofertadas pelo modelo de concessão. Contrariamente a concessão, o regime de permissão terá um caráter precário, dado que suas cláusulas são definidas pelo poder concedente.

A autorização como regime de prestação do serviço público exclui a necessidade de contrato entre o poder público e particular, podendo ser utilizado em situações que as exigências decorrentes do regime de prestação do serviço público caracterizado pelo contrato de concessão não são alcançadas. A contratação desses serviços caracteriza uma relação de direito privado, sem a responsabilidade do Poder Público. De acordo com a possibilidade do regime da autorização permitido através do Artigo 21 da Constituição Federal, a Lei 9.074, de 7 de julho de 1995, introduziu dois agentes no arcabouço regulatório do setor elétrico: o Produtor Independente de Energia, em seu Artigo 11, e o Autoprodutor, definido no Decreto n° 2003, de 10 de setembro de 1996.

Como produtor independente de Energia Elétrica – PIE “*considera-se a pessoa jurídica ou empresas reunidas em consórcio que recebam concessão ou autorização do poder concedente, para produzir energia elétrica destinada ao comércio de toda ou parte da energia produzida, por sua conta e risco*”. O PIE poderá comercializar a energia de acordo com *regras de comercialização regulada ou livre, atendido ao disposto na legislação em vigor e no contrato de concessão ou no ato de autorização*. A energia poderá ser destinada a: Concessionário de serviço

público de energia elétrica; Consumidor de energia elétrica com carga igual ou maior que 10.000 KW, atendidos em tensão igual ou superior a 69 KV ou cuja carga seja igual ou maior que 3.000 KW, atendidos em qualquer tensão; Consumidores de energia elétrica integrantes de complexo industrial ou comercial, aos quais o produtor independente também forneça vapor oriundo de processo de co-geração; Conjunto de consumidores de energia elétrica, independentemente de tensão e carga, nas condições previamente ajustadas com o concessionário local de distribuição; Qualquer consumidor que demonstre ao poder concedente não ter o concessionário local lhe assegurado o fornecimento no prazo de até cento e oitenta dias contado da respectiva solicitação. A nova redação das regras de comercialização do PIE foi estabelecida através do parágrafo único do Artigo 12 da Lei 10.848, de 15 de março de 2004.

Como Autoprodutor de Energia Elétrica *“considera-se a pessoa física ou jurídica ou empresas reunidas em consórcio que recebam concessão ou autorização para produzir energia elétrica destinada ao seu uso exclusivo”*, de acordo com o Decreto nº 2003, de 10 de setembro de 1996.

Dado que a prestação do serviço público de energia elétrica através da autorização dispensa contrato realizado entre o agente privado e o Poder Público, este regime poderia ser utilizado para o atendimento das necessidades de flexibilização em localidades isoladas, de acordo com a particularidade destas localidades já mencionadas. Ademais, a dependência do agente autorizado às regras de comercialização dispostas na Lei 9.074, de 7 de julho de 1995, o poder público poderia beneficiar-se da redução dos custos através do regime de autorização, em detrimento aos regimes de concessão e permissão.

As cooperativas de eletrificação rural, cuja operação está prevista no Artigo 23 da Lei 9.074, de 7 de julho de 1995 e regulamentada pela ANEEL através da Resolução nº 12, de 11 de janeiro de 2002, são os agentes que estão mais próximos da possibilidade de obter permissão de prestar o serviço público de energia elétrica. De acordo com o Artigo 15 da Lei 10.438, de 29 de abril de 2002, com redação dada pela Lei 10.762, de 11 de novembro de 2003, existe a possibilidade de licitar as áreas já concedidas a agentes de distribuição, com contratos que não contenham

cláusulas de exclusividade, para os propósitos da universalização do atendimento de energia elétrica.

O principal entrave para a prestação do serviço público de energia elétrica através dos regimes de concessão e permissão em localidades isoladas está em seu elevado custo, de implantação e manutenção, e baixo retorno do investimento. Essa situação leva a necessidade de prestar esse serviço, essencial e obrigatório, através de outros mecanismos legais, para também promover o avanço técnico nesta área. Dentro deste contexto o Produtor Independente de Energia – PIE, o Autoprodutor – AP e a Cooperativa de Eletrificação Rural, são agentes a serem considerados como prestadores do serviço público de energia elétrica para comunidades rurais isoladas no âmbito do Programa Luz para Todos.

7.3 MINI – REDES COMO OPÇÃO DE ATENDIMENTO PARA OS SISTEMAS ISOLADOS.

As mini - redes podem ser consideradas como alternativa para o atendimento de comunidades, onde não é possível a extensão da rede elétrica convencional, por entraves técnicos, financeiros ou ambientais já apresentados anteriormente.

De acordo com características técnicas e operacionais do atendimento através de mini – redes, as concessionárias de energia elétrica não estão propensas a utilizar esta alternativa como opção de atendimento às comunidades isoladas. O primeiro entrave se dá pela dimensão das mini – redes, sendo difícil separar a geração e transmissão da distribuição de energia, dado que a distribuição é o objeto próprio da concessão. Outros entraves corroboram a posição das concessionárias em não utilizar essa opção de atendimento, a saber: a tarifa para as mini – redes não poderá ser a mesma praticada em sua área de concessão; a inserção de novos custos (aprendizado, administrativos e operacionais) dado a forma de atendimento das mini – redes ser diferente do adotado pelas concessionárias; o arcabouço regulatório vigente não flexibiliza os índices de qualidade do serviço para este tipo de atendimento.

Poder-se-ia autorizar Produtores Independentes de Energia e Autoprodutores, ou ainda utilizar-se das Cooperativas de eletrificação rural, em regime de permissão, para explorar, através de mini – redes com geração própria, o serviço público de energia elétrica, garantindo a descentralização do atendimento das regiões isoladas.

7.4 REGULARIDADE E CONTINUIDADE DE ATENDIMENTO NO BRASIL

A Constituição Federal em seu Art. 3º estabelece os objetivos da República Federativa do Brasil. Constam na Carta Magna que essas metas são: a construção de uma sociedade livre, justa e solidária; a garantia do desenvolvimento nacional; a erradicação da pobreza e marginalização e redução das desigualdades sociais e regionais e a promoção do bem de todos sem preconceitos e discriminação. A Lei 10.438, de 26 de abril de 2002, ao dispor sobre a universalização do serviço público de energia elétrica e obrigar o atendimento dos consumidores eletricamente excluídos, regulamentou neste campo o que já era previsto na Constituição Federal.

A Constituição Federal, em seu Art. 175, ao dispor sobre a incumbência do Poder Público, diretamente ou via concessão ou permissão, no tocante a prestação de serviços públicos, diz que, no ato legislativo específico, haverá exposto a obrigatoriedade de manutenção do serviço adequado por parte do prestador.

A Lei 8.987, de 13 de fevereiro de 1995, trata do regime de concessão e permissão da prestação de serviços públicos. Em seu Art. 6º, § 1º, a Lei dispõe que, dentre outros aspectos, a adequabilidade do serviço é garantida ao se satisfazer as condições de regularidade e continuidade na sua prestação. Porém, não se define no artigo o que seriam esses dois conceitos.

A partir das leis supracitadas observou-se uma mudança na forma como os programas de eletrificação rural aconteciam. O foco de assistencialismo que existia anteriormente foi substituído por outro com caráter de prestação de um serviço público e que, portanto, exigia a obediência de alguns padrões mínimos de qualidade de atendimento.

O desempenho das empresas distribuidoras referente à continuidade do serviço prestado de energia elétrica é medido com base em indicadores de qualidade sobre o conjunto de consumidores e individualmente, observando-se a duração e frequência da descontinuidade de atendimento, segundo Resolução ANEEL nº. 024, de 27 de janeiro de 2000 (BRASIL, 2000 – RES. 024), anterior a promulgação da Lei 10.438/02. Esta foi a primeira norma editada pelo órgão regulador visando o estabelecimento das disposições sobre a continuidade do serviço público de energia elétrica.

Os indicadores de qualidade tentam quantificar o desempenho do sistema elétrico, e assim, mensurar e avaliar a sua continuidade, permitindo a comparação com padrões de atendimento. Os indicadores instaurados pela Resolução 024 da ANEEL são: DEC, FEC, DIC, FIC e DMIC.

Os indicadores para o conjunto de consumidores são denominados DEC e FEC. O DEC (Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora) e o FEC (Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora) representam, respectivamente, o número de horas e a quantidade de vezes, em média, que um determinado conjunto de unidades consumidoras (residência, comércio, indústria etc) fica sem energia elétrica durante um período mensal. Estes indicadores dizem respeito ao conjunto de consumidores dentro da área de atuação da concessionária de energia elétrica, sendo calculados de acordo com a resolução e da apuração das interrupções que atingirem as unidades consumidoras. Por meio do DEC/FEC, que são indicadores gerais, é possível se verificar eventuais violações aos limites estabelecidos, violações essas que geram multas institucionais estabelecidas pela ANEEL.

Os indicadores individuais são denominados: DIC, FIC e DMIC. Os indicadores DIC (Duração de Interrupção por unidade Consumidora) e FIC (Frequência de Interrupção por Unidade Consumidora) representam, respectivamente, o número de horas e a quantidade de vezes em que uma unidade consumidora ficou sem energia elétrica, durante um período considerado. O DMIC (Duração Máxima de Interrupção por Unidade Consumidora) representa um indicador que limita o tempo máximo de cada interrupção ocorrida no período de um

mês impedindo que a concessionária deixe o consumidor sem energia elétrica durante um tempo muito longo.

A responsabilidade da apuração dos indicadores de continuidade é da concessionária, devendo ser feita mensalmente segundo a resolução normativa nº 024 da ANEEL. Na resolução os indicadores individuais (DIC e FIC) são relacionados de acordo com os indicadores para o conjunto de consumidores (DEC ou FEC), juntamente a tensão nominal e região de atendimento ao consumidor.

Por meio destes indicadores é que se torna possível verificar eventuais violações aos padrões de atendimento estabelecidos e, caso aconteçam, as concessionárias devem ser penalizadas conforme a Resolução 063, de 12 de maio de 2004, da ANEEL. Para ser considerada como interrupção no fornecimento, a descontinuidade deverá ser superior a três minutos, conforme Art. 5º da Resolução Aneel 024/2000. E o período de apuração desses indicadores é anual, para os coletivos, e mensal, trimestral e anual, para os individuais.

7.5 FLEXIBILIZAÇÃO DO ARCABOUÇO REGULATÓRIO VIGENTE PARA APROVEITAMENTO DE MINI – REDES ISOLADAS COM FONTES INTERMITENTES DE ENERGIA.

Uma opção de atendimento para a universalização dos serviços de energia elétrica é o fornecimento por intermédio de Sistemas Individuais de Geração de Energia Elétrica com Fontes Intermitentes (SIGFI), regulamentado pela resolução nº. 83 de 20 de setembro de 2004 (BRASIL, 2004 – RES. 083). Esta resolução trata do atendimento de uma única unidade consumidora através de fontes intermitentes de energia. A qualidade do fornecimento de energia elétrica, através de SIGFI, deverá ser avaliada por meio do indicador de continuidade individual, associados à duração das interrupções (DIC), conforme dispõe o art. 8º da Resolução. Em relação ao SIGFI, todas as interrupções devem ser consideradas, ao contrário do que acontece nos demais tipos de fornecimento de energia. O Quadro 4 mostra os valores de DIC considerando o atendimento através de Sistemas Individuais de Geração com Fonte Intermitentes – SIGFI.

INDICADOR	PADRÃO DE REFERÊNCIA (horas)
DIC mensal	216
DIC anual	648

Quadro 4: Padrões de DIC para o atendimento com SIGFI

Fonte: (BRASIL, 2004 – RES. 083).

Opções de atendimento para os excluídos energeticamente devem ser consideradas em detrimento a geração de eletricidade a partir de grandes usinas, centralizando a distribuição através de grandes redes.

Com a obrigatoriedade do atendimento a toda população sem acesso aos serviços de eletricidade, através de programas específicos, as concessionárias e permissionárias vêm buscando alternativas em relação à extensão da rede de distribuição, atividade inviável na maioria das vezes principalmente quando considerados aspectos técnicos e econômicos. Dentre os problemas enfrentados estão: a grande dispersão entre o conjunto de consumidores e as longas distâncias em relação ao ponto de conexão da rede de distribuição, custo de investimento elevado inversamente proporcional a taxa de retorno, dado o perfil de consumo da população a ser atendida.

Assim, a legislação atual cria duas situações: atender os consumidores durante todo o dia com a extensão de rede ou utilizam-se os SIGFI's. Ou seja, para atender as localidades isoladas, caso não seja possível cumprir os requisitos estipulados na resolução 024, devem ser utilizados os SIGFI's. Mas, visto que nem todos os locais permitem a utilização destes sistemas, o atendimento via mini-rede poderia ser uma alternativa. Entende-se por tais, o atendimento ao conjunto de consumidores em determinada área, com produção independente de eletricidade, e que não usufrui do sistema de distribuição nacional, cuja geração de eletricidade é baseada em grandes empreendimentos energéticos.

O caráter econômico das mini – redes de distribuição de eletricidade isoladas é alcançado quando são consideradas as fontes de energia locais, na maioria das vezes renováveis, promovendo o desenvolvimento sustentável, social e econômico, destas localidades. Diversas tecnologias estão agora disponíveis no mercado para converter fontes renováveis de energia em eletricidade – painéis fotovoltaicos, turbinas eólicas, co-geração usando biogás, geração através de biomassa, que

quando combinadas, proporcionam complementaridade, confiabilidade, qualidade e segurança no fornecimento de energia elétrica.

A obrigatoriedade do atendimento em 24 horas é um fator limitante para a utilização de fontes alternativas de energia elétrica para o atendimento dos sistemas isolados, principalmente quando consideradas as fontes intermitentes, o que caracteriza uma menor regularidade do atendimento.

Para disponibilizar a energia durante todo o dia, através de sistemas de geração isolados com fontes de energia, é necessário a utilização de sistemas de armazenamento para uma eventual indisponibilidade das fontes consideradas, onerando os custos de instalação e manutenção do sistema. No caso das fontes intermitentes, o armazenamento da energia é realizado pós-conversão energética, enquanto que, nos demais sistemas, o acúmulo acontece na forma de combustível.

De acordo com o Artigo 6º do Decreto nº. 4.873, de 11 de novembro de 2003, para a execução da universalização do serviço público de energia, dentre outras opções, é alternativa de atendimento à população-alvo os sistemas de geração com redes isoladas. Dada a utilização coletiva, do sistema gerador, devem ser criados novos indicadores coletivos de qualidade e de frequência de interrupções, de acordo com o desempenho dos sistemas instalados, retirados de relatórios estatísticos que obrigatoriamente devem existir. Com a experiência adquirida, dada a instalação dos sistemas individuais – SIGFI, as adaptações nos sistemas de coleta e envio das informações já terão sido realizadas. Os relatórios estatísticos servirão para o estabelecimento dos padrões de atendimento específicos, de cada concessionária.

O Artigo 11 da resolução 024 de 27 de janeiro de 2000 da ANEEL define que as concessionárias poderão propor novos critérios para o agrupamento das unidades consumidoras, possibilitando a formação de *clusters* com padrões de consumo e atendimento parecidos. Este novo agrupamento pode ser realizado desde que haja um histórico de, no mínimo, três anos de utilização do critério de agrupamento diferente do estabelecido na própria Resolução.

Poder-se-ia utilizar os padrões de atendimento definidos no Artigo 3, da Resolução nº. 83, de 20 de setembro de 2004, referentes às condições gerais de atendimento. Estas características serviriam para dimensionar a mini – rede de acordo com a quantidade de consumidores e a classe de atendimento. A Tabela 35 detalha as características dos sistemas individuais – SIGFI.

Tabela 35: Classificação e disponibilidade de atendimento para atendimento através de SIGFI.

Classes de Atendimento	Consumo diário de Referência (Wh/dia)	Autonomia mínima (dias)	Potência Mínima Disponibilizada (W)	Disponibilidade Mensal Garantida (kWh)
SIGFI13	435	2	250	13
SIGFI30	1000	2	500	30
SIGFI45	1500	2	700	45
SIGFI60	2000	2	1000	60
SIGFI80	2650	2	1250	80

Fonte: (BRASIL, 2004 – RES. 083).

No Artigo 2º, da referida resolução, são definidas os padrões de atendimento, sendo o Consumo Diário de Referência a “*quantidade de energia que o SIGFI é capaz de fornecer diariamente calculada a partir da Disponibilidade Mensal Garantida*”, sendo a Disponibilidade Mensal Garantida a “*quantidade mínima de energia que o SIGFI é capaz de fornecer, em qualquer mês, à unidade consumidora*” e a Potência Mínima Disponibilizada a “*potência mínima que o SIGFI deve disponibilizar, no ponto de entrega, para atender às instalações elétricas da unidade consumidora*”.

Como os SHEFIs possuem elevado custo de investimento, poder-se-ia requerer financiamento ou benefícios específicos disponibilizados pelo setor elétrico brasileiro, tais como:

- Conta de Desenvolvimento Energético – CDE. Criado pelo artigo 13º da Lei nº. 10.438, de 26 de abril de 2002;
- Conta de Consumo de Combustíveis Fósseis – CCC. Criado pelo artigo 13º, inciso III da Lei nº. 5.899, de 5 de julho de 1973, e;

- Reserva Global de Reversão – RGR. Criado pelas Lei nº. 5.655, de 20 de maio de 1971, artigo 4º, com a redação dada pela Lei nº. 9.427, no artigo 13º.

A CDE foi criada para promover o desenvolvimento energético dos Estados e a competitividade da energia produzida a partir de fontes eólica, pequenas centrais hidrelétricas, biomassa, gás natural e carvão mineral nacional, em áreas atendidas pelos sistemas interligados, promover a universalização do serviço de energia elétrica em todo o território nacional e garantir recursos para atendimento à subvenção econômica destinada à modicidade da tarifa de fornecimento de energia elétrica aos consumidores finais integrantes da Subclasse Residencial Baixa Renda.

De acordo com o parágrafo primeiro da lei nº. 10.438, com redação dada pela Lei nº. 10.848, de 15 de março de 2004, os recursos da CDE “são provenientes dos pagamentos anuais realizados a título de uso de bem público, das multas aplicadas pela ANEEL a concessionários, permissionários e autorizados e das quotas anuais pagas por todos os agentes que comercializem energia com consumidor final, mediante encargo tarifário, a ser incluído nas tarifas de uso dos sistemas de transmissão ou de distribuição”. O período de vigência da CDE é de vinte e cinco anos, tendo como ano base o ano de 2002, “sendo regulamentada pelo Poder Executivo e movimentada pela ELETROBRÁS” (artigo 6º, da Lei nº. 10.438).

Os recursos da CDE, dentre outras utilizações, destinam-se para a promoção da universalização do serviço de energia elétrica em todo o território nacional (Artigo 13º, inciso V, da Lei 10.438, acrescentado pela Lei nº 10.762, de 11 de novembro de 2003), principalmente os recursos provenientes do pagamento pelo uso de bem público e das multas impostas aos agentes do Setor, que são exclusivamente para este fim (Artigo 8º, inciso V, da Lei 10.438, acrescentado pela Lei nº 10.762, de 11 de novembro de 2003).

A RGR foi criada pela Lei nº. 5.655, de 20 de maio de 1971, "com a finalidade de prover recursos para reversão, encampação, expansão e melhoria dos serviços públicos de energia elétrica", de acordo com o artigo 4º da Lei. A cobrança da RGR prosseguirá até o ano de 2010, de acordo com o Artigo 8º, da Lei nº. 10.438, de 26

de abril de 2002, sendo a incidência da RGR aplicando-se apenas aos concessionários e permissionários, não atingindo, portanto, o Produtor Independente de Energia (PIE).

Os recursos da RGR são destinados inclusive à concessão de financiamento, mediante projetos específicos para instalações de produção a partir de fontes eólica, solar, biomassa e pequenas centrais hidroelétricas e implantação de centrais geradoras de potência até 5 MW, destinadas exclusivamente ao serviço público em comunidades populacionais atendidas por sistema elétrico isolado, dentre outros.

A CCC foi criada pelo art. 13, inciso III da Lei nº. 5.899, de 5 de julho de 1973, tendo como objetivo subsidiar a energia elétrica gerada nos sistemas isolados predominantemente térmica. A CCC é o encargo do setor elétrico brasileiro, cobrado nas tarifas de distribuição, dos consumidores situados nas regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste, e nas tarifas de uso dos sistemas elétricos de distribuição e transmissão – TUSD e TUST paga por todas as empresas concessionárias de distribuição e transmissão de energia elétrica. O montante anual é fixado pela ANEEL para cada empresa em função do seu mercado e da maior ou menor necessidade do uso das usinas termelétricas.

Considerando que comunidades isoladas são atendidas emergencialmente através de sistemas de geração diesel, principalmente na região amazônica, poder-se-ia requerer os benefícios do rateio da Conta de Consumo de Combustíveis Fósseis (CCC) para sistemas isolados utilizando SHEFI. As condições e os prazos para a sub-rogação dos benefícios do rateio da CCC aos projetos a serem estabelecidos em sistemas elétricos isolados em substituição à geração termelétrica que utilize derivados de petróleo ou que permitam a redução do dispêndio atual ou futuro da CCC são definidos pela resolução ANEEL, nº 146, de 14 de fevereiro de 2005. A referida resolução define que “a aplicação da sistemática de rateio CCC, para geração de energia elétrica será mantida até abril de 2022 exclusivamente nos sistemas elétricos isolados”.

Em seu Art. 2º a resolução estabelece quais os empreendimentos que poderão se beneficiar deste incentivo, no inciso II: “empreendimentos de geração de

energia elétrica a partir de fonte eólica, solar, biomassa ou gás natural e sistema de transmissão e/ou distribuição associado”. Tal medida é justificada pela compatibilidade com as características sócio-econômicas dos mercados a serem atendidos e induz formas de geração de energia elétrica que proporcionam melhor inserção ambiental e redução de custos.

8 CONCLUSÕES

As fontes de energias renováveis solar e eólica possuem avançado desenvolvimento tecnológico e comercial quando se trata de sistemas individuais, mas a composição de um sistema que integre essas duas fontes ainda não é largamente aplicada no Brasil. Pesquisas a respeito dos sistemas híbridos, como o presente trabalho, são importantes para consolidação destes tipos de sistemas.

As características particulares desses sistemas devem ser conhecidas, assim como suas vantagens e desvantagens, modelos de dimensionamento, regulamentação vigente, formas de instalação, estratégias de operação e comercialização, entre outros fatores. O presente trabalho conclui que sistemas híbridos eólico-solar são viáveis, com relação às características técnicas, principalmente quando há disponibilidade dos recursos renováveis em estudo (sol e vento), mais ainda quando comprovada a complementaridade entre as fontes.

Em relação ao arcabouço regulatório vigente o presente trabalho conclui que existe uma estrutura legal e regulatória que poderia ser flexibilizada, sob a qual o uso dos SHEFI pode ser utilizado para prestação do serviço público de energia elétrica. Poder-se-ia pleitear os benefícios do CCC, podendo se constituir num instrumento decisivo para tornar viável sua utilização, desde que o subsídio não seja linear, sendo escalonado dado à tecnologia utilizada.

Os padrões de atendimento individual, regulamentados através de SIGFI, poderiam ser aproveitados principalmente no que diz respeito às instalações nas unidades consumidoras. Não haveria problemas para as concessionárias que já adquiram experiência com a implantação de SIGFI. Entretanto seria necessária uma adequação do arcabouço regulatório vigente, para a inclusão das mini – redes no programa de universalização. Uma vantagem das mini – redes é a possibilidade de prover iluminação pública, o que não é permitido segundo os critérios da universalização do serviço público de energia atualmente.

O principal benefício da utilização de mini – redes seria a retirada do banco de baterias, controlador de carga e inversor de cada unidade consumidora, agregando segurança à instalação. A retirada dos controladores e inversores individualmente instalados poderia justificar em diversos aspectos (técnicos, econômicos, segurança) a instalação de mini – redes para a distribuição da eletricidade gerada pelo sistema híbrido aos consumidores.

A opção de atendimento através de mini – rede com SHEFI não deve ser considerada quando os consumidores estão demasiadamente dispersos pela região considerada, devendo-se avaliar caso a caso.

Deve-se levar em consideração a inserção de grupo gerador diesel para agregar robustez ao sistema, permitindo a utilização de cargas mais “pesadas”, tais como motores, geladeiras, etc., e o aumento natural da carga no sistema. Dentre as alterações introduzidas pela Lei nº. 10.762 ao programa de universalização do serviço público de energia, o aumento de carga é excluído da possibilidade de atendimento sem ônus pela concessionária. Sistemas totalmente automatizados devem ser considerados nestes casos, para que haja total controle das fontes geradoras, e manutenção dos indicadores de continuidade (DIC, FIC, DEC, FEC e DMIC) e da qualidade do serviço.

Os principais aspectos a serem considerados na regulamentação de SHEFI referem-se aos requisitos mínimos de qualidade do fornecimento, à classificação e cadastro das unidades consumidoras, à configuração básica do sistema, aos limites de consumo e potência disponibilizada, à medição, enquadramento tarifário e faturamento.

As energias renováveis caracterizam-se pela pequena taxa de retorno e a necessidade da economia de escala, determinando o retorno do investimento em longo prazo. Sistemas híbridos de energia podem diminuir o custo de investimento por consumidor, desde que observado um modelo de integração ótima entre as fontes. Na Bahia, as fontes eólica e solar encontram diversos locais favoráveis de utilização para geração de energia elétrica em grande escala. Experiências devem ser realizadas para situações de menor escala para o atendimento de consumidores

distantes da rede de distribuição de energia elétrica quando da utilização de tais recursos naturais.

A utilização da energia renovável pode ter um significativo impacto econômico para a população rural beneficiada com essa tecnologia. Observa-se ainda a redução de impactos ambientais, através da substituição da iluminação através de lâmpadas que são extremamente poluentes, por uma nova fonte de energia. Outro fator importante é a diminuição do desmatamento ocasionado na região para a construção de cercas. A utilização de energias renováveis pode fomentar a construção de cercas eletrificadas, excluindo a utilização da madeira localmente aproveitada. O acesso à eletricidade promove ainda a utilização de alguns meios de comunicação, tais como televisão e telefonia. Promover o acesso à educação quando tem acesso a aulas no turno noturno, com a iluminação, único período que os trabalhadores rurais podem frequentar as aulas.

A legislação nacional ao tratar da prestação do serviço público exige que a sua prestação atenda diversas características, inclusive a de regularidade e continuidade do atendimento, mas deixa em aberto o significado destes dois conceitos. A ANEEL, por sua vez, ao regulamentar o setor elétrico deixa a entender que o fornecimento de energia elétrica deve acontecer diariamente e por 24 horas, inclusive para os SIGFI's.

A utilização do padrão de consumo do PROCEL, que indica o tempo médio de utilização de cada aparelho, permite discutir a necessidade de atendimento em 24 horas de comunidades isoladas. A questão é quando essa energia deve estar disponível para os consumidores. Estes são fatores limitantes para sistemas de geração com fontes intermitentes de energia.

O sistema híbrido eólico – fotovoltaico, tema desta dissertação, por conta do impedimento legal discutido, não pode ser instalado como mini – rede, devendo ser instalado como carga individual. O sistema encaixa-se como um Sistema de Geração Individual com Fontes Intermitentes de energia – SIGFI, mas a inserção da fonte eólica de geração onera os custos de operação, tais como: aprendizado da nova tecnologia e logística de manutenção da nova tecnologia.

Como proposta de trabalhos futuros, sugere-se:

- a) testar o sistema híbrido montado com diferentes tipos de carga e regimes de utilização, também devendo-se testar inversores com diferentes formas de onda;
- b) a instalação de equipamentos para medição de velocidade, direção do vento, radiação solar direta e global, no local de operação, torna-se importante para comprovação da metodologia utilizada na determinação dessas grandezas utilizadas no projeto;
- c) a verificação dos padrões de operação e manutenção do sistema híbrido, aliado a estudos de comercialização da energia gerada para utilizações futuras deste tipo de sistema;
- d) a adoção de métodos de prognóstico do consumo, para que seja definido o comportamento da carga de forma pontual; e
- e) a consideração dos parâmetros de interligação destes sistemas à rede.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. 2ª edição. Brasília, 2005.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Informações Gerenciais. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=531&idPerfil=2> Acesso em: 21 fev. 2007

AUSTRALIAN WIND ENERGY ASSOCIATION. Disponível em: <http://www.auswea.com.au/auswea>. Acesso em: 03 mar. 2007.

AUSTRALIAN WIND ENERGY ASSOCIATION. **Wind Industry development project – Fact Sheets**. Disponível em: <http://www.auswea.com.au/WIDP/factsheets.htm>. Acesso em: 03 mar. 2007.

AMERICAN WIND ENERGY ASSOCIATION. **Wind Energy Teacher's Guide**. U.S. Department of Energy. American Wind Energy Association, 2003.

AMERICAN WIND ENERGY ASSOCIATION. **Facts about Wind Energy and Noise**. 2004.

AMERICAN WIND ENERGY ASSOCIATION. **Wind Web Tutorial. Wind Energy and the Environment**. Disponível em: http://www.awea.org/faq/wwt_environment.html. Acesso em 03 mar. 2007.

BELO Monte: Energia e polêmica na Amazônia. **Revista Ciência Hoje** – revista de divulgação científica da SBPC. Vol. 38, abril de 2006, p. 20 - 25.

BLASQUES, L. C. M. **Estudo da viabilidade técnico-econômica de sistemas híbridos para geração de eletricidade**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pará – UFPA. Belém, 2005.

BOSQUILHA, Alessandra; BOSQUILHA, Gláucia E. **Minimanual Compacto de ciências: Teoria e Prática**. 1 Edição. Editora RIDEEL, 2005. Capítulo 20, p. 236 – 257.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução 024, de 27 de janeiro de 2000. Estabelece as disposições relativas à continuidade da distribuição de energia elétrica nos seus aspectos de duração e frequência, a serem observadas pelas concessionárias e permissionárias de serviço público de energia elétrica às unidades consumidoras. **Diário Oficial (da) República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 28/01/2000 - Seção: 1, Volume: 138, Número: 20-E, Página: 23.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução 063, de 12 de maio de 2004. Aprova procedimentos para regular a imposição de penalidades aos concessionários, permissionários, autorizados e demais agentes de instalações e

serviços de energia elétrica, bem como às entidades responsáveis pela operação do sistema, pela comercialização de energia elétrica e pela gestão de recursos provenientes de encargos setoriais. **Diário Oficial (da) República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 13/05/2004 - Seção: 1, Volume: 141, Número: 91, Página: 73.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução 083, de 20 de setembro de 2004. Estabelece os procedimentos e as condições de fornecimento por intermédio de Sistemas Individuais de Geração de Energia Elétrica com Fontes Intermitentes - SIGFI. **Diário Oficial (da) República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 24/09/2004 - Seção: 1, Volume: 141, Número: 185, Página: 126.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução 223, de 29 de abril de 2003. Estabelece as condições gerais para elaboração dos Planos de Universalização de Energia Elétrica, visando ao atendimento de pedidos de fornecimento ou aumento de carga, regulamentando o disposto nos arts. 14 e 15 da Lei 10.438 de 26.04.2002, bem como fixa as responsabilidades das concessionárias e permissionárias de serviço público de distribuição de energia elétrica. **Diário Oficial (da) República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 30/04/2003 - Seção: 1, Volume: 140, Número: 82, Página: 154.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução 315, de 1º de outubro de 1998. Estabelece mudanças no mecanismo de reembolso previsto na sistemática da Conta de Consumo de Combustíveis Fósseis - CCC, para os Sistemas Isolados, de forma a ser considerado o atendimento 24 horas por dia. **Diário Oficial (da) República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 05/10/1998 - Seção: 1, Volume: 136, Número: 190-E, Página: 57.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução 456, de 29 de novembro de 2000. Estabelece as disposições atualizadas e consolidadas, relativas as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica, a serem observadas na prestação e utilização do serviço público de energia elétrica, tanto pelas concessionárias e permissionárias quanto pelos consumidores. **Diário Oficial (da) República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 30/11/2000 - Seção: 1, Volume: 138, Número: 230-E, Página: 35.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução n.º 246, de 30 de abril de 2002**. Estabelece as condições para enquadramento na subclasse residencial baixa renda da unidade consumidora com consumo mensal inferior a 80 kWh. Disponível em: < <http://www.aneel.gov.br/cedoc/bres2002246.pdf>>. Acesso em: 03 mar. 2007

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução n.º 485, de 29 de agosto de 2002**. Regulamenta o disposto no Decreto n.º 4.336, de 16 de agosto de 2002, que estabelece as diretrizes para classificação na Subclasse Residencial Baixa Renda de unidade consumidora com consumo mensal entre 80 e 220 kWh e dá outras providências. Disponível em: < <http://www.aneel.gov.br/cedoc/res2002485.pdf>>. Acesso em: 03 mar. 2007

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução normativa n.º 146, de 14 de fevereiro de 2005**. Estabelece as condições e os prazos para a sub-rogação dos

benefícios do rateio da Conta de Consumo de Combustíveis Fósseis – CCC, em favor de titulares de concessão ou autorização de empreendimentos que substituam derivados de petróleo ou que permitam a redução do dispêndio atual ou futuro da CCC nos sistemas elétricos isolados. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2005146.pdf>>. Acesso em: 03 mar. 2007

BRASIL. Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil: promulgada em 5 de outubro de 1988. Disponível em: <http://www.senado.gov.br/sf/legislacao/const/con1988/CON1988_05.10.1988/CON1988.pdf>. Acesso em: 03 mar. 2007.

BRASIL. Decreto 4.873, de 11 de novembro de 2002. Institui o Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica - Luz para Todos, e dá outras providências. **Diário Oficial (da) República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 12/11/2003 - Seção: 1, Volume: 140, Número: 220, Página: 130.

BRASIL. Lei 10.438, de 26 de abril de 2002. Dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial, recomposição tarifária extraordinária e universalização do Serviço Público de Energia Elétrica, cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica - PROINFA, a Conta de Desenvolvimento Energético - CDE, dá nova redação às Leis 9.427 de 26.12.1996, 9.648 de 27.05.1998, 3.890-A de 25.04.1961, 5.655 de 20.05.1971, 5.899 de 05.07.1973, 9.991 de 24.07.2000, prorroga o prazo para entrada em operação das Usinas enquadradas no Programa Prioritário de Termelétricidade e dá outras providências. **Diário Oficial (da) República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 29/04/2002 - Seção: 1, Volume: 139, Número: 81-A, Página: 1.

BRASIL. Lei 8.987, de 13 de fevereiro de 1995. Dispõe sobre o regime de concessão e permissão da prestação de serviços públicos previsto no art. 175 da Constituição Federal e dá outras providências. **Diário Oficial (da) República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 14/02/1995 - Seção: 1, Página: 1917.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Portaria Nº 447, de 31 de dezembro de 2004. **Programa Nacional de Universalização do Acesso E Uso Da Energia Elétrica – Luz Para Todos. Manual de Operacionalização, Revisão Nº 01.** Publicado no D.O de 05.01.2005, seção 1, p. 24, v. 142, n. 3.

CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. Grupo de trabalho de energia solar – GTES. **Manual de Engenharia para sistemas fotovoltaicos.** CEPEL – CRESESB. Edição Especial, PRC – PRODEEM 2004. Rio de Janeiro, agosto de 2004.

COMPANHIA DE ELETRICIDADE DO ESTADO DA BAHIA. **Estado da Bahia – Atlas do potencial eólico.** Salvador, 2002.

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO. **Energia Eólica Princípios e Aplicações.** 2004. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br>. Acesso em: 03 mar. 2007

DANISH WIND INDUSTRY ASSOCIATION. **Guided Tour on wind energy**. Disponível em: <http://www.windpower.org/en/tour.htm>. Acessado em 24 fev. 2006.

ELSEVIER. **REFOCUS WEEKLY (BRUSSELS, Belgium, March 1, 2006) – The International Renewable Energy Magazine**. Disponível em: http://www.refocus.net/ref_weekly/index.html#. Acesso em 02 mar 2006.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Consolidação Anual do Mercado de Energia Elétrica e da Economia de 2005. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/Lists/Mercado/DispForm.aspx?ID=9>. Acesso em: 11 jan. 2007.

ERICKSON, Wally et.al, 2001. **Synthesis and Comparison of Baseline Avian and Bat Use, Raptor Nesting and Mortality Information from Proposed and Existing Wind Developments**. Disponível em: http://www.bpa.gov/Power/pgc/wind/Avian_and_Bat_Study_12-2002.pdf. Acesso em: 03 mar.2007.

ESCALA de Beaufort. Wikipédia, a enciclopédia livre. Disponível em: http://pt.wikipedia.org/wiki/Escala_de_Beaufort. Acesso em: 24 jan. 2006.

EUROPEAN COMMISSION. **Universal Technical Standard For Solar Home Systems**, Thermie B SUP 995-96, EC-DGXVII, 1998.

EUROPEAN WIND ENERGY ASSOCIATION. **Delivering Offshore Wind Power in Europe. Policy recommendations for large-scale deployment of offshore wind power in europe by 2020**. Disponível em: http://www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/images/publications/offshore_report/ewea-offshore_report.pdf. Acesso em: 02 nov. 2007.

EUROPEAN WIND ENERGY ASSOCIATION. **Wind energy – The Facts – Volume 1: Technology**. Disponível em: http://www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/documents/publications/WETF/Facts_Volume_1.pdf. Acesso em: 28 fev. 2006.

FONTOURA, Patrick. **A Qualidade do fornecimento de energia elétrica por meio de sistemas fotovoltaicos no processo de universalização do atendimento na Bahia**. Dissertação de Mestrado. Salvador (BA): Universidade Salvador – UNIFACS, 2002.

FRAIDENRAICH, N.; LYRA, F. **Energia solar: Fundamentos e Tecnologias de Conversão Heliotermoelétrica e Fotovoltaica**. Pernambuco: Ed. Universitária da UFPE, 1995.

GARCÍA F. H. **Análise experimental e simulação de sistemas híbridos eólico – fotovoltaicos**. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – PROMEC / UFRS. Porto Alegre, 2004.

GASQUET, H. L. **Conversión de la Luz Solar en Energía Eléctrica**: manual teórico y práctico sobre los sistemas fotovoltaicos. Disponível em: <http://www.epsea.org/esp/energiaelectrica.html>. Acesso em 28 jan. 2005

GOLDEMBERG, J; LA ROVERE, E.; COELHO, S. **Expanding Access to Electricity in Brazil**. Disponível em: : <http://www.afrepren.org/project/gnesd/esdsi/brazil.pdf>. Acesso em 03 mar. 2007.

GORDON, J. **Solar Energy – The State of the Art**”, ISES Posítion Papers, James & James, 2001.

GOUVELLO, C.; MAIGNE, Y. Eletrificação Rural Descentralizada: Uma Oportunidade para a Humanidade, Técnicas para o Planeta. CRESESB – CEPEL, Rio de Janeiro, 2003.

GRAU, Eros Roberto. **A Ordem Econômica na Constituição de 1988**. Editora Malheiros Editores, 7ª Edição. São Paulo, 2002.

(GREENPEACE et all. **WINDFORCE 12**. Greenpeace, EWEA. 2005.

INDÚSTRIA E SOLUÇÕES ENERGÉTICAS LTDA. **ENERSUD Energia Limpa - Especificações técnicas do Aerogerador Gerar208 – 700W**. 2005. Disponível em: www.enersud.com.br. Acesso em: 03 mar. 2007

INDÚSTRIA E SOLUÇÕES ENERGÉTICAS LTDA. **Nota técnica – NT 28. Montagem de torre de 12 metros**. Enersud, 2005. p. 1-5 .

GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL. Latést News. US, China & Spain lead world wind power market in 2007. Disponível através da url: [http://www.gwec.net/index.php?id=30&no_cache=1&tx_ttnews\(tt_news\)=139&tx_ttnews\(backPid\)=4&cHash=6691aa654e](http://www.gwec.net/index.php?id=30&no_cache=1&tx_ttnews(tt_news)=139&tx_ttnews(backPid)=4&cHash=6691aa654e). Acesso em: 06 fev. 2008.

HERBERT, G. M. Joselin et al. **A review of wind energy technologies**. Renewable and Sustainable energy reviews. Elsevier, 2005.

HICKOK, F. **Handbook of Solar and Wind Energy**. Cahnern Publishing Company, Fourth Printing, 1975.

HONG KONG OBSERVATORY. **Wind**. Disponível em: http://www.hko.gov.hk/education/edu01met/wxobs/ele_winde.htm. Acesso em: 27 set. 2005

Pereira, Osvaldo Soliano; Carvalho, Kleber; Allatta, Eduardo. Análise comparativa da regulação internacional referente às energias renováveis, **Revista do Direito da Energia**, São Paulo, IBDE, 2004. p. 160.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais – SONDA**. Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br/sonda/index.html>. Acesso em: 02 mar. 2005

IOWA ENERGY CENTER. **Wind Energy Manual**. Disponível em: <http://www.energy.iastate.edu/renewable/wind/wem-index.html>. Acesso em: 04 dez. 2005

KYOCERA. **Especificações técnicas do Pannel solar KC120 – 120W**. Disponível em: www.kyocerasolar.com.br. Acesso em 02 jul 2007.

LENARDIC, Denis. **Large-Scale Photovoltaic Power Plants Cumulative and Annual Installed Power Output Capacity - Annual Report 2007**. Janeiro de 2008. Disponível em: <http://www.pvresources.com/download/AnnualReport2007.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2008

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Atlas do potencial eólico brasileiro**. Eletrobrás, Governo Federal, CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica, CRESEB. Brasília, 2001.

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL. Centro Brasileiro para Desenvolvimento da Energia Solar Fotovoltaica. **Energia Solar Fotovoltaica**. Disponível em: <http://www.pucrs.br/cbsolar/ntsolar/energia.php>. Acesso em 02 dez. 2007.

NYSTED HAVMØLLEPARK. **Nysted Wind farm, Denmark**. Disponível em: <http://uk.nystedhavmoellepark.dk>. Acesso em: 1 mar. 2006.

ONTARIO. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. **Electricity Generation Using Small Wind Turbines At Your Home Or Farm**. Disponível em: <http://www.omafra.gov.on.ca/english/engineer/facts/03-047.htm>. Acesso em 03 mar. 2007

PARTAIN, L. D. **Solar Cells and Their Applications**, John Wiley & Sons, 1995.

PEREIRA, O.L.S. Rural Electrification and Multiple Criteria Analysis: A Case Study of The Staté of Bahia, in Brazil. Londres, 1992.

PEREIRA, S. et all. **Implementação de mecanismos para regulação da qualidade de energia elétrica com sistemas fotovoltaicos**. Convênio: AGERBA – Termo Aditivo nº 21/02 – Relatórios I / II / III. Salvador (BA): Universidade Salvador – UNIFACS, 2003.

PINHO J. T. et all. **Situação da geração elétrica através de sistemas híbridos no estado do Pará e perspectivas frente à universalização da energia elétrica**. Grupo de Estudos e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas da Universidade Federal do Pará – GEDAE / UFPA, 2005

PINHO, J. T. e GALHARDO, M. A. B. **Análise do desempenho de inversores de pequeno porte com diferentes formas de onda**. Grupo de Estudos e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas (GEDAE) / Universidade Federal do Pará (UFPA), 2004

PINHO, J. T. e GALHARDO, M. A. B. **Avaliação da qualidade da energia fornecida por sistemas renováveis isolados de pequeno porte.** Grupo de Estudos e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas (GEDAE) / Universidade Federal do Pará (UFPA), 2005

PINHO, J. T. e GALHARDO, M. A. B. **Influência da forma de onda de alimentação sobre cargas não-lineares em sistemas de geração de pequeno porte.** Grupo de Estudos e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas (GEDAE) / Universidade Federal do Pará (UFPA), 2006

PINHO, J. T., GALHARDO, M. A. B.; BARBOSA C. F. de O. **Análise da qualidade de energia elétrica fornecida por um sistema híbrido de pequeno porte.** In: Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, 18., 2005 **Anais...** Curitiba, 2005.

PLANO DECENAL DE EXPANSÃO DO SETOR DE ENERGIA ELÉTRICA – PDEE. Período 2006 a 2015. Ministério de Minas e Energia, 2006.

PLANO de operação 2007 – Sistemas Isolados. GTON: Grupo Técnico Operacional da Região Norte – Atuação dos Sistemas Isolados. Disponível on-line através da url: http://www.eletrobras.com.br/EM_Atuação_SistIsolados/default.asp. Acesso em: 20 fev. 2007

PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. Disponível em: <http://www.eletrobras.com/procel> Acesso em: 20 jan. 2007

RAINBOW. **Wind Turbine FAQ.** Rainbow Power Company LTD. Disponível on-line através da url: http://www.rpc.com.au/products/windturbines/wind_faq.html. Acesso em 03/03/2007.

REIS, Lineu Belico dos. **Geração de energia elétrica.** São Paulo, 2000.

RENEWABLE ENERGY POLICY NETWORK . **Renewables 2007 Global Status Report.** Washington, DC:Worldwatch Institute. 2007. Disponível em: <http://www.ren21.net/>. Acesso em: 27 fev. 2008.

ROHATGI, Janardan S.; NELSON, Vaughn. **Wind Characteristics: an analysis for the generation of wind power.** Alternative Energy Institute – west Texas A&M University, 1994.

SUPERINTENDÊNCIA DE ESTUDOS ECONÔMICOS E SOCIAIS DA BAHIA. Consulta ao banco de dados. 2005. Disponível on-line em: http://www.sei.ba.gov.br/consulta_banco/index_consulta_banco.php. Acesso em: 11 jan. 2007.

SECRETARIA DE INFRA-ESTRUTURA DO GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ. **Atlas do potencial eólico do estado do Ceará.** Fortaleza, 2001.

SECRETARIA DE ENERGIA, MINAS E COMUNICAÇÃO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. **Atlas do potencial eólico do estado do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre, 2002.

SILVA N. F.; ROSA L. P.; ARAÚJO M. R. **The utilization of wind energy in the Brazilian electric sector's expansion.** Renewable and Sustainable energy reviews 9. [S.l.]: Elsevier, 2004. p. 289 – 309.

SILVA, E. P.; CAVALIERO, C.K.N. **Regulação energética e meio ambiente: propostas para a Região Amazônica Isolada.** Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético da Universidade Estadual de Campinas – NIPE / UNICAMP. Campinas, 2001.

SILVA, K. F. **Controle e Integração de Centrais Eólicas à Rede Elétrica com Geradores de Indução Duplamente Alimentados.** Tese de doutorado. Doutorado em Engenharia Elétrica, Universidade de São Paulo - USP, Brasil, 2006.

SOLARBUZZ. **Solar Electricity Prices.** Disponível em: <http://www.solarbuzz.com/SolarPrices.htm>. Acesso em 12 fev. 2008.

SORENSEN, Bent. **Renewable Energy – Its physics, engineering, use, environmental impacts, economy and planning aspects.** [S.l.]: Elsevier Academic Press, Third Edition, 2004.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY OFFICE OF ENERGY EFFICIENCY AND RENEWABLE ENERGY. **The History of Solar.** Disponível em: http://www1.eere.energy.gov/solar/solar_timeline.html. Acesso em 25/01/2006.

UNIVERSALIZAÇÃO. Dados sobre a universalização no Brasil. Disponível on-line em: <http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=207&idPerfil=2>. Acesso em: 20 fev. 2007

WORLD ENERGY OUTLOOK 2002. Disponível em: <http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2000/weo2002.pdf>. Acesso em: 03 mar. 2007.

WORLD ENERGY OUTLOOK 2006 - FOCUS ON KEY TOPICS. **Energy for cooking in developing countries - Chapter 15.** Disponível em: <http://www.worldenergyoutlook.org/Cooking.pdf>. Acesso em: 03 mar.2007.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Fuel for Life. Household Energy and Health.** Disponível on-line através da url: <http://www.who.int/indoorair/publications/fuelforlife/en/index.html>. Acesso em 03/03/2007.

WINDPOWER Monthly. **Wind energy facts and figures from Windpower Monthly.** Disponível em: <http://www.windpower-monthly.com/WPM:WINDICATOR:549886>. Acesso em: 25 fev. 2006.

WINDUSTRY. **Learn how to harvest the wind.** Disponível em:
<http://www.windustry.org/basics/04-knowwind.htm>. Acesso em: 03 mar. 2007

WISCONSIN, Public Service Commission of; Department of Natural Resources.
Forward Wind Project – Volume 1. Final Environmental impact Statement.
Wisconsin, maio de 2005.

APÊNDICE 1 – DEFORMAÇÃO DE ÁRVORES E EMBANDEIRAMENTO

Os índices para predição das grandezas eólicas através da deformação de árvores o fazem relacionando a taxa de deformação da vegetação D , através do cálculo ilustrado pela equação 17 (ROHATGI; NELSON, 1994). A Figura 67 ilustra os índices de *Griggs – Putnam* para árvores coníferas. A Figura 68 ilustra os índices de *Barsch* para árvores de copas esféricas (ROHATGI; NELSON, 1994).

$$D = \frac{A}{B} = \frac{C}{45^\circ} \quad (17)$$

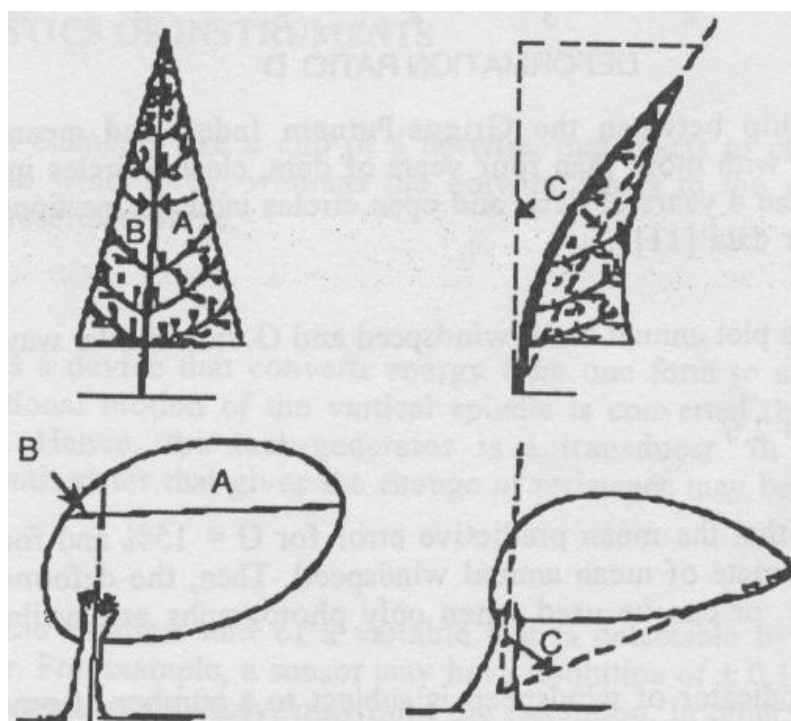


Figura 66: Estimativa da velocidade do vento através da deformação das árvores. Fonte: (ROHATGI; NELSON, 1994).

Essa relação pode ser utilizada para árvores do tipo coníferas ou esféricas, este tipo relaciona o formato da copa das árvores. Para árvores coníferas, A é o ângulo formado pela copa e o tronco a sotavento, B é o ângulo formado entre a copa e o tronco a barlavento e C é o ângulo médio definido pela deformação do tronco. Para árvores esféricas, A é a distância entre o tronco e o perímetro formado pela copa a sotavento, B é a distância entre o tronco e o perímetro formado pela copa a

barlavento e C é o ângulo entre o perímetro formado pela copa e o tronco a sotavento.

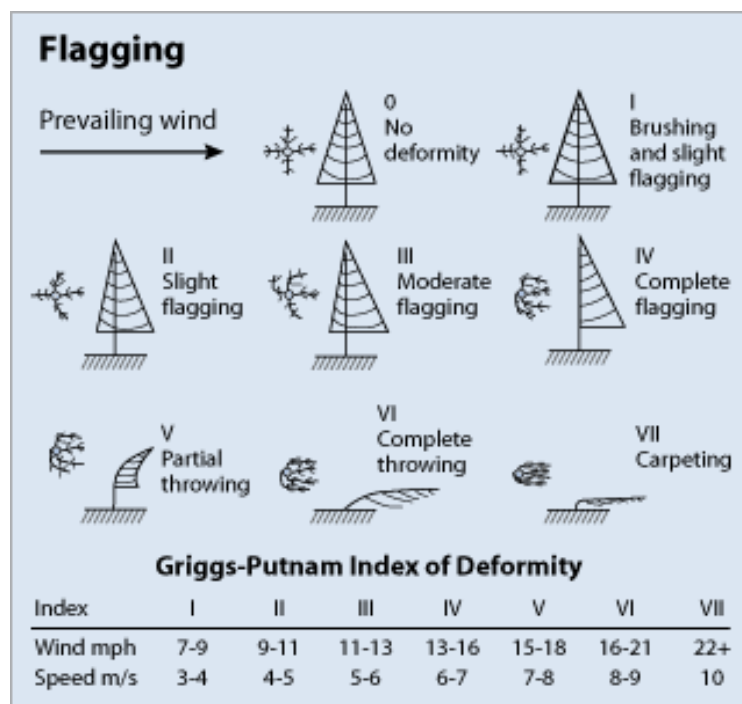


Figura 67: Índices para deformação das árvores para o sistema Griggs-Putnam. Fonte: (WINDUSTRY, 2007).

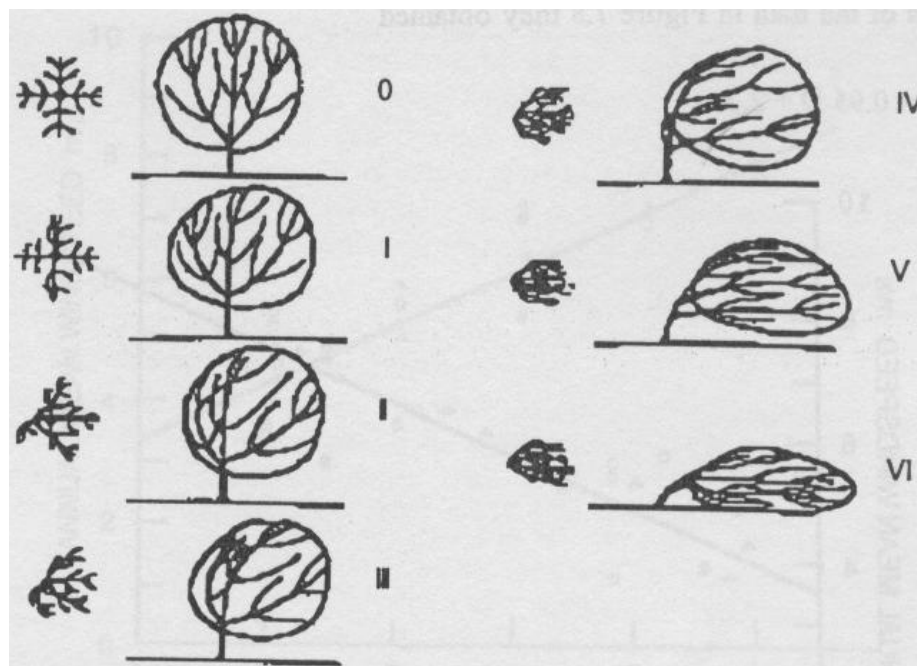














Figura 68: Índices para deformação das árvores para o sistema Barsch. Fonte: (ROHATGI, 1994).

A utilização das grandezas eólicas provenientes da observação da deformação das árvores serve para um número limitado de casos. A deformação ocasionada na árvore deve ser visualizada em um ângulo perpendicular em relação ao vento predominante, além do fato de que as árvores escolhidas para o cálculo devem estar bem expostas ao vento predominante e isoladas, para minimizar o efeito da turbulência ou interrupção do vento ocasionados por obstáculos.

No século XIX o marinheiro inglês Almirante Sir Francis Beaufort criou uma escala, a partir de observações pessoais, que permite que a velocidade do vento seja mensurada sem o auxílio de instrumentos, chamada de escala *Beaufort*. A escala *Beaufort* quantifica a intensidade dos ventos observando-se os movimentos da vela de barcos e do aspecto das ondas do mar (posteriormente foi adaptada relacionando a ação dos ventos ao movimento da fumaça e das árvores), sendo dividida em 13 níveis, desde o nível zero, representando situações de calmaria, até o nível 12 representando situações de furacões. O Quadro 5 ilustra a relação entre o nível na escala Beaufort, seu efeito em terra e a velocidade do vento resultante.

Escala Beaufort	Efeitos	Velocidade do vento (Km/h)	Ilustração do efeito
0	Calmaria. A fumaça emitida por chaminés eleva-se verticalmente.	< 2	
1	A inclinação da fumaça indica a direção do vento.	2 a 6	
2	Sensação do vento na pele e as folhas das árvores balançando.	7 a 12	
3	Folhas de árvores agitando-se ininterruptamente.	13 a 18	

Escala Beaufort	Efeitos	Velocidade do vento (Km/h)	Ilustração do efeito
4	Moderado. O vento consegue levantar poeira.	19 a 26	
5	As árvores começam a balançar. Nas superfícies das águas formam-se pequenas ondas.	27 a 35	
6	Forte. Galhos resistentes de árvores em movimento.	36 a 44	
7	Resistência do ar ao se caminhar.	45 a 55	
8	Ramos de árvores quebrados. Geralmente impossível caminhar.	56 a 66	
9	Vendaval. Danos nas construções tais como telhas arrancadas.	67 a 77	
10	Árvores arrancadas e edifícios danificados.	78 a 90	
11	Tempestade. Ocorrem grandes danos.	91 a 104	
12	Furacão	≥ 105	

Quadro 5: Escala Beaufort. Fonte: Adaptada de (HKO, 2005; BOSQUILHA, 2005).

APÊNDICE 2 – PUBLICAÇÕES GERADAS PELO TRABALHO DE DISSERTAÇÃO

ARAÚJO, Rafael G. Bezerra de; SILVA, Kleber Freire da. **Sistema híbrido eólico – fotovoltaico para eletrificação da comunidade de Barra Velha I – município de Nova Viçosa – Bahia.** Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos - SBSE 2008. Belo Horizonte – MG. Abril, 2008. 6 páginas.

ARAÚJO, Rafael G. Bezerra de; VALVERDE, Rafael Miranda Souto; PEREIRA, Osvaldo Lívio Soliano. **Flexibilização do arcabouço regulatório vigente para a utilização de mini – redes baseadas em fontes alternativas de energia.** V Congresso Brasileiro de Regulação. Associação das Agências de Regulação – ABAR. Recife – PE. Maio, 2007. 13 páginas.

ARAÚJO, Rafael G. Bezerra de; PEREIRA, Osvaldo Lívio Soliano. **Sistema híbrido Eólico - Fotovoltaico para geração de energia elétrica. Mini - redes como opção de atendimento: Flexibilização do arcabouço regulatório vigente.** In: XI Congresso Brasileiro de Energia, 2006, Rio de Janeiro. Anais do XI CBE (XI Congresso Brasileiro de Energia). Rio de Janeiro : Chivas Produções, 2006. v. II. p. 845-854.

PEREIRA, Osvaldo Lívio Soliano; ARAÚJO, Rafael G. Bezerra de ; REIS, Tereza Mousinho ; GONÇALVES, Felipe Freire . **Renewable Energy as a Tool to Assure Continuity of Low Emissions in the Brazilian Electric Power Sector.** In: EIC Climatic Change Technology, 2006, 2006, Ottawa. EIC Climatic Change Technology, 2006 IEEE, 2006. p. 1-8.

Pereira, O. L. S.; REIS, Tereza Mousinho; ARAÚJO, Rafael Gonçalves Bezerra de. **Uma análise do potencial do PROINFA para gerar emissões certificadas de redução de CO2 sob dois diferentes cenários.** Revista Brasileira de Energia, v. 11, p. 113-134, 2005.

ANEXO 1 – STATUS DAS ENERGIAS RENOVÁVEIS – CARACTERÍSTICAS E CUSTO.

Tabela 36: Características e custo das energias renováveis

Technology	Typical Characteristics	Typical Energy Costs (U.S. cents/kilowatt-hour)
Power Generation		
Large hydro	<i>Plant size:</i> 10 megawatts (MW)–18,000 MW	3–4
Small hydro	<i>Plant size:</i> 1–10 MW	4–7
On-shore wind	<i>Turbine size:</i> 1–3 MW <i>Blade diameter:</i> 60–100 meters	5–8
Off-shore wind	<i>Turbine size:</i> 1.5–5 MW <i>Blade diameter:</i> 70–125 meters	8–12
Biomass power	<i>Plant size:</i> 1–20 MW	5–12
Geothermal power	<i>Plant size:</i> 1–100 MW <i>Type:</i> binary, single- and double-flash, natural steam	4–7
Solar PV (module)	<i>Cell type and efficiency:</i> single-crystal 17%; polycrystalline 15%; amorphous silicon 10%; thin film 9–12%	—
Rooftop solar PV	<i>Peak capacity:</i> 2–5 kilowatts-peak	20–80*
Concentrating solar thermal power (CSP)	<i>Plant size:</i> 50–500 MW (trough), 10–20 MW (tower); <i>Types:</i> trough, tower, dish	12–18†
Hot Water/Heating		
Biomass heat	<i>Plant size:</i> 1–20 MW	1–6
Solar hot water/heating	<i>Size:</i> 2–5 m ² (household); 20–200 m ² (medium/multi-family); 0.5–2 MWth (large/district heating); <i>Types:</i> evacuated tube, flat-plate	2–20 (household) 1–15 (medium) 1–8 (large)
Geothermal heating/cooling	<i>Plant capacity:</i> 1–10 MW; <i>Types:</i> heat pumps, direct use, chillers	0.5–2
Biofuels		
Ethanol	<i>Feedstocks:</i> sugar cane, sugar beets, corn, cassava, sorghum, wheat (and cellulose in the future)	25–30 cents/liter (sugar) 40–50 cents/liter (corn) (gasoline equivalent)
Biodiesel	<i>Feedstocks:</i> soy, rapeseed, mustard seed, palm, jatropha, or waste vegetable oils	40–80 cents/liter (diesel equivalent)
Rural (off-grid) Energy		
Mini-hydro	<i>Plant capacity:</i> 100–1,000 kilowatts (kW)	5–10
Micro-hydro	<i>Plant capacity:</i> 1–100 kW	7–20
Pico-hydro	<i>Plant capacity:</i> 0.1–1 kW	20–40
Biogas digester	<i>Digester size:</i> 6–8 cubic meters	n/a
Biomass gasifier	<i>Size:</i> 20–5,000 kW	8–12
Small wind turbine	<i>Turbine size:</i> 3–100 kW	15–25
Household wind turbine	<i>Turbine size:</i> 0.1–3 kW	15–35
Village-scale mini-grid	<i>System size:</i> 10–1,000 kW	25–100
Solar home system	<i>System size:</i> 20–100 watts	40–60

Fonte: (REN21, 2007).

ANEXO 2 – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DOS EQUIPAMENTOS

Especificações técnicas dos aerogeradores GERAR 208 e GERAR 246.

Tabela 37: Especificações técnicas e elétricas GERAR 208 e 246.

	GERAR208	GERAR246
Diâmetro (metros)	2,08	2,46
Potência a 12 m/s (<i>Watts</i>)	700	1000
Início de Rotação	2,2 m/s	
Início de Geração	3 m/s	
R.p.m. a 12 m/s	800	650
N° de Pás	3	
Material das Pás	Fibra de Vidro	
Controle de Velocidade	Active Stall	
Proteção p/ altas Velocidade	Controle de Passo	
Sistema Magnético	Neodímio	
Sistema Elétrico	Trifásico	
Tensão de Saída (<i>volts</i>)	12 / 24 / 48	24 / 48
Topologia do Alternador	Fluxo Axial	
Peso Total (kg)	26	30
Proteção Anti-Oxidante	Sim	

Fonte: ENERSUD 2007.

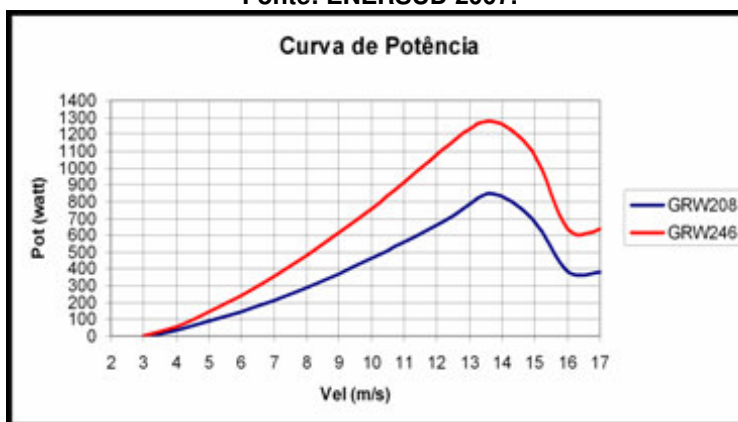


Figura 69: Curva de potência do GERAR 208 e 246. Fonte: ENERSUD 2007.

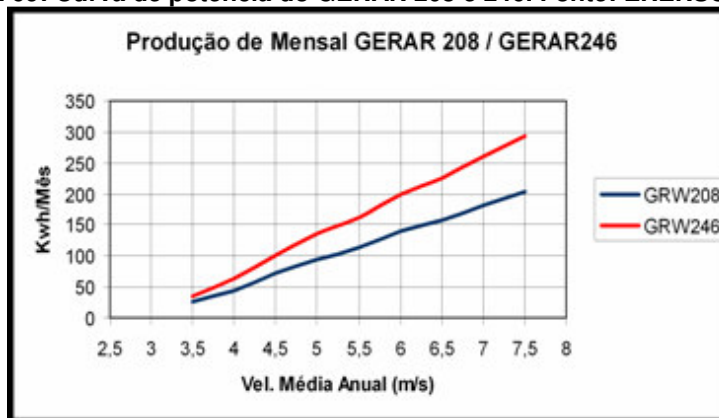


Figura 70: Produção de energia de acordo com a velocidade do vento. Fonte: ENERSUD 2007.

Especificações técnicas do painel fotovoltaico KYOCERA – KC130.

Modelo	KC 130TM
Máxima Potência	130 Watts
Tolerância	+10% / -5%
Voltagem de Máxima Potência	17.6 Volts
Corrente de Máxima Potência	7.39 Amps
Voltagem de Circuito Aberto	21.9 Volts
Corrente de Curto-Circuito	8.02 Amps
Altura	1425 mm
Largura	652 mm
Espessura	58 mm
Peso	11.9 Kg
Temperatura nominal de operação da célula	47°C
Icc Coeficiente de temperatura da corrente	(3.18×10^{-3}) A/°C
Vca Coeficiente de temperatura da Voltagem	(-8.21×10^{-2}) V/°C

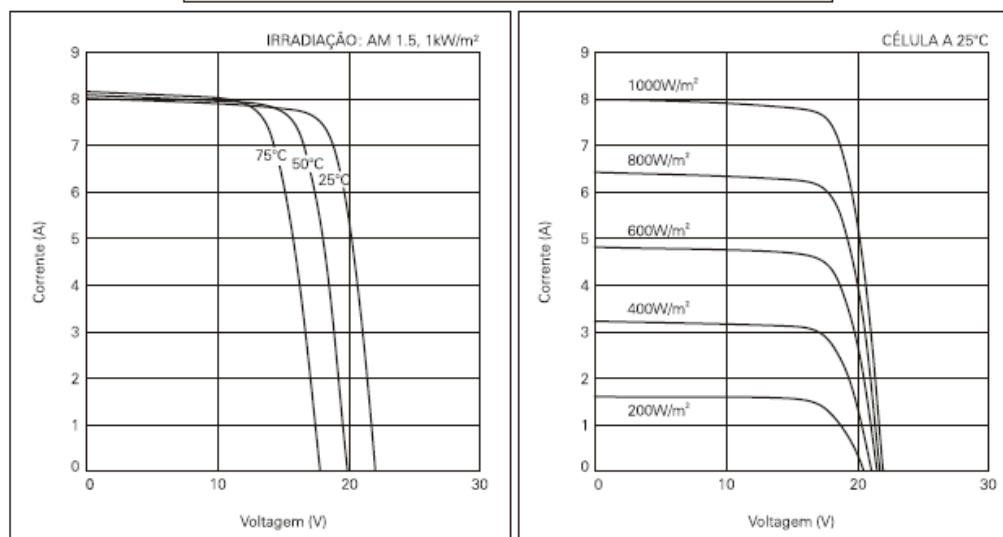
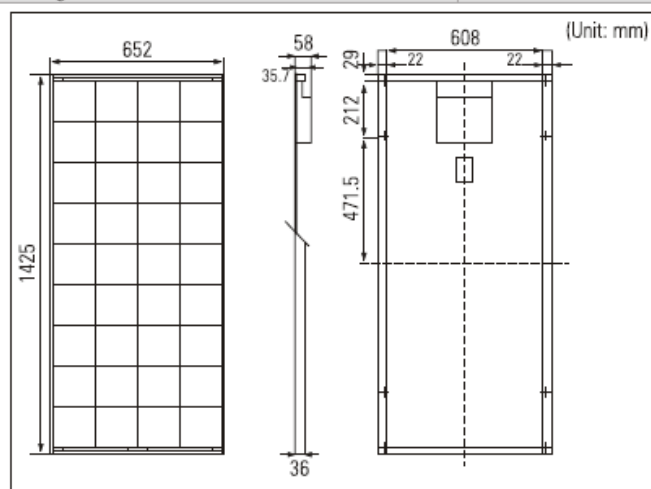


Figura 71: Especificações técnicas KC120. Fonte: Kyocera.

Especificações técnicas do controlador ProStar - 30.

	ProStar-12	ProStar-20	ProStar-30	
Corrente do(s) módulo(s) (A)	12	20	30	* Todos os modelos (ambos 12 V e 24 V) possuem seleção automática.
Corrente de cargas (A)	8	16	30	

Nota: As correntes nominais podem ser excedidas em até 25% por até 5 minutos.

CONFIABILIDADE

- Ocorrência de falhas em 5 anos, a 90% de confiança
- ProStar-12 < 0,1%
 - ProStar-20 < 0,1%
 - ProStar-30 0,4%

CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO

- Temperatura de operação -40°C a + 85°C
- Temperatura ambiente máxima +60f
- Temperatura de armazenamento -55°C a + 100°C
- Umidade (sem condensação) 100% (NC)

ESPECIFICAÇÕES ELÉTRICAS

- Precisão 12V +/- 40 mV
- 24V +/- 60 mV
- Tensão máxima de entrada (painéis) 50 V
- Tensão mínima para operação 8,0 V
- Terra negativo
- Operação em paralelo sim
- Consumo próprio (tara):
 - Noite 11 mA
 - Carregando 12 mA
 - Cargas desconectadas 10 mA
- Quedas de tensão:
 - Máximas: Módulo/Bateria 0,7 V
 - Bateria/Carga 0,4 V
 - Típicas: Módulo/Bateria 0,5 V
 - Bateria/Carga 0,1 V
- Vida útil 15 anos
- Ruído:
 - Proteção para o processador todas entradas
 - Pulsos de ruído de saída < 400 mV
 - Largura de pulso de ruído < 500 ns
 - Ruído irradiado < 100 pW/kHz
- FETs:
 - Rds (Resistência) 0,018 Ohm
 - Corrente de pulso 120 A
 - Temperatura de junção (nominal) 175°C
 - Temperatura de junção (operação) 110°C
- ROM do (processador) 2 k ROM
- Clock do (processador) 2 MHz
- Supressores de transientes:
 - Potência de pico 1500 W
 - Tempo de resposta < 5 ns
- LEDs:
 - Frequência de pulsos 300 Hz
 - Consumo de corrente < 1 mA/LED

MOSTRADOR

- Tipo cristal líquido (LCD)
- Dígitos 3 de 1,3 cm
- Temperatura de operação -30°C a + 85°C
- Precisão das medidas
 - Tensão 0,5%
 - Corrente 2,5%
- LEDs de status 3
- Consumo próprio (tara) 10 mA
- Desconexão manual < 100 µs

ESPECIFICAÇÕES MECÂNICAS

- Dimensões (LxAxP) 153 x 105 x 55 mm
- Peso: 340 g
- Terminais tipo europeu
- Bitola máxima:
 - Fio rígido 16 mm² (6 AWG)
 - Cabo malha múltipla 10 mm² (6 AWG)
 - Cabo malha fina 10 mm² (8 AWG)
 - Diâmetro de terminal 5 mm
- Posição de montagem vertical
- Caixa:
 - Material VALOX # 310 SEO
 - Resistência a fungicidas ASTM G21-70
 - Absorção de umidade < 0,4%
 - Índice térmico UL 120°C/140°C

FUSÍVEIS ELETRÔNICOS/SEGURANÇA

- Curto-circuito na carga
 - Detecção: corrente de carga > 10X nominal p/ mais de 5 ms
 - Tempo para desconexão < 50 µs
- Desconexão de emergência se tensão < 2,4V, PV/carga desconectados < 0,1s
- Polaridade reversa Todas 4 entradas do sistema protegidas
- Desconexão por temperatura 70°C desconecta entrada módulos
80°C desconecta cargas
60°C reconecta cargas
50°C reconecta módulos

PONTOS SELECIONADOS DE CONTROLE

- | | 12 Volt | |
|---|---------|--------------|
| | Selada | Convencional |
| • Desconexão LVD | 11,4 | 11,5 |
| • Religamento LVD | 12,5 | 12,6 |
| • Regulação de tensão constante | 14,1 | 14,3 |
| • Equalização | 14,35 | 14,6 |
| • Desconexão por tensão excessiva (HVD) | 15,5 | 15,5 |
- (valores p/sistema de 12 V; para 24 V, valores em dobro)

CARACTERÍSTICAS DE CONTROLE

- Algoritmo de carga PWM série, tensão const.
- Coef. Comp. temperatura -5,0 mV/°C/célula (ref. 25°C)
- Coef. de corrente LVD -20 mV/A de carga
- Equalização automática:
 - Selada 16 dias ou 11,9/23,8 V
 - Convencional 11 dias ou 12,0/24,0 V
- Parâmetros com compensação de temperatura Regulação de tensão, equalização, desconexão por excesso de carga (HVD)
- Atrasos de software:
 - Desconexão LVD 55 sec
 - Desconexão HVD 7 sec
- Filtragem por software média de 2 leituras/50 µs
- Frequência de amostragem 37,5 amostras/s

O fabricante reserva o direito de alterar as especificações sem aviso prévio.

Fabricado nos estados unidos

Figura 72: Características técnicas do controlador fotovoltaico, modelos ProStar 12/20/30 – Morningstar.

Especificações técnicas da bateria estacionária AJAX – EN150.

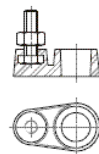
EN150							
Modelo	Tensão Nominal	Capacidade Nominal	Dimensões	Peso médio	Terminal	Posição Pólos	
EN150	12V	20h.....150 10h.....135 5h.....120 3h.....107 1h.....85 100h.....165	C.....510 mm L.....210 mm A.....232 mm	44,8 Kg	L Parafuso	C	

Informações técnicas

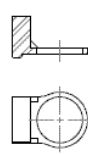
Aplicações

- ▶ Telecomunicações
- ▶ Nobreaks
- ▶ UPS
- ▶ Iluminação de emergência e sinalizações
- ▶ Alarmes e vigilância eletrônica
- ▶ Energia solar
- ▶ Centrais telefônicas - pabx

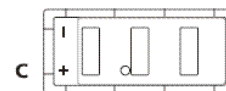
Terminal Parafuso



Terminal L



Posição dos terminais



Especificações:

Densidade do eletrólito:	1.260 g/cm ³
Tensão a plena carga:	12,65 - 12,70 Volts
Voltagem de flutuação:	13,5 - 13,8 Volts (sem limitação de corrente)
Voltagem de equalização e cíclica:	14,4 - 15,0 Volts (máxima corrente 30 A)
Capacidade afetada pela temperatura:	25°C - 100% 30°C - 97% 50°C - 85%
Auto descarga (25°C):	depois de 1 mês - 0,4% depois de 3 meses - 1,2% depois de 6 meses - 2,4%
Possibilidade de ciclos em função da profundidade de descarga:	80% - 250 ciclos 50% - 550 ciclos 20% - 1500 ciclos 10% - 2500 ciclos 5% - 5000 ciclos
Evolução de gases - 13,8 Volts (25°C):	0,00001 cm ³ /h

Gráficos

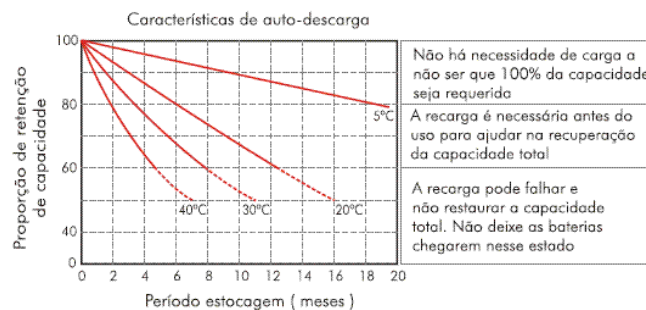
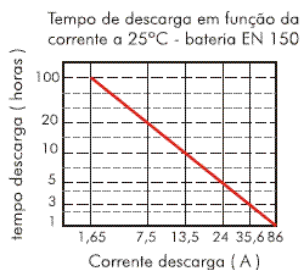
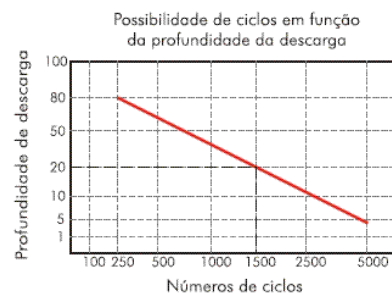
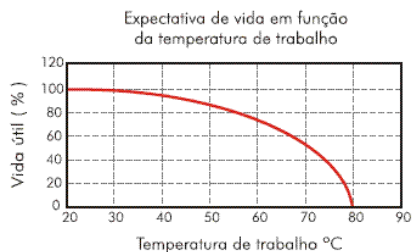


Figura 73: Especificações técnicas EN150.

Especificações técnicas do inversor ISOVERTER 3000/24.

Tabela 38: Especificações técnicas ISOVERTER 3000.

Características Elétricas	
Forma de onda de saída	Senoidal pura
Tensão nominal de entrada	24 volts
Variação da tensão de entrada	21 – 32 volts
Potência nominal de saída	3000 watts
Tensão nominal de saída	120 a 230 volts
Variação da tensão de saída	≤ 5 %
Frequência nominal	50/60 Hz selecionada pelo menu
Variação da frequência	≤ 1 %
Rendimento com carga	Aproximadamente 92 %
Distorção harmônica com carga resistiva	≤ 2 %
Funcionamento em stand-by	Detecção ajustável (cargas ≥ 11 watts)
Potência de pico admissível	3600 W (10 min); 4000 W (60 seg); 6000 W (3 seg)
Auto consumo	< 4 W
Alarmes e proteções	
Alarmes mediante LCD, LEDs e sinal acústico.	Alta e baixa de bateria, sobrecarga e curto circuito, sobre-temperatura e inversão de polaridade.
Proteção contra polaridade inversa	Sim, mediante diodo inteligente de baixas perdas.
Proteção contra sobrecarga	Sim, temporizada em função da potência demandada.
Proteção contra curto circuito	Sim, temporizada (10 segundos)
Proteção contra sobre-temperatura	Sim
Proteção contra alta e baixa tensão da bateria.	Sim
Características construtivas	
Parâmetros do visor de LCD	Tensão da bateria, tensão de saída, potência instantânea consumida, temperatura, etc.
Tropicalização dos circuitos	Sim
Temperatura de funcionamento	0-50° C a plena carga
Rearme desconexão por sobre-temperatura e tensão alta/baixa	Automático
Rearme desconexão por curto circuito e sobrecarga	Manual
Ventilação	Sim, controlada por temperatura
Estrutura	Alumínio
CARACTERÍSTICAS físicas e mecânicas	
Largura	470 mm
Comprimento	235 mm
Profundidade	125 mm
Peso	9 Kg

Fonte 1: Elaboração própria a partir de dados fornecidos pelo fabricante.

ANEXO 3 – CASA DE POTÊNCIA E CONTROLE DO SHEFI - UNIFACS.

Figura 74: Projeto da casa de potência e controle. Fonte: Elaboração própria utilizando o *SketchUp*.

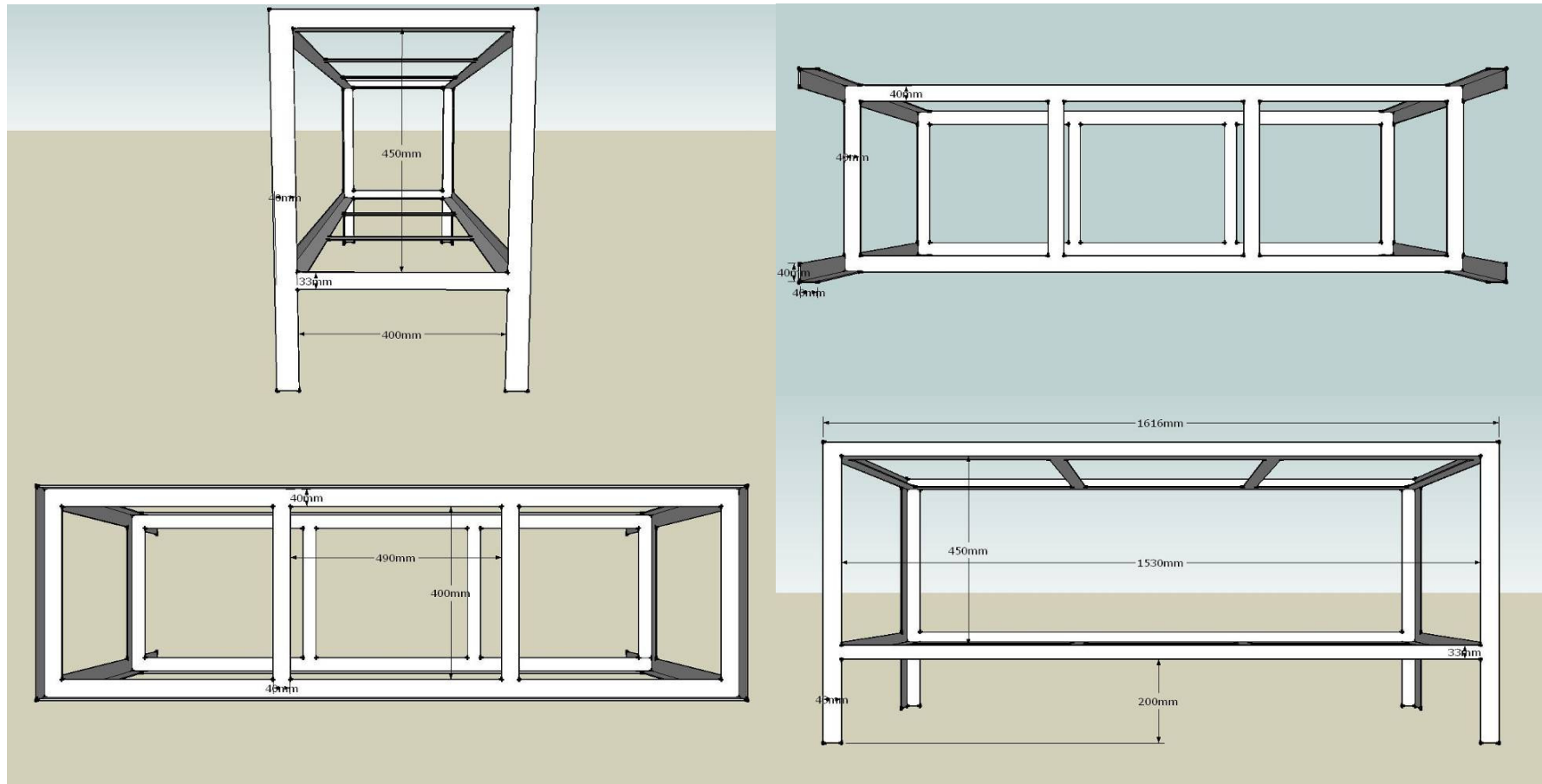
ANEXO 4 – SUPORTE PARA O BANCO DE BATERIAS

Figura 75: Projeto do suporte para o banco de baterias. Fonte: Elaboração própria utilizando o *SketchUp*.

ANEXO 5 – MÉDIA DA INTENSIDADE E DIREÇÃO DO VENTO (PROJETO SONDA)

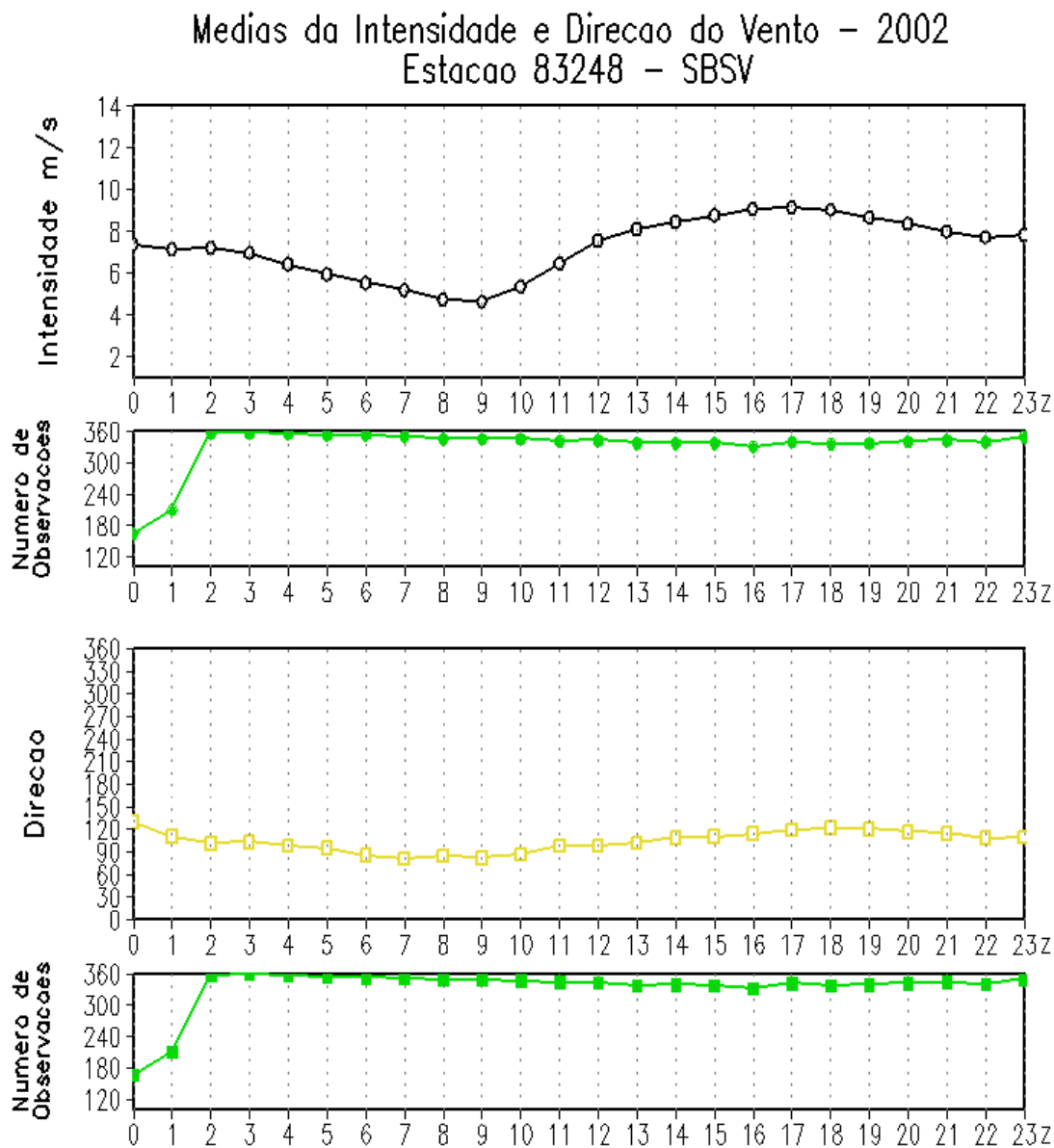


Figura 76: Médias da Intensidade e Direção do Vento – 2002.

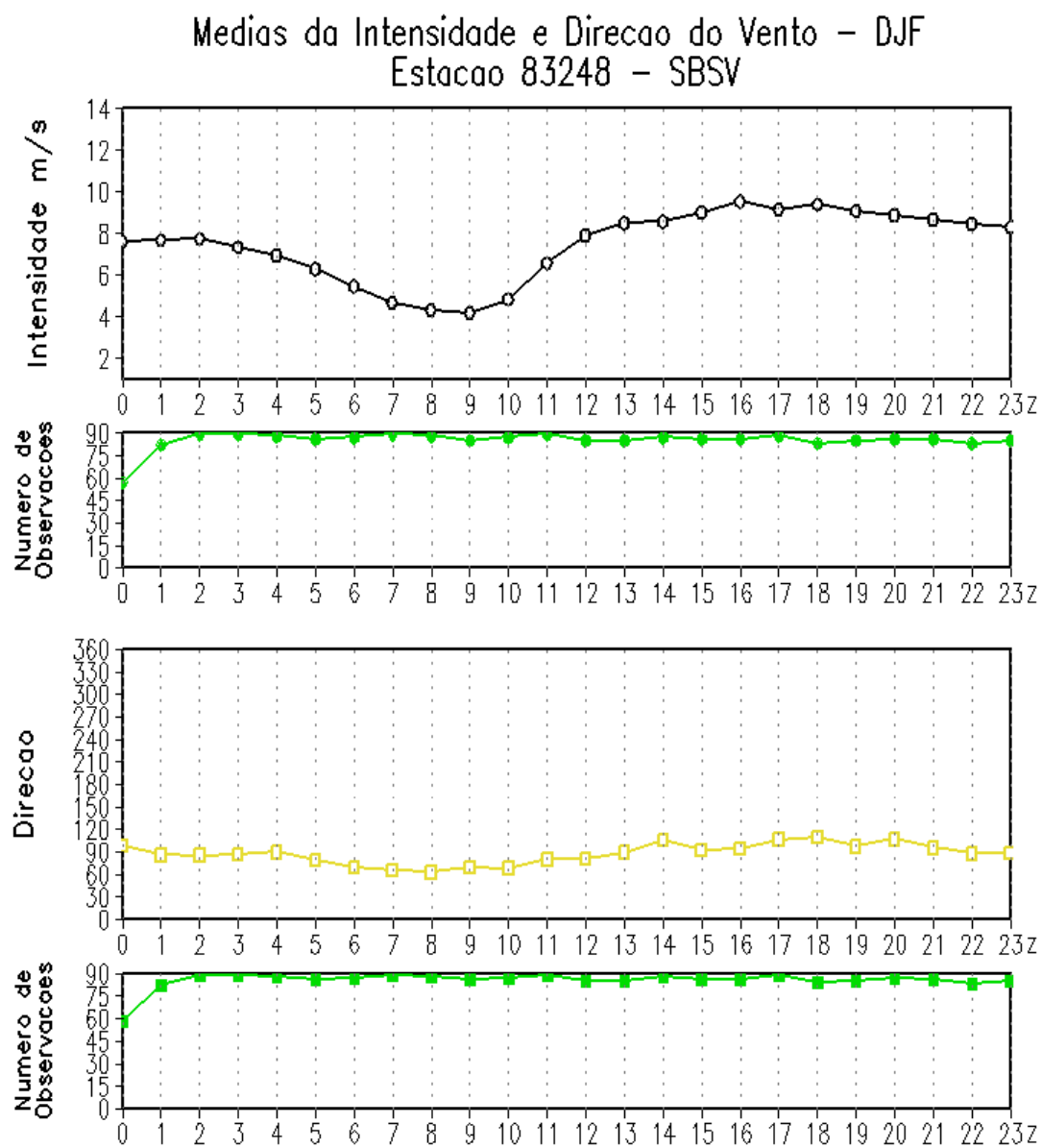


Figura 77: Médias da Intensidade e Direção do Vento – Dezembro / Janeiro / Fevereiro de 2002.

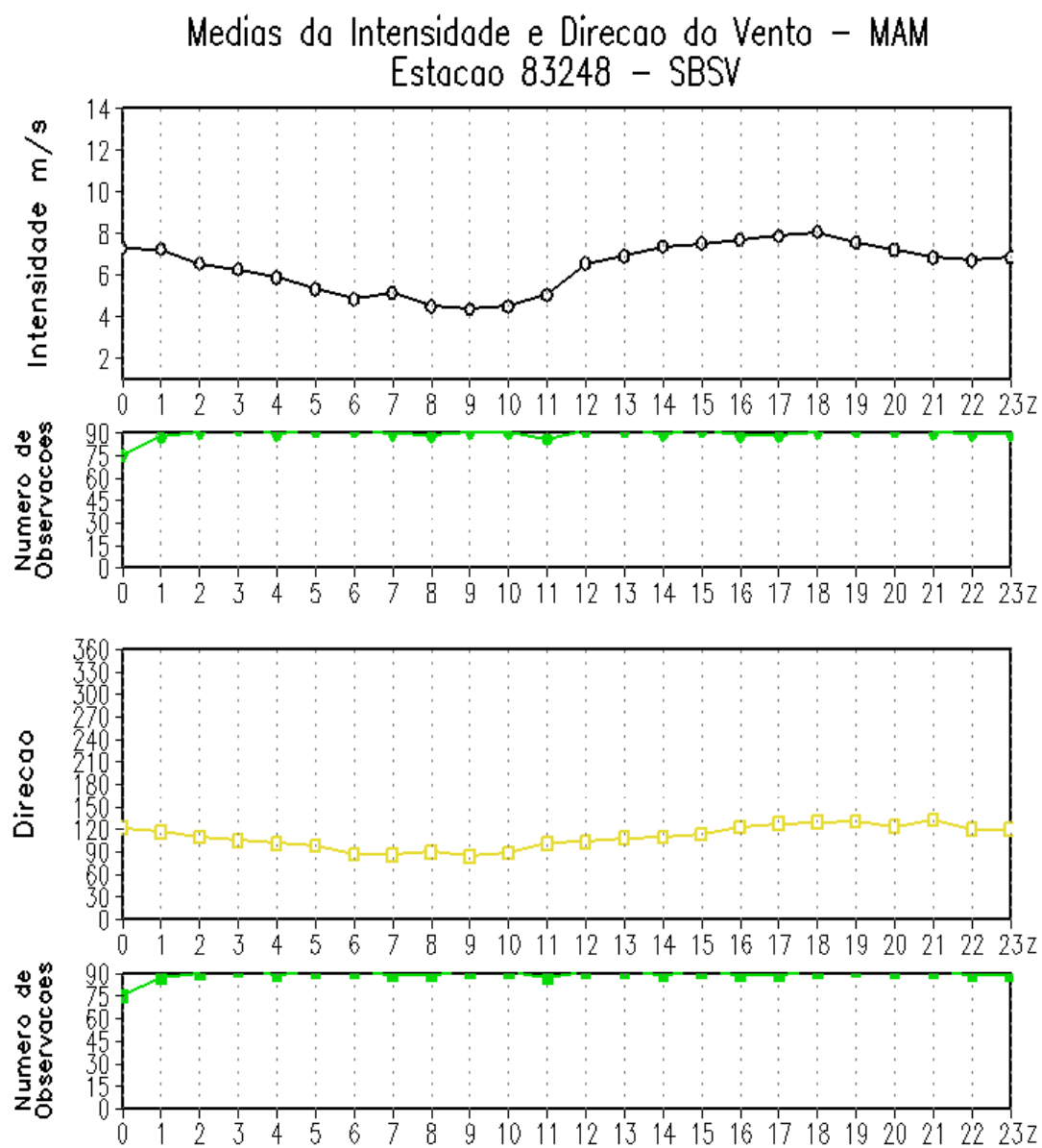


Figura 78: Médias da Intensidade e Direção do Vento – Março / Abril / Maio de 2002.

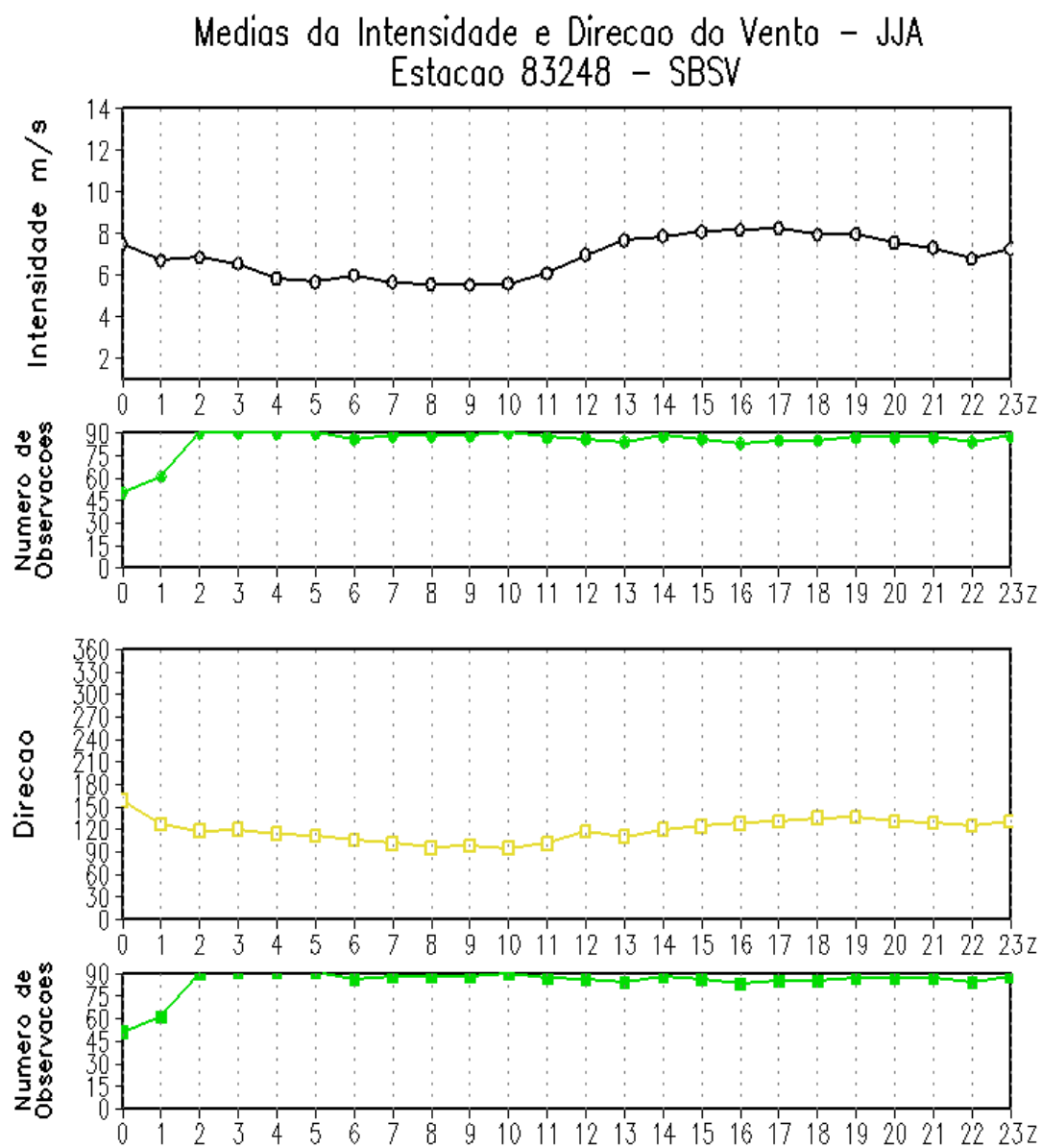


Figura 79: Médias da Intensidade e Direção do Vento – Junho / Julho / Agosto de 2002.

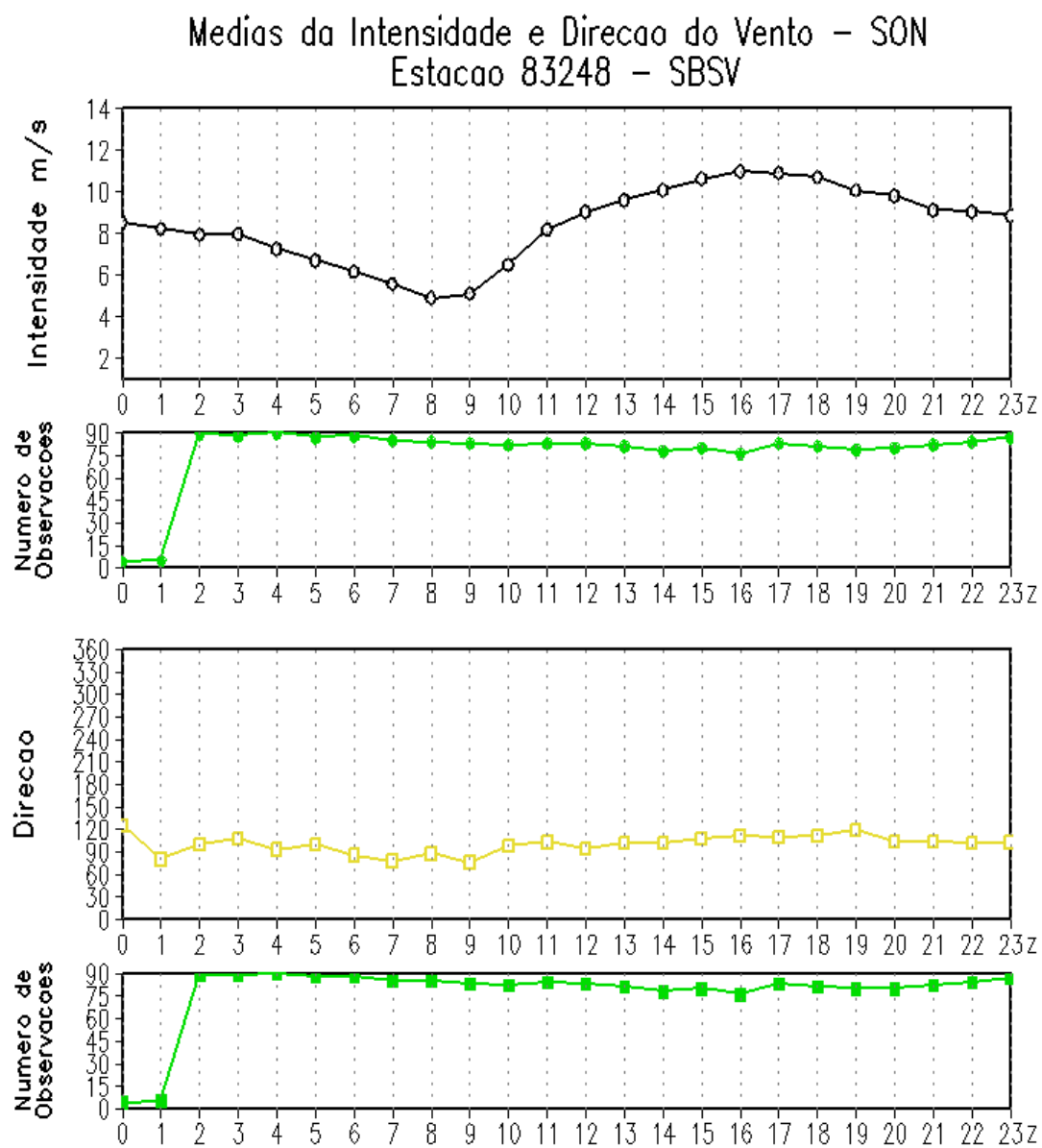


Figura 80: Médias da Intensidade e Direção do Vento – Setembro / Outubro / Novembro de 2002.