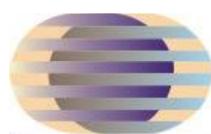




**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ**  
**PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO**  
**DOUTORADO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE**  
**DA ASSOCIAÇÃO PLENA EM REDE DAS INSTITUIÇÕES**



**Doutorado em Desenvolvimento  
e Meio Ambiente**

**Associação Plena  
em Rede**



**MARCOS ANTONIO TAVARES LIRA**

**SISTEMAS HÍBRIDOS PARA O FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA NA  
COMUNIDADE ROÇA DE BAIXO, PAULISTANA (PI)**

**TERESINA**

**2015**

**MARCOS ANTONIO TAVARES LIRA**

**SISTEMAS HÍBRIDOS PARA O FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA NA  
COMUNIDADE ROÇA DE BAIXO, PAULISTANA (PI)**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Associação Plena em Rede de Instituições (UFPI, UFC, UFRN, UFPB, UFPE, UFS, UESC), como requisito para obtenção do título de Doutor em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. José Machado Moita Neto.

**TERESINA**

**2015**

## FICHA CATALOGRÁFICA

Serviço de Processamento Técnico da Universidade Federal do Piauí  
Biblioteca Comunitária Jornalista Carlos Castello Branco

**L768s** Lira, Marcos Antonio Tavares.

Sistemas híbridos para o fornecimento de energia elétrica na comunidade Roça de Baixo, Paulistana (PI) / Marcos Antonio Tavares Lira. – Teresina: 2015.

144 f.: il.

Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal do Piauí, Teresina-PI, 2015.

Orientação: Prof. Dr. José Machado Moita Neto.

1. Energia Eólica. 2. Energia Solar. 3. Sistemas Híbridos.  
4. Sustentabilidade. I. Título.

**CDD 333.79**

**MARCOS ANTONIO TAVARES LIRA**

**SISTEMAS HÍBRIDOS PARA O FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA NA  
COMUNIDADE ROÇA DE BAIXO, PAULISTANA (PI)**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Associação Plena em Rede de Instituições (UFPI, UFC, UFRN, UFPB, UFPE, UFS, UESC), como requisito para obtenção do título de Doutor em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

APROVAÇÃO EM: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. José Machado Moita Neto  
Universidade Federal do Piauí – UFPI  
(Orientador)

---

Profa. Dra. Jaíra Maria Alcobaça Gomes  
Universidade Federal do Piauí – UFPI  
(Examinador interno/vinculada à rede PRODEMA)

---

Prof. Dr. Bartolomeu Ferreira dos Santos Júnior  
Universidade Federal do Piauí – UFPI  
(Examinador interno)

---

Prof. Dr. Antonio Jeovah de Andrade Meireles  
Universidade Federal do Ceará – UFC  
(Examinador externo/vinculado à rede PRODEMA)

---

Prof. Dr. Hermes Manoel Galvão Castelo Branco  
Universidade Estadual do Piauí – UESPI  
(Examinador suplente externo)

---

Prof. Dr. Emerson Mariano da Silva  
Universidade Estadual do Ceará – UECE  
(Examinador externo)

---

Profa. Dra. Elaine Aparecida da Silva  
Universidade Federal do Piauí – UFPI  
(Examinador suplente interno)

A Deus, pela inspiração e por ter me guiado ao longo desta trajetória.

Aos meus pais, Marcos Pereira Lira e Maria José Tavares Lira, e aos meus irmãos Conceição, Raimundo e Reginaldo, pelo apoio incondicional a minha formação pessoal, acadêmica e profissional.

A Elinara Barros pelo companheirismo e compreensão.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Prof. Dr. José Machado Moita Neto por sua orientação acadêmica sempre coerente e pautada no compromisso profissional.

Aos Professores Dra. Jaíra Maria Alcobaça Gomes, Dr. Antonio Jeovah de Andrade Meireles, Dr. Emerson Mariano da Silva e Dr. Bartolomeu Ferreira dos Santos Júnior, pelas valiosas contribuições a este trabalho por ocasião de suas participações nos seminários de tese, exame de qualificação e defesa da tese.

Aos Professores e colaboradores do Mestrado e Doutorado em Desenvolvimento e meio ambiente da Universidade Federal do Piauí.

Ao Departamento de Engenharia Elétrica pela redução de minha carga horária de trabalho ao longo do doutorado.

Ao Instituto Nacional de Meteorologia pela cessão dos dados usados neste estudo.

Aos colegas do doutorado, pela partilha de experiências, em especial a Elaine Aparecida, Leonardo Soares, Rodrigo Sousa, Roselane Moita, Lúcia Gomes e Karla Brito.

Aos meus alunos de Iniciação Científica pelo suporte dado ao longo do trabalho.

Aos moradores da comunidade Roça de Baixo e São Martin por permitirem meu acesso às suas residências.

Ao Senhor Fonseca por seu auxílio nas visitas ao município de Paulistana.

Ao amigo Stênio Rocha por sua ajuda na manipulação do software Homer.

## RESUMO

O trabalho apresentado faz uma abordagem dos sistemas híbridos como alternativas sustentáveis para o fornecimento de energia elétrica em comunidades rurais do estado do Piauí. Seu objetivo geral é verificar a viabilidade técnica e econômica da utilização destes sistemas em comparação com o sistema de abastecimento convencional de energia elétrica a fim de se estabelecer uma alternativa sustentável. A área de estudo escolhida foi a comunidade Roça de Baixo localizada na zona rural do município de Paulistana-PI e situada a 30 km da sede do mesmo. A razão da escolha se deve ao fato da comunidade não possuir energia elétrica e por reunir condições naturais favoráveis ao aproveitamento das energias solar e eólica. Inicialmente, caracteriza-se a área de estudo a partir do seu perfil diário e mensal de velocidade média do vento e dos índices de radiação solar obtidos a partir da Plataforma de Coleta de Dados do Instituto Nacional de Meteorologia instalada no município de Paulistana. A partir destes dados estimou-se o potencial de produção de energia eólica e solar fotovoltaica da área. Através de visitas *in loco*, fez-se o levantamento do perfil da demanda de energia a ser atendida pelo sistema híbrido. Utilizando-se o software HOMER, simulou-se o sistema híbrido para duas configurações: uma com fontes renováveis (eólica e solar fotovoltaica) e outra com inclusão de gerador a diesel neste sistema. Em seguida realizou-se a análise da viabilidade técnica e econômica dos sistemas híbridos propostos. Pelo aspecto técnico, ambos os sistemas híbridos se mostraram viáveis. Já com base na análise econômica, os resultados não apresentaram viabilidade, pelo menos para a comunidade em estudo, cuja distância para a rede convencional de energia é de 5 km. No entanto, quando se aumenta essa distância para 10 km e 15 km verifica-se a viabilidade econômica de ambos os sistemas híbridos.

**Palavras – chave:** Energia eólica. Energia solar. Sistemas híbridos. Sustentabilidade.

## ABSTRACT

This project shows hybrid systems as a sustainable alternative for electric energy demand in the rural communities of Piauí. The main goal of this paper is verifying technical and economic feasibility of using these sustainable energy sources instead of conventional energy supply in order to find a sustainable alternative. The chosen area for this project is the Roça de Baixo community, located at rural area of Paulistana and 30 km away from downtown. Because there is no electrical energy and natural conditions are favourable to wind and solar utilization, this region was chosen. In order to evaluate this region, first, it was collected daily and monthly profile of average wind velocity and solar radiation index given by the National Institute of Meteorology's data Collection Platform allocated in Paulistana. Second, using this data and information collected in the site, it was estimated the wind and solar photovoltaic energy generation potentials and electric energy demand that should be supplied by the hybrid system. After that, the HOMER software was used to simulate hybrid system in two configurations: one of them using renewable sources (wind and solar photovoltaic energies) and the other including a diesel generator. After that, technical and economic feasibilities of the proposed hybrid systems were analysed. By technical aspects, both hybrid systems are feasible. However, based on economic analysis, both hybrid systems are not feasible, at least for the chosen region of study, which is located 5 km far from the conventional power grids. Nevertheless, when the distance is equal to 10 km or 15 km, both of the hybrid systems are economically and technically feasible

**Keywords:** Wind energy. Solar energy. Hybrid systems. Sustainability.

## RESUMEN

El trabajo que se presenta es un enfoque de sistemas híbridos como alternativas sostenibles para el suministro de electricidad en las comunidades rurales en el estado de Piauí. Su objetivo general es verificar la viabilidad técnica y económica de utilizar estos sistemas en comparación con el sistema de suministro de electricidad convencional con el fin de establecer una alternativa sostenible. El área de estudio elegido fue la comunidad Roça de Baixo ubicada en el municipio rural de Paulistana-PI y situada a 30 km de la central. La razón de la elección se debe a que la comunidad no tiene electricidad y reúnen las condiciones naturales favorables para el uso de energía solar y eólica. Inicialmente, se caracteriza el área de estudio a través de su perfil diario y mensual de la velocidad media del viento y los índices de radiación solar obtenidos de la Plataforma de Colección de Datos del Instituto Nacional de Meteorología instalado en el municipio de Paulistana. A partir de estos datos se estima el potencial de producción de energía eólica y solar fotovoltaica en la zona. A través de visitas de campo, fue hecho un estudio del perfil de la demanda de energía para ser suministrado por el sistema híbrido. Utilizando el software HOMER, se simuló el sistema híbrido de dos configuraciones: una con renovables (eólica y solar fotovoltaica) y otro con la inclusión de este sistema de generador a diesel. Luego, se ha realizado el análisis de la viabilidad técnica y económica de los sistemas híbridos propuestos. En el aspecto técnico, ambos sistemas híbridos han demostrado ser viable. Ya a partir del análisis económico, los resultados no mostraron la viabilidad, al menos a la comunidad en estudio, cuya distancia a la red eléctrica convencional es de 5 km. Sin embargo, al aumentar esta distancia 10 km ya 15 km se encuentra la viabilidad económica de los sistemas híbridos.

Palabras - clave: Energía eólica. Energía solar. Sistemas híbridos. Sostenibilidad.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Programa Luz para Todos: distribuição das ligações (%). Acumulado de 2004 a 2012. .....	23
Figura 2 - Evolução anual da renda domiciliar mensal <i>per capita</i> e do consumo médio mensal de energia elétrica residencial no Brasil de 2004 a 2014. ....	25
Figura 3 – Relação entre IDH-M e consumo per capita de eletricidade dos estados brasileiros para o ano de 2010.....	27
Figura 4 - Agropecuária: estimativa do consumo final energético por fonte até 2050 (%). ....	30
Figura 5 – Tarifa de energia elétrica do setor industrial – países selecionados (R\$/MWh).....	31
Figura 6 – Brasil: consumo industrial de energia elétrica em 2012 por setor (%). ....	31
Figura 7 – Geração de eletricidade por fonte em 2011 e estimativas para 2025 e 2040 (em bilhoes de kWh).....	37
Figura 8 – Capacidade de geração de eletricidade a partir de fontes renováveis 2011-2040 (em GW). ....	37
Figura 9 - Perfil vertical da velocidade do vento. O comprimento da rugosidade ( $z_0$ ) é a altura onde a velocidade é nula.....	48
Figura 10 – Localização Geográfica do complexo eólico Chapada do Piauí.....	52
Figura 11 – Sistema de aquecimento de água por termossifão instalado em Teresina. ....	59
Figura 12 - Coletores solares para aquecimento de água - capacidade de aquecimento global (2000-2013). ....	59
Figura 13 – Potência instalada em escala mundial de energia solar fotovoltaica (2004-2013). .....	61
Figura 14 - Órbita da Terra em torno do Sol, com seu eixo N-S inclinado de um ângulo de 23,45°, indicando as estações do ano no hemisfério Sul. ....	62
Figura 15 - Efeito causado pela variação da temperatura das células sobre a curva característica IxV para um módulo fotovoltaico. ....	63
Figura 16 – Sistema fotovoltaico isolado – modelo básico.....	64
Figura 17 – Esquema de um sistema fotovoltaico conectado à rede. ....	65
Figura 18 - Configuração geral de um Sistema Híbrido de Energia. ....	69
Figura 19 – Sistema híbrido de energia – configuração eólico-diesel.....	71
Figura 20 - Sistema híbrido de energia – configuração fotovoltaico-diesel.....	71
Figura 21 - Sistema híbrido de energia – configuração fotovoltaico-eólico-diesel.....	72
Figura 22 - Sistema híbrido de energia – configuração fotovoltaico-eólico. ....	73

Figura 23 – Esquema de um sistema híbrido de energia (fotovoltaico-biomassa-gasificação). .....	76
Figura 24 - Esquema de um sistema híbrido de energia (fotovoltaico-eólico-célula a combustível-diesel). .....	77
Figura 25 – Unidade residencial localizada na comunidade Roça de Baixo. ....	81
Figura 26 – Rede de distribuição de energia elétrica trifásica com localização mais próxima da comunidade Roça de Baixo. ....	81
Figura 27 - Mapa do Piauí destacando o município de Paulistana. ....	82
Figura 28 - Localização das residências da comunidade Roça de Baixo no município de Paulistana (Piauí). .....	82
Figura 29 - Localização da Plataforma de Coleta de Dados no município de Paulistana. ....	83
Figura 30 - Diagrama de blocos mostrando a sequência do procedimento metodológico. ....	88
Figura 31 – Mapa do estado do Piauí mostrando os valores de velocidade média do vento estimados a 80 metros. ....	92
Figura 32 – Mapa de radiação solar média diária do estado do Piauí. ....	94
Figura 33 – Mapa do estado do Piauí mostrando as regiões favoráveis à instalação de sistemas híbridos (eólico- solar). .....	97
Figura 35 – Perfil mensal, ao longo do ano de 2010, da velocidade média do vento na PCD de Paulistana. .....	99
Figura 37 – Estimativa da energia produtível pelo vento no município de Paulistana. ....	101
Figura 40 – Sistema Híbrido de Energia (eólico-fotovoltaico-diesel) para a região de estudo resultante da simulação no software HOMER. ....	106
Figura 42 – Curva de potência de um aerogerador Verne 555 de 6 kW. ....	109
Figura 43 – Comparação do custo acumulado (R\$) de cada empreendimento ao longo de vinte e cinco anos. ....	118
Figura 44 – Custos médios anuais das despesas e receitas dos cinco empreendimentos. ....	119

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Distribuição de emprego formal no setor elétrico brasileiro. ....	28
Tabela 2 – Consumo de energia elétrica por classe - Brasil (GWh).....	30
Tabela 3 - Capacidade instalada de geração elétrica por região do mundo (GW) até 2010.....	39
Tabela 4 - Capacidade instalada de geração hidrelétrica por região do mundo (GW) até 2010. .....	39
Tabela 5 - Capacidade instalada de geração de energia renovável por região do mundo (GW) até 2010. ....	40
Tabela 6 – Consumo de energia elétrica por classe no Brasil (em GWh). ....	41
Tabela 7 – Consumo residencial de eletricidade nos estados da região nordeste 2006-2013 (em GWh). ....	43
Tabela 9 – Componentes geradores/acumuladores de energia do sistema híbrido (eólico- fotovoltaico-diesel). ....	106
Tabela 10 – Componentes geradores/acumuladores de energia do sistema híbrido (eólico- fotovoltaico). ....	107
Tabela 11 – Resumo do orçamento para o abastecimento convencional de eletricidade (5 km de extensão). ....	112
Tabela 12 – Resumo do orçamento para o abastecimento convencional de eletricidade (10 km de extensão). ....	112
Tabela 13 – Resumo do orçamento para o abastecimento convencional de eletricidade (15 km de extensão). ....	112
Tabela 14 – Resumo do orçamento para o sistema híbrido de energia (fotovoltaico-eólico- diesel). ....	113
Tabela 15 – Resumo do orçamento para o sistema híbrido de energia (fotovoltaico-eólico). ....	113
Tabela 16 – Custos anuais para a implantação e manutenção de cinco modalidades de empreendimento ao longo de vinte e cinco anos. ....	115
Tabela 17 – VPL, TIR e Payback de cinco modalidades de empreendimento ao longo de vinte e cinco anos. ....	116
Tabela 18 – Custo da tarifa de energia elétrica fornecida por cinco empreendimentos para que as despesas sejam quitadas. ....	119

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABEEólica	Associação Brasileira de Energia Eólica
Abinee	Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica
ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
AEO2013	Annual Energy Outlook 2013
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
a-Si	Silício Amorfo
AWEA	American Wind Energy Association
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CdTe	Telureto de Cádmio
CEPISA	Companhia Energética do Piauí S/A
CIGS	Disseleneto de Cobre, Índio e Gálio
CIS	Disseleneto de Cobre e Índio
CNU	Custos Não Uniformes
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
CPV	Concentrated Photovoltaics (Célula Fotovoltaica para Concentração)
DIC	Duração de Interrupção Individual por Unidade Consumidora
DSSC	Dye-Sensitized Solar Cell (Célula Sensibilizada por Corante)
EIA	Energy Information Administration
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FIC	Frequência de Interrupção Individual por Unidade Consumidora
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
GWth	Gigawatt Térmico
HOMER	Hybrid Optimization Model for Electric Renewable
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
MIGDI	Microsistema Isolado de Geração e Distribuição de Energia Elétrica
MME	Ministério de Minas e Energia
m-Si	Silício Monocristalino
NREL	National Renewable Energy Laboratory
O&M	Operação e Manutenção
OCDE	Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico
OLADE	Organização Latino-Americana de Energia
ONS	Operador Nacional do Sistema

OPV	Organic Photovoltaics (Célula Orgânica ou Polimérica)
OSCIP	Organização da Sociedade Civil de Interesse Público
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PCD	Plataforma de Coleta de Dados
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
PLPT	Programa Luz para Todos
PRODEEM	Programa de Desenvolvimento Energético dos Estados e Municípios
Proinfa	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
p-Si	Silício Policristalino
REIDI	Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento de Infraestrutura
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
SCE-10	Sistema Convencional de Energia com Extensão de 10 km
SCE-15	Sistema Convencional de Energia com extensão de 15 km
SCE-5	Sistema Convencional de Energia com Extensão de 5 km
SEMAR-PI	Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Piauí
SFCR	Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede
SFH	Sistemas Fotovoltaicos Híbridos
SFI	Sistemas Fotovoltaicos Isolados
SFV	Sistemas Fotovoltaicos
SHE-R	Sistema Híbrido de Energia Renovável
SHE-R+D	Sistema Convencional de Energia com extensão de 15 km
SIAGAS	Sistema de Informações de Águas Subterrâneas
SIGFI	Sistema Individual de Geração de Energia Elétrica com Fontes Intermitentes
SIN	Sistema Interligado Nacional
TELEPISA	Empresa Estatal de Telecomunicações do Piauí
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
UE	União Européia
UNEP	Nations Environment Program (Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente)
VPL	Valor Presente Líquido
WRC	World Radiation Center
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>18</b>
<b>2 ASPECTOS E CENÁRIOS RELACIONADOS À ENERGIA ELÉTRICA .....</b>	<b>22</b>
2.1 Aspectos socioeconômicos .....	24
2.1.1 Energia e necessidade básicas do ser humano .....	26
2.1.2 Energia e geração de empregos .....	27
2.1.3 Energia para a agricultura .....	28
2.1.4 Energia para a indústria .....	30
2.2 Energia e meio ambiente .....	33
2.2.1 Projetos hidrelétricos .....	33
2.2.2 Projetos termelétricos .....	34
2.2.3 Projetos de usinas nucleares .....	35
2.3 Um olhar sobre o cenário energético .....	35
2.3.1 Panorama energético internacional .....	35
2.3.2 Contexto brasileiro .....	40
2.3.3 Contexto piauiense .....	43
<b>3 ENERGIAS RENOVÁVEIS.....</b>	<b>45</b>
3.1 Energia Eólica.....	45
3.1.1 Aspectos físicos dos recursos eólicos.....	45
3.1.2 Caracterização de um local como potencial sítio eólico .....	48
3.1.3 Representação do perfil de ventos.....	50
3.1.4 Cenário atual e perspectivas da energia eólica.....	51
3.1.5 Aspectos socioeconômicos.....	52
3.1.6 Aspectos ambientais .....	53
3.1.7 Aplicações e utilizações .....	54
3.1.7.1 Sistemas de grande dimensão ligados à rede .....	55
3.1.7.2 Sistemas eólicos isolados de pequeno porte.....	55
3.1.8 Políticas governamentais relacionadas à energia eólica.....	56
3.1.8.1 O Proinfa .....	56
3.1.8.2 Os leilões de energia elétrica.....	56
3.1.8.3 Isenções fiscais .....	57
3.2 Energia solar .....	58
3.2.1 Energia solar térmica.....	58
3.2.2 Energia solar fotovoltaica.....	60
3.2.3 O recurso solar .....	62

3.2.4 Efeitos da temperatura sobre os painéis .....	63
3.2.5 Aplicações de sistema fotovoltaicos .....	64
3.2.6 Políticas governamentais relacionadas à energia solar .....	65
3.2.6.1 O Prodeem.....	65
3.2.6.2 Sistemas individuais de geração de energia elétrica com fontes intermitentes .....	66
3.2.6.3 Resolução Normativa nº 482/2012.....	66
3.2.6.4 Os leilões de energia fotovoltaica .....	67
<b>4 SISTEMAS HÍBRIDOS DE ENERGIA.....</b>	<b>68</b>
4.1 Conceitos preliminares .....	68
4.2 Principais configurações de sistemas híbridos.....	70
4.2.1 Sistema eólico-diesel.....	70
4.2.2 Sistema fotovoltaico-diesel .....	71
4.2.3 Sistema fotovoltaico-eólico-diesel .....	72
4.2.4 Sistema fotovoltaico-eólico .....	72
4.3 Estado da arte dos sistemas híbridos.....	73
4.4 Sistemas híbridos: vantagens e desvantagens .....	74
4.5 Definindo a melhor estratégia de operação de sistemas híbridos .....	75
4.6 Outras fontes de energia utilizadas em sistemas híbridos.....	76
4.7 Estudos relacionados com sistemas híbridos .....	77
<b>5 MÉTODOS E TÉCNICAS .....</b>	<b>80</b>
5.1 Caracterização da região de estudo .....	80
5.2 Base de dados utilizada e o método de preenchimento de falhas .....	83
5.3 O Software Windographer® .....	84
5.4 O Software HOMER.....	84
5.5 Levantamento da carga a ser atendida .....	85
5.6 A análise técnica .....	85
5.7 A análise econômica .....	87
5.8 Síntese da aplicação dos procedimentos metodológicos .....	88
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>89</b>
6.1 Caracterização do perfil eólico e solar do estado do Piauí .....	89
6.1.1 O perfil eólico.....	89
6.1.2 O perfil solar.....	93
6.1.3 Mapeamento de regiões favoráveis aos sistemas híbridos de energia .....	96
6.2 Estimativa de energia anual produzida na região de estudo .....	98
6.2.1 Estimativa da energia produzida a partir dos recursos eólicos.....	98

6.2.2 Estimativa da energia produzida a partir dos radiação solar .....	101
6.3 Levantamento do perfil de demanda de energia elétrica da região de estudo .....	103
6.4 Configuração do sistema híbrido de energia elétrica .....	105
6.5 Análise técnica do sistema híbrido proposto .....	108
6.6 Análise econômica do sistema híbrido proposto .....	111
<b>7 CONCLUSÃO.....</b>	<b>121</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>124</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>131</b>
<b>SOBRE O AUTOR.....</b>	<b>143</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As fontes convencionais de energia tais como o petróleo, o gás natural e o carvão não respondem de modo satisfatório a todas as exigências das sociedades modernas. Uma economia de baixo carbono, a qual se baseia na aplicação de tecnologias que geram níveis reduzidos de gases causadores do efeito estufa, por exemplo, não pode ser majoritariamente apoiada nestas fontes energéticas.

A energia elétrica tem papel estratégico no desenvolvimento econômico de qualquer nação. Este caráter da energia requer uma permanente atenção em suas variantes, uma vez que os custos sociais de uma política energética mal conduzida podem ser elevados. A ausência da oferta de energia na qualidade e quantidade requeridas prejudica a capacidade de produção de um país e o excesso dessa oferta representa um desperdício de recursos. Desse modo, além do desejado equilíbrio entre oferta e demanda de energia elétrica, o planejamento energético deve priorizar a conservação de energia e preocupar-se com os impactos no meio ambiente (LIRA; MOITA NETO, 2013).

De acordo com o anuário estatístico de energia elétrica (2013), no Brasil foram consumidos, em 2013, 516,3 TWh (valor 3,6% acima do consumido em 2012) tendo registrado um consumo per capita de 2.580 kWh.

Historicamente, o Brasil é um país que teve seu abastecimento de energia baseado em hidrelétricas. No entanto, a construção de novos empreendimentos neste setor se depara com um cenário atual completamente diferente daquele encontrado quando da construção de gigantes usinas de geração de energia construídas no século passado. A legislação vigente que autoriza a construção de novos empreendimentos é muito mais criteriosa, sobretudo no que se refere ao aspecto ambiental.

Embora a energia hidráulica tenha sido responsável por 70% da matriz elétrica brasileira em 2013, esta fonte vem experimentando sucessivos decréscimos nessa participação. Este fenômeno pode ser atribuído a dois motivos: o primeiro diz respeito ao incremento de outras fontes de energia tais como a eólica e térmica; o segundo está relacionado ao regime de chuvas no país, uma vez que com a escassez de recursos hídricos e com a consequente redução no nível dos reservatórios das hidrelétricas, estas têm sua capacidade de produção comprometida.

O consumo crescente e o impacto ambiental e social causados pelas fontes de energias tradicionais no país levaram o governo e a sociedade a pensarem em alternativas para diversificar as fontes de geração de energia elétrica (BERMANN, 2008). Neste contexto, as fontes de energia eólica e solar ocupam lugar de destaque. Esta constatação, aliada a uma

contínua discussão sobre os impactos causados pela dependência de combustíveis fósseis, contribui para o interesse mundial por soluções em geração de energia a partir de fontes renováveis.

Para Giddens (2010), a problemática da mudança climática, tomada em suas distintas dimensões, impõe à sociedade, aos indivíduos, à ciência, ao estado e às empresas, um duplo desafio: o primeiro deles é a busca de referências para compreender esse fenômeno e seus impactos sobre o meio ambiente, a economia e a qualidade de vida; o segundo, a busca de soluções e o desenvolvimento de medidas e ações concretas a curto, médio e longo prazos, que visem a mitigar seus efeitos.

Os programas de atendimento às necessidades básicas do ser humano deveriam ter o objetivo de garantir padrões mínimos de alimentação, habitação, saúde, vestuário, condições sanitárias, educação e bons empregos. Embora a energia elétrica não esteja relacionada dentre estes itens, o atendimento de cada necessidade básica demanda consumo de energia. Portanto, dentro de uma política de atendimento destas necessidades, as tecnologias de uso de energia elétrica necessárias para satisfazê-las devem ser fornecidas e os suprimentos de energia necessários devem ser direcionados para estas tecnologias.

A energia elétrica é um serviço que deveria ser universalizado. No entanto, esta universalização está longe do ideal, uma vez que existem inúmeras comunidades, notadamente em regiões rurais e na região Amazônica, que ainda estão sem abastecimento deste recurso.

Uma comunidade que não dispõe de energia elétrica fica à margem da possibilidade de usufruir de todos os frutos tecnológicos que garantem o bem-estar do homem contemporâneo. Ter acesso às condições mínimas de fornecimento de energia elétrica, onde se levem em consideração os padrões de consumo, deveria fazer parte do elenco definidor de uma cidadania plena nas sociedades atuais. Nessa perspectiva, as comunidades sem acesso à energia elétrica vivem numa subcidadania. O acesso à energia elétrica deveria ser direito humano essencial, fundamental e universal e o uso é condição para o exercício dos outros direitos humanos.

Tendo em vista o cenário de incertezas delineado pelas sucessivas crises no setor energético, o estudo ora apresentado traz uma contribuição significativa. Devido à constante redução das chuvas em bacias hidrográficas importantes do país, houve uma contínua necessidade de se incorporar energia termoelétrica à matriz nos últimos três anos (AMORA, 2015). Esta alternativa tem custos ambientais e econômicos elevados, o que reforça a necessidade de sistemas alternativos.

Viabilizar a geração de energia a partir de fontes renováveis (por exemplo, eólica e solar) é antes de tudo uma contribuição do homem à conservação do meio ambiente, visto que

seus impactos ambientais podem ser menores se comparados com a construção de uma nova usina hidrelétrica ou do uso de termelétricas (MENDONÇA, 2012).

O caminho que leva ao verdadeiro conceito de sustentabilidade, na dimensão energética, requer uma apropriação tecnológica consolidada sobretudo, no que se refere ao uso de fontes renováveis de energia. A inserção, em particular no meio rural, da produção de energia através de sistemas autônomos apoiada em técnicas e rotinas mais eficientes é apenas um dos vetores que apontam para a melhoria da condição de vida das populações destas áreas.

A energia elétrica, por ser recurso estratégico, precisa ser explorado em sua diversidade de opções oferecidas hoje pelas tecnologias disponíveis. Neste trabalho, focou-se nos sistemas híbridos para identificar as condições de possibilidades de seu uso. A energia elétrica, a partir de sistemas híbridos que associam energia eólica e solar fotovoltaica, fornece para comunidades isoladas um desenvolvimento, no mínimo, mais sustentável do ponto de vista energético-ambiental do que o modelo convencional atual de abastecimento.

Experiências precedentes do Programa de Desenvolvimento Energético dos Estados e Municípios (PRODEEM) apontam a necessidade de apropriação tecnológica e manutenção quando se trata de sistemas tecnológicos mais sofisticados. Vários kits instalados no âmbito do programa foram desativados por falta de preparo técnico dos moradores das comunidades beneficiadas.

Mesmo a energia hidroelétrica de configuração considerada limpa na sua fase de operação encontra críticas principalmente em sua fase de implantação. A energia eólica, por si só bem mais limpa que outras fontes, necessita ser avaliada no que se refere a sua conexão com a rede elétrica quando não utilizada isoladamente. O mesmo ocorre com a energia fotovoltaica e sistemas que a integre.

O potencial de geração de energia elétrica disponível no estado do Piauí, em especial de natureza solar e eólica, ainda é pouco conhecido. O Piauí conta com uma usina hidrelétrica, cuja potência instalada é de 237 MW. Em termos de geração eólica, o estado conta com uma potência instalada de 293 MW. Por fim, através do PRODEEM foram instalados no estado 255 sistemas fotovoltaicos em 36 municípios, dos quais a maioria destinava-se ao bombeamento de água. Quase que na sua totalidade estes sistemas encontram-se desativados. Há ainda a previsão de construção de cinco usinas hidrelétricas no rio Parnaíba. Se por um lado estas novas usinas darão um incremento de 430 MW de potência instalada, também implicarão na remoção de 3742 famílias residentes ao longo das áreas diretamente afetadas, conforme apontam seus respectivos Relatórios de Impacto Ambiental (RIMA). Também significativo será o impacto sofrido pela fauna e pela flora existente nas regiões inundadas.

Quando a demanda de energia de uma determinada região é suprida por sistemas híbridos além de se evitar gastos com linhas de transmissão de energia há também uma contribuição do ponto de vista ambiental, já que a medida que se utiliza fontes alternativas de energia se reduz o apelo pela construção de novas hidrelétricas para suprir aquelas demandas.

Os sistemas híbridos já são uma realidade em várias regiões do mundo e no Brasil são encontrados em maior abundância na região amazônica e em localidades onde o acesso à energia elétrica de maneira convencional se torna muito difícil. A tendência atual desses sistemas se baseia em uma estrutura que combina geração elétrica de origem hídrica, solar, eólica, térmica e uso de gerador à base de biodiesel.

O problema da presente pesquisa é determinar se o fornecimento de energia a partir de sistemas híbridos se configura como alternativa viável ao sistema convencional no abastecimento de novos consumidores na comunidade rural de Roça de Baixo, município de Paulistana, estado do Piauí.

Os vetores que norteiam este projeto pretendem verificar a hipótese de que algumas regiões do estado do Piauí são favoráveis ao aproveitamento de energia de origem eólica e solar bem como a de que sistemas híbridos, que associam energia solar e eólica (e possivelmente grupos geradores) são alternativas viáveis ao uso da energia convencional tanto do ponto de vista técnico quanto econômico. Nesta perspectiva, a comunidade Roça de Baixo, localizada no município de Paulistana, foi escolhida para a realização deste estudo. Até então nenhum estudo nestes termos foi realizado no estado.

O objetivo geral deste trabalho é verificar a viabilidade técnica e econômica da utilização de sistemas híbridos como alternativa para o fornecimento de energia elétrica em comunidades rurais piauienses.

Como objetivos específicos a pesquisa busca quantificar e caracterizar os potenciais solar e eólico da região em estudo; traçar o perfil da demanda de energia para a região de estudo; dimensionar um sistema híbrido capaz de suprir essa demanda de energia elétrica e avaliar criticamente as possibilidades de sistemas híbridos no Piauí.

Como contribuição científica original este trabalho apresenta mapas de velocidade média do vento e de radiação solar para o estado do Piauí localizando regiões favoráveis ao aproveitamento das energias eólica e solar, respectivamente, ao tempo em que identifica possíveis sítios para instalação de sistemas híbridos de energia.

## 2 ASPECTOS E CENÁRIOS RELACIONADOS À ENERGIA ELÉTRICA

Quais são os serviços de energia elétrica necessários para o desenvolvimento sustentável e quais as perspectivas de se usarem recursos energéticos mais eficientes no provimento destes serviços? As tecnologias atuais de uso final da energia elétrica são relevantes para que se atinjam as metas de desenvolvimento? As fontes renováveis de energia podem desempenhar um papel importante no desenvolvimento? As respostas a estas questões constituem uma etapa fundamental para aqueles que configuram a energia elétrica como um instrumento de desenvolvimento. Para que o desenvolvimento não seja visto como um mero crescimento excludente como ocorreu no passado, é necessário acrescentar outras perguntas: qual o mínimo existencial de energia elétrica para o cidadão, sua família e seu pequeno empreendimento? Como prover energia com justiça?

As estratégias de suprimento de energia elétrica para o desenvolvimento devem considerar: a satisfação das necessidades humanas básicas; as atividades industriais que geram empregos; a produção agrícola e de que forma todos estes aspectos influenciam na demanda de energia elétrica e a opção por fontes alternativas de abastecimento.

De acordo com Hinrichs e Kleinbach (2010), a energia é um dos principais constituintes da sociedade moderna, sendo necessária para se criar bens com base em recursos naturais e para fornecer a maioria dos serviços com os quais a humanidade tem se beneficiado. O acesso à energia é uma das variáveis essenciais para se definir o quão desenvolvido é um determinado país.

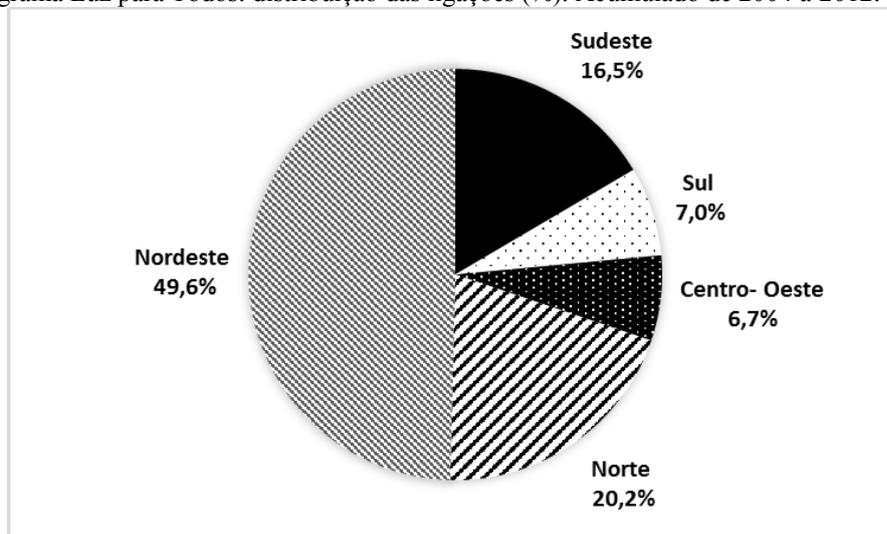
Segundo Katzenbach, Clauss e Zheng (2014), nas últimas décadas, os padrões de consumo de energia residencial tem experimentado novos cenários resultantes de mudanças demográficas em tamanho das famílias, mudanças de estilos de vida, condições climáticas, despesas familiares bem como outros fatores econômicos.

Para Di Lascio e Barreto (2009), a eletrificação de uma região é essencial para se alcançar o desenvolvimento sustentável. A universalização da energia elétrica de todas as moradias rurais do Brasil vem sendo promovida pelo Programa Luz para Todos (PLPT) do Ministério de Minas e Energia (MME). O programa atendeu, até junho de 2015, cerca de 15,5 milhões de moradores rurais, no entanto ainda existem 960 mil pessoas sem abastecimento de energia elétrica no Brasil, segundo dados do MME. Na figura 1 é apresentada a distribuição percentual, por região, de ligações do PLPT. A região Nordeste seguida pela região Norte foram as que mais receberam novas ligações no âmbito do programa. Estas regiões, as quais conjuntamente respondem por cerca de dois terços do total de ligações, não tiveram esta

expansão por acaso. A região Nordeste possui áreas de difícil acesso e de extrema pobreza, nas quais a energia elétrica não era exatamente considerada como prioridade. A região Norte, além de possuir áreas isoladas naturalmente pelo regime hidrográfico, ficou durante muitos anos à margem da infraestrutura do Sistema Interligado Nacional.

A demanda crescente por energia elétrica nas últimas décadas requer uma política energética bem estabelecida e com ações incisivas bem planejadas a fim de que não se repitam os erros do passado, quando os brasileiros tiveram que pagar o preço de um racionamento de energia, fruto da ação/omissão daqueles que conduziam tal política (LIRA; MOITA NETO, 2013).

Figura 1 - Programa Luz para Todos: distribuição das ligações (%). Acumulado de 2004 a 2012.



Fonte: adaptada de Ministério de Minas e Energia (2013).

Para o *United Nations Environment Programme* (UNEP) a energia está no centro da maioria das questões econômicas, ambientais e de desenvolvimento que o mundo enfrenta hoje. Serviços de energia limpa, eficiente, acessível e confiável são indispensáveis para a prosperidade global e também pode levar a um futuro sustentável para todos com múltiplos benefícios para o desenvolvimento, a saúde humana, o ambiente e as alterações climáticas.

As decisões tomadas hoje sobre como nós produzimos, consumimos e distribuímos energia influenciará profundamente a nossa capacidade de erradicar a pobreza, apoiar as oportunidades de desenvolvimento sustentável e responder de forma eficaz às mudanças climáticas. Enfrentar esses desafios está além do único alcance dos governos, vai exigir a participação ativa de todos os setores da sociedade, incluindo as comunidades locais, da sociedade civil e do setor privado.

Nos países industrializados, onde o nível do consumo de energia elétrica é muito elevado, a eficiência energética ainda pode melhorar muito proporcionando uma redução na

energia necessária para manter os atuais padrões insustentáveis de consumo. Já nos países em desenvolvimento, onde o consumo *per capita* é baixo, as necessidades de desenvolvimento econômico (e da população) vão aumentar. Fundamental é que junto com esse desenvolvimento venham tecnologias mais limpas e eficientes e, na medida do possível, energia renovável, que é o único caminho adequado para um desenvolvimento sustentável (GOLDEMBERG, 2010).

Para Reis e Silveira (2012), a questão energética, nos últimos anos, tomou posição central na agenda ambiental global, principalmente no que se refere às negociações da Convenção do Clima. Com efeito, uma razão pela qual a energia tem tomado atenção é que a atual matriz energética depende ainda, em torno de 80%, de combustíveis fósseis, cuja queima contribui para aumentar rapidamente a concentração de gases de efeito estufa na atmosfera. De qualquer modo, é preciso dizer que a importância da busca de uma maior eficiência energética e da transição para o uso de recursos primários renováveis têm sido ressaltadas em toda e qualquer avaliação sobre desenvolvimento sustentável, o qual, a nosso ver, pode ser entendido como o desenvolvimento resultante de um conjunto de ações onde se leve em consideração o uso racional dos recursos naturais e onde se vislumbre que a disponibilidade destes recursos para as gerações futuras depende de como os usamos no presente.

Para que o setor energético se torne sustentável, é necessário que seus problemas sejam tratados de maneira sistêmica. Além do desenvolvimento e a adoção de inovações tecnológicas também é preciso o envolvimento de políticas que tentem redirecionar as escolhas tecnológicas e os investimentos no setor tanto no suprimento quanto na demanda de energia, bem como uma mudança no comportamento dos consumidores.

O setor energético, embora tenha passado por uma rápida transformação, especialmente nas duas últimas décadas, deverá ainda passar por mudanças relevantes a curto e médio prazo não apenas devido às demandas relacionadas ao meio ambiente e modificações dos mercados, mas também devido ao fato de que novas políticas deverão mudar os rumos do desenvolvimento tecnológico do setor.

## **2.1 Aspectos socioeconômicos**

O estabelecimento e a quantificação das necessidades básicas do ser humano vêm sendo há algum tempo debatidas por economistas e planejadores. Contudo, a maioria concorda que os programas de atendimento das necessidades básicas deveriam garantir padrões mínimos de nutrição, habitação, saúde, vestuário, educação, condições sanitárias e trabalho decente.

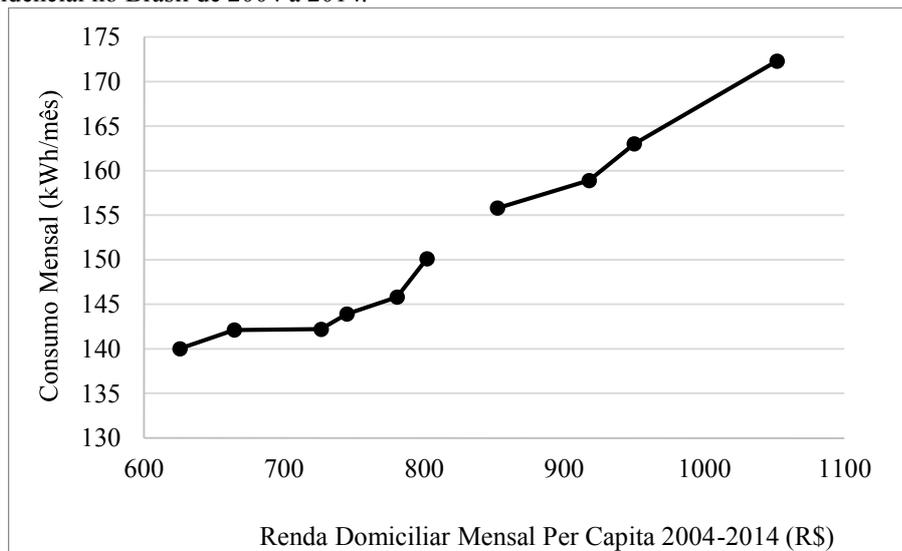
Embora a energia elétrica não esteja mencionada nessa lista, o atendimento de cada necessidade básica implica consumo deste recurso (GOLDEMBERG, 2010; WHITTON *et al.*, 2015).

Reis e Silveira (2012) afirmam que na organização mundial atual, a energia pode ser considerada um bem básico para a integração do ser humano ao desenvolvimento. Isso porque a energia proporciona oportunidades e maior variedade de alternativas tanto para a comunidade como para o indivíduo. Sem uma fonte de energia de custo aceitável e qualidade assegurada, a economia de uma região não pode se desenvolver plenamente.

A relação entre consumo de energia e renda tem sido bastante discutida e estudada (GOLDEMBERG, 2010; MELLO *et al.*, 2008; FUKS; SALAZAR, 2008). Essa relação pode ser evidenciada na figura 2, na qual é mostrada uma curva onde o incremento do consumo mensal residencial de energia ao longo dos anos acompanha o incremento anual da renda domiciliar mensal. Pela figura, verifica-se que o consumo de energia aumenta na medida em que o poder de compra das famílias aumenta. Com efeito, estas famílias, na busca de um maior conforto, tendem a adquirir equipamentos que favoreçam essa condição tais como, ar condicionado, máquina de lavar, televisores de dimensões maiores, etc.

Segundo a EPE (2013), os 30 países desenvolvidos que compõem a Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) são, historicamente, os maiores consumidores mundiais de energia. Já nos países em desenvolvimento, como nos da América Latina, a participação relativa ainda é pouco expressiva.

Figura 2 - Evolução anual da renda domiciliar mensal *per capita* e do consumo médio mensal de energia elétrica residencial no Brasil de 2004 a 2014.



Fonte: autor<sup>1</sup> (a partir dos dados do IBGE).

<sup>1</sup> Dado de 2010 não disponível (número de moradores por domicílio da Pesquisa Nacional por amostra de Domicílios).

A Organização Latino-Americana de Energia (OLADE) estabeleceu alguns indicadores de sustentabilidade que, de certa forma, são indicadores de oportunidade e condicionantes de um determinado país com relação ao seu desenvolvimento. A seguir são pontuados os indicadores das dimensões econômica e social:

Indicadores de dimensão econômica:

- Auto-suficiência energética: sustentabilidade associada à baixa participação de importações na oferta energética;
- Robustez diante das mudanças externas: sustentabilidade associada a baixo efeito de exportações energéticas no PIB;
- Produtividade energética: relação PIB/energia consumida, o inverso da intensidade energética.

Indicadores de dimensão social:

- Cobertura elétrica: porcentagem de lugares eletrificados;
- Cobertura das necessidades energéticas básicas: consumo de energia útil residencial.

### ***2.1.1 Energia e necessidade básicas do ser humano***

A estrutura da demanda de energia elétrica e seu respectivo suprimento dependem das estratégias escolhidas para aliviar a pobreza de um país, e uma especialmente promissora é a alocação de recursos para satisfazer as necessidades básicas do ser humano.

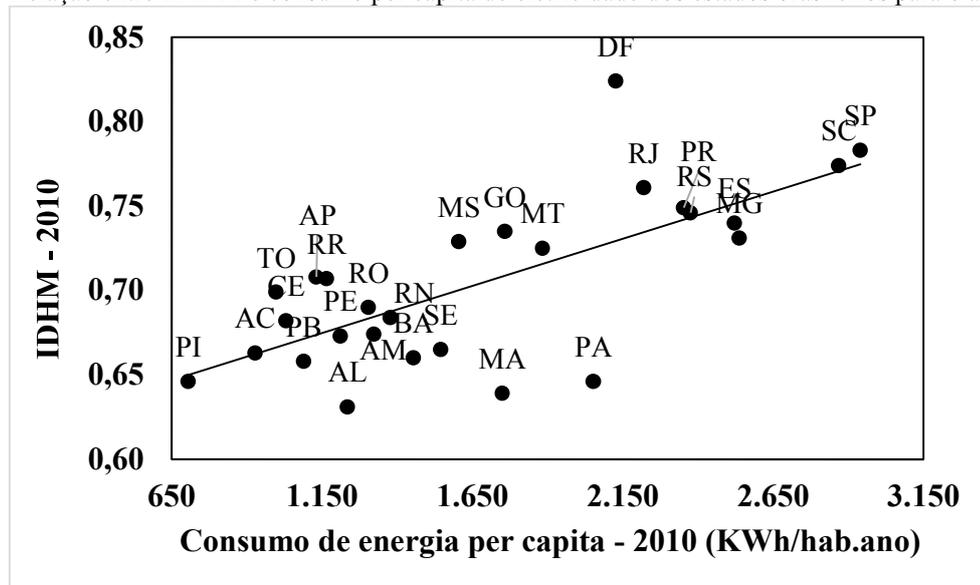
As implicações da política de energia num trabalho de atendimento das necessidades básicas do ser humano variam de um país para outro. A determinação dessas implicações pressupõe uma coleta detalhada de dados e análise de uso final e de sua respectiva demanda de energia, a estimativa da disponibilidade de recursos energéticos e avaliações de diferentes combinações de tecnologia de suprimento e uso de energia para atender estas demandas.

A falta de acesso à energia elétrica implica na privação de utilização de vários bens de consumo, muitos dos quais são instrumentos que levam a um melhor conforto e bem-estar. Nessa perspectiva, o abastecimento de energia, sobretudo nas comunidades rurais, deve ser visto como uma medida que leve cidadania às pessoas, garantindo a estas pelo menos um “mínimo existencial” energético, conceito que remete à ideia de que necessidades essenciais sejam atendidas tais como conservação de alimentos, acesso a comunicação e iluminação noturna.

O Índice de desenvolvimento Humano Médio (IDHM) está fortemente relacionado com o consumo de energia de uma região. Com efeito, a disponibilidade de energia elétrica é fator preponderante para o estabelecimento de melhores condições de vida das populações. Na figura

3 é apresentada a relação existente entre IDHM e consumo de energia nos estados brasileiros no ano de 2010. Na figura, o estado do Piauí, detentor de um dos menores valores de IDHM do país, destaca-se como o que menos consome energia. Na outra extremidade está o estado de São Paulo, com maior consumo. São várias as razões intrínsecas nesta relação, dentre as quais podemos destacar presença/ausência de um parque industrial consolidado.

Figura 3 – Relação entre IDH-M e consumo per capita de eletricidade dos estados brasileiros para o ano de 2010.



Fonte: autor.

Levar eletricidade a todas as habitações deveria ser prioridade de muitos programas voltados para as necessidades básicas do ser humano. Um enorme desafio seria a eletrificação de áreas rurais onde o acesso às redes elétricas centralizadas é dispendioso.

### 2.1.2 Energia e geração de empregos

Um país que enfatize a satisfação de prioridades básicas do ser humano, possivelmente se empenhará na procura de métodos de redução intensivos em mão de obra que permita a geração de empregos.

Os planejadores do desenvolvimento devem considerar as implicações de tecnologias alternativas e estratégias de industrialização no emprego. Atenção especial deve ser dada aos problemas decorrentes do investimento excessivo em indústrias de processamento de materiais básicos que geram relativamente poucos empregos.

Na medida em que os investimentos se devem a subsídios do produtor e do consumidor, esforços para alinhar os preços de energia com custos marginais de longo prazo seriam particularmente convenientes, como também o seriam mudanças nas políticas de investimentos

e de impostos, para eliminar o tratamento especial dado a tais indústrias (GOLDEMBERG, 2010).

O desenvolvimento do setor elétrico voltado para o atendimento ao mercado interno requer a geração de empregos, o que significa uma melhoria na distribuição de renda, pressuposto da sustentabilidade econômica e social.

O conceito de sustentabilidade econômica aplicável aos empreendimentos do setor elétrico tem uma dimensão propriamente econômica de sustentabilidade, baseada nas exigências de eficiência econômica e competitividade sistêmica necessária à acumulação de capital para continuidade ao processo de desenvolvimento econômico. Contempla também a exigência de um modelo de desenvolvimento econômico que atenda as exigências econômicas e sociais da geração adequada de empregos, da melhoria na distribuição funcional, regional e interpessoal da renda (MICHELLIS JÚNIOR, 2009).

Quando se fala da empregabilidade em instituições ligadas diretamente ao setor elétrico brasileiro, a maioria dos empregos concentra-se no segmento de distribuição de energia elétrica. Na tabela 1 é feita uma comparação entre os anos de 2004, 2009 e 2011 da distribuição de emprego formal no setor elétrico. Verifica-se que mais de 90% dos empregos gerados no setor se concentram nos segmentos de geração e distribuição, os quais compreendem todas as novas usinas sejam elas eólicas ou hidrelétricas bem como o abastecimento residencial, comercial e industrial de energia elétrica.

Tabela 1 – Distribuição de emprego formal no setor elétrico brasileiro.

<b>Segmento</b>	<b>2004</b>	<b>2009</b>	<b>2011</b>
Geração	29%	30%	32%
Transmissão	9%	6%	8%
Comercialização	0%	1%	1%
Distribuição	62%	63%	59%

Fonte: adaptada de RAIS/MTE.

### ***2.1.3 Energia para a agricultura***

Alimentar suas populações em rápido crescimento é outro grande desafio para os países em desenvolvimento. Tais desafios devem se configurar como incentivos para o

desenvolvimento de novas tecnologias, como por exemplo, combustíveis sintéticos derivados da biomassa.

Poucas demandas de energia nos países em desenvolvimento são tão cruciais quanto às necessárias à expansão da produção agrícola. Entretanto, os volumes de absolutos de energia requeridos podem ser obtidos através de uma estratégia orientada para o uso final da energia.

Esforços para melhorar a eficiência energética, sobretudo no maquinário agrícola com uso de motores e bombas com melhor rendimento, ajudam na redução do consumo de energia. A modernização do uso da bioenergia também facilita a expansão da produção agrícola.

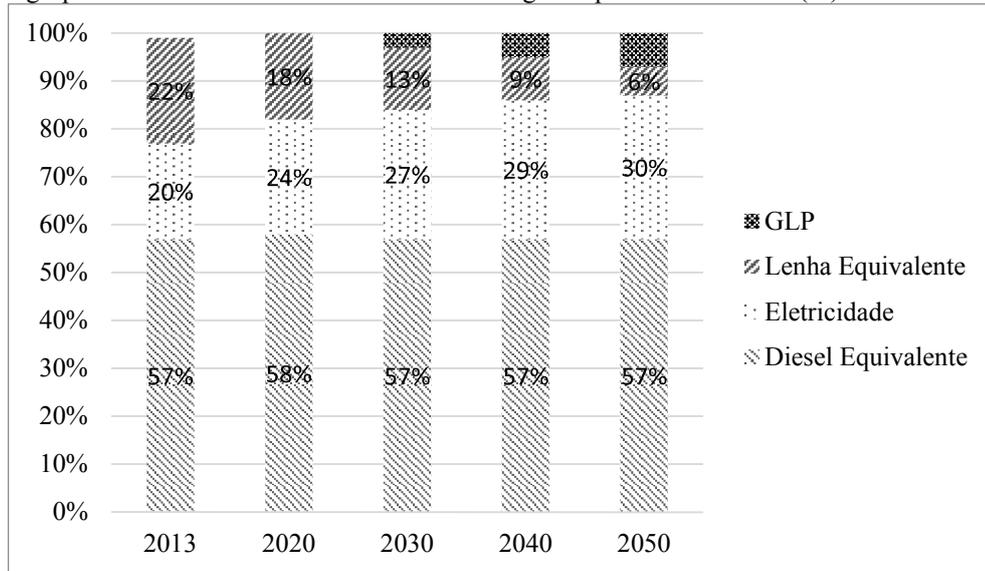
De acordo com o Plano Nacional de Agroenergia 2006-2011 (2006) a agricultura de energia provém de quatro fontes de biomassa: as derivadas de cultivos ricos em carboidratos ou amiláceos, que geram o etanol; as derivadas de lipídios vegetais e animais, que geram o biodiesel; a madeira, que pode gerar o metanol, briquetes ou carvão vegetal; e os resíduos e dejetos da agropecuária e da agroindústria, que podem gerar calor e energia elétrica. Em todas elas o Brasil tem vantagens comparativas na produção e pode criar vantagens competitivas para ser líder mundial no biomercado e no mercado internacional de energia renovável.

Segundo o anuário estatístico da Agroenergia (2013), com base na série histórica de 1980 a 2010, o Brasil vem se mantendo como o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, chegando a produzir 650 milhões de toneladas em 2010.

A Empresa de Pesquisa Energética (EPE) realizou estudos no sentido de estimar a demanda de energia até o ano de 2050 no setor agropecuário. Os resultados mostraram que as vantagens comparativas do agronegócio brasileiro impulsionam o crescimento do setor agropecuário a longo prazo, resultando em um crescimento médio da demanda de energia a uma taxa de 2,0% a.a., no período 2013-2050. Neste período, o crescimento da participação da demanda de eletricidade se dá principalmente pelo avanço do grau de irrigação da agricultura brasileira.

Na figura 4 é apresentada a estimativa de crescimento, em termos percentuais, até 2050 do consumo final de energia por fonte no setor agropecuário. A eletricidade é o único uso final que apresenta um crescimento decadal até 2050. A partir de 2030 o GLP passa a compor essa matriz de uso final da energia.

Figura 4 - Agropecuária: estimativa do consumo final energético por fonte até 2050 (%).



Fonte: EPE (2014).

### 2.1.4 Energia para a indústria

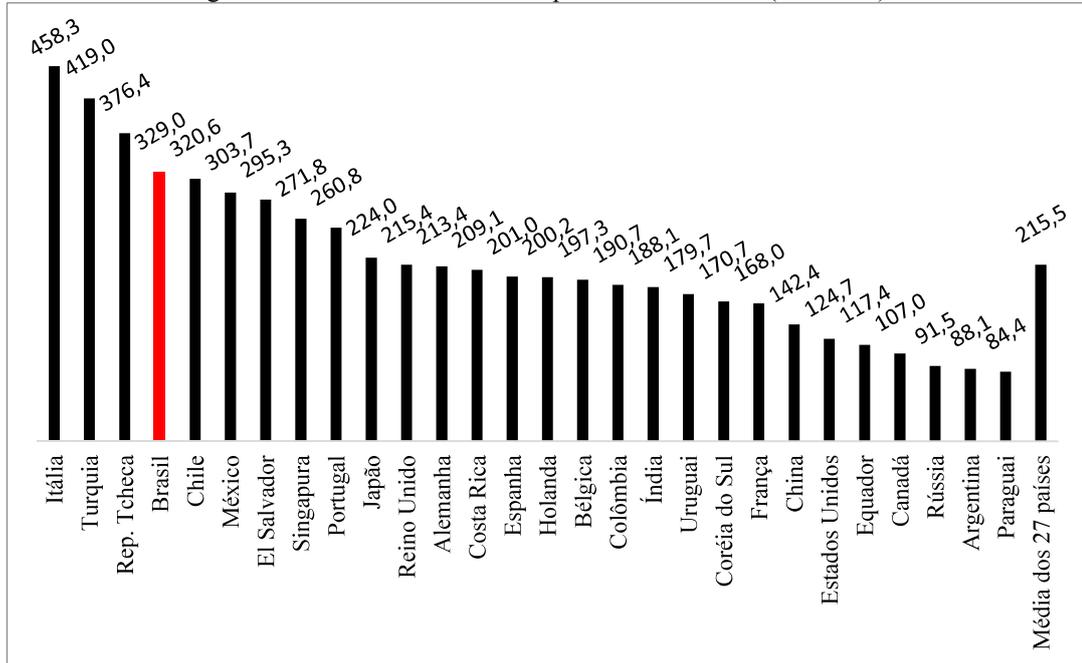
O setor industrial é o maior consumidor de energia elétrica no Brasil e tem aumentado sua participação no consumo brasileiro de energia elétrica, passando de uma participação de 27,7% em 1970 para 37,6% do consumo total do país em 2014, conforme mostrado na tabela 2. Embora a classe residencial tenha um número muito superior de unidades consumidoras do que a classe industrial é neste setor que se verifica o maior consumo de energia. Tal consumo se justifica pela enorme quantidade de motores em uso nas indústrias, sobretudo nas de transformação. Por outro lado, quando se fala em tarifa de energia elétrica industrial, o Brasil desponta como um dos países que possui uma das mais caras do mundo, como é mostrado na figura 5. De fato, a elevada carga tributária do Brasil faz com que a fatura mensal de energia elétrica corresponda a uma despesa considerável para a indústria.

Tabela 2 – Consumo de energia elétrica por classe - Brasil (GWh).

Classe	2010	2011	2012	2013	2014
Residencial	107.215	111.971	117.646	124.896	132.049
Industrial	179.478	183.576	183.475	184.685	178.055
Comercial	69.170	73.482	79.238	83.704	89.819
Outros	59.819	64.005	67.758	69.838	73.470

Fonte: EPE, 2015.

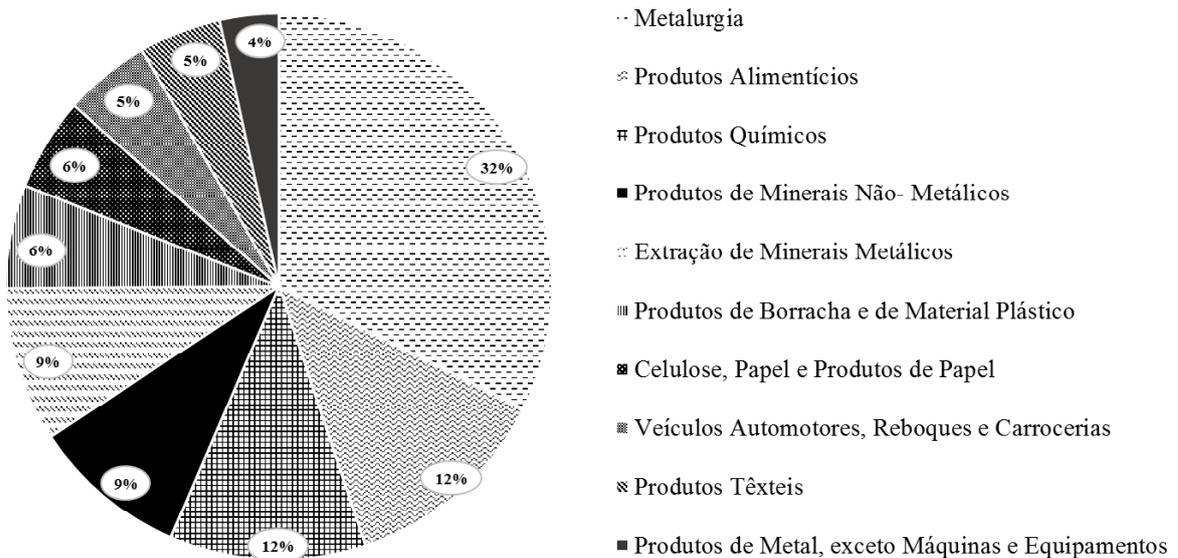
Figura 5 – Tarifa de energia elétrica do setor industrial – países selecionados (R\$/MWh).



Fonte: revista o setor elétrico, 2012.

Na indústria, segundo o anuário estatístico de energia elétrica (2013), os setores que mais demandaram energia elétrica foram os de metalurgia, alimentação e produtos químicos. Os três setores juntos totalizaram mais de 50% do consumo de energia na indústria em 2012. O resultado da participação dos setores industriais, em termos percentuais, é mostrado na figura 6.

Figura 6 – Brasil: consumo industrial de energia elétrica em 2012 por setor (%).



Fonte: EPE, 2013.

Na indústria, os maiores consumos de energia elétrica são devidos ao uso da força motriz, essencialmente devido à instalação de equipamentos, tais como motores, bombas, aparelhos de climatização e compressores utilizados no processamento de fluidos.

Existem processos nos quais a eletricidade é usada para simples aquecimento. Nestes casos, a troca pelo aquecimento a gás natural pode ser uma solução mais eficiente.

Além da força motriz, iluminação e refrigeração são os serviços energéticos gerais presentes na totalidade das indústrias, independentemente de porte, e para as quais é possível propor soluções para garantir uma melhor eficiência energética e produtividade às empresas (BERMANN, 2008).

As medidas de eficiência para o caso da força motriz passam pela troca de motores antigos por motores de alto rendimento. Embora de custo maior, estes motores se destacam por terem consumo reduzido, uma vez que a energia que se perde em forma de calor é praticamente nula. Um motor de alto rendimento pode ter custo de 20% a 50% mais caro que um tradicional, no entanto o *payback* do investimento é obtido na medida em que a indústria tem o consumo de energia reduzido.

No tocante a iluminação, todas as lâmpadas fluorescentes tubulares podem ser substituídas por lâmpadas fluorescentes compactas, as quais já tem seu uso amplamente difundido e por lâmpadas de led, as quais são ainda mais eficientes e têm uma vida útil de cerca de 25 vezes mais do que as compactas.

O mapa estratégico da indústria, 2013-2022, elencou o tema energia como prioritário, o qual tem como principal objetivo assegurar o suprimento, melhorar a qualidade e reduzir os custos da energia elétrica. As ações transformadoras para atingir esse objetivo são (CNI, 2013):

- Identificar e propor ações que assegurem o abastecimento de energia elétrica a preços competitivos e com qualidade;
- Identificar alterações regulatórias e de gestão que estimulem os investimentos públicos e privados no setor elétrico brasileiro;
- Propor alterações legais que estimulem a expansão de práticas de eficiência energética;
- Elaborar estudos que identifiquem as potenciais oportunidades de modernização e diversificação da matriz energética nacional.

Essa atenção especial dada pelo setor industrial ao tema da energia não é em vão. Com efeito, um abastecimento de energia que não apresente o mínimo de confiabilidade certamente não é atrativo para os consumidores deste setor, uma vez que interrupções no fornecimento podem trazer prejuízos irreversíveis.

## 2.2 Energia e meio ambiente

Os impactos ambientais oriundos do setor energético estão presentes em todo o seu processo de desenvolvimento, desde a obtenção de recursos naturais usados no processo de conversão de energia quanto nos seus mais variados tipos de usos finais deste recurso. Numa escala global, a energia tem papel impar nos principais problemas ambientais atuais.

A OLADE estabeleceu, assim como o fez para as dimensões econômica e social, indicadores de sustentabilidade da dimensão ambiental. São eles:

- Pureza relativa do uso da energia: relacionada com emissões de CO<sub>2</sub>;
- Uso de energias renováveis;
- Estoque de recursos fósseis e lenha.

As etapas de construção e operação de usinas elétricas acarretam significativas modificações no meio ambiente. Os impactos advindos destas usinas podem incorrer direta ou indiretamente sobre seres humanos, fauna, flora e materiais. A preocupação com impactos globais ocasionados pelas usinas, tais como chuva ácida, efeito estufa, mudanças climáticas e perda da biodiversidade têm sido cada vez mais crescentes.

Nesta subseção, reservamos três meios de produção de energia elétrica (hidráulica, térmica e nuclear) e seus respectivos impactos no meio ambiente. Os impactos referentes às fontes de energia eólica e solar serão abordados nas seções destinadas à discussão destas temáticas.

### 2.2.1 Projetos hidrelétricos

No que se refere à produção de energia de origem hidráulica, quando o rio é represado artificialmente, a edificação de barragens e consequente formação de reservatórios alteram profundamente a dinâmica existente nas relações ecológicas da região. Neste sentido a região é afetada por um conjunto de mudanças principalmente devido a (ELETROBRAS, 1986):

- Alterações de ecossistemas terrestres e aquáticos, cujos efeitos podem ser severos sobre a flora, fauna, qualidade da água e sistemas ecológicos já afetados;
- Formação de novos ecossistemas;
- Alteração das condições sociais, econômicas e culturais causadas, inicialmente, pela mobilização e chegada de grandes massas de trabalhadores para atuarem na etapa de construção da barragem e sua interação com a população existente, e num segundo momento, pelo reassentamento das populações localizadas na área do reservatório.

Após a construção da hidrelétrica um impacto marcante é o processo de eutrofização das águas, que se caracteriza pelo excesso de nutrientes, acarretando conseqüentemente o aumento de microorganismo, o qual pode causar epidemias. Há ainda a emissão de gás carbônico devido ao apodrecimento de plantas mortas pela inundação.

Para Furtado (2013), do ponto de vista das mudanças climáticas, as hidrelétricas também têm sua contribuição neste processo, uma vez que com a formação de lago onde havia floresta pode ocorrer elevação da temperatura ambiente local e conseqüente alterações no regime de chuvas.

### **2.2.2 Projetos termelétricos**

Na termoeletricidade há necessidade de energia em forma de vapor para fazer girar o eixo do gerador. A obtenção desse vapor é feita através da queima de combustíveis. O combustível utilizado para a obtenção do calor necessário para o processo, apresenta-se sob diversas formas tais como gás natural, derivados de petróleo, carvão mineral e vegetal, xisto betuminoso, resíduos de madeira e da produção agrícola, lixo doméstico e urânio.

As usinas térmicas possuem como principais fatores poluentes o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) e ozônio troposférico; deposição ácida e poluição particulada. A identificação destes impactos depende de uma série de fatores relacionados com as características das usinas e condições atmosféricas, biológicas, geofísicas, ecológicas e fisiológicas (FURTADO, 2013).

Os impactos ambientais advindos de termelétricas que contribuem para o aquecimento global e chuva ácida são preocupantes principalmente por conta dos gases emitidos e que contribuem para o efeito estufa. O dióxido de carbono é responsável por aproximadamente 50% deste fenômeno.

Os óxidos de enxofre podem acarretar problemas para a saúde humana, redução da visibilidade e corrosão de materiais, podendo afetar ainda a fauna e a flora, ocasionando inclusive a redução de colheitas (ELETROBRAS, 1992).

No que tange aos óxidos de nitrogênio, estes contribuem significativamente para muitas outras questões relacionadas a poluição atmosférica inclusive com emissão de particulados, os quais são causadores de problemas para a saúde humana, interfere na visibilidade, nos materiais e no clima.

O ozônio caracteriza-se como um poluente secundário. Na atmosfera, o ozônio é benéfico à vida devido ao seu papel de proteção contra raios ultravioletas, porém em baixas altitudes sua elevada concentração implica em danos à saúde e ao meio ambiente.

### ***2.2.3 Projetos de usinas nucleares***

Os principais impactos causados pelas usinas nucleares estão relacionados com as seguintes situações:

- Emissões radioativas rotineiras no processo de operação da usina;
- Disposição dos resíduos da usina;
- Resíduos intermediários;
- Risco de acidentes catastróficos.

Importante também é o impacto causado devido aos sistemas de resfriamento da água utilizada nas usinas nucleares, a qual, ao ser rejeitada, pode afetar a fauna aquática. Emissões de dióxido de carbono também ocorrem durante as etapas de mineração do urânio, o enriquecimento do mesmo e a construção da usina.

Embora tenha problemas de risco, confiabilidade e de aceitação por parte da população, a energia nuclear possui várias vantagens quando comparadas às termelétricas. Usinas nucleares não emitem gases de efeito estufa (na fase de operação da usina), além de terem como fonte um combustível, em geral, menos escasso do que o petróleo e o gás.

## **2.3 Um olhar sobre o cenário energético**

### ***2.3.1 Panorama energético internacional***

Os combustíveis fósseis, historicamente, sempre foram uma marca do padrão de consumo de energia nos Estados Unidos. No entanto, tem-se observado mudanças significativas neste padrão na medida em que o país passa a se preocupar com uma maior inserção das energias renováveis em sua matriz energética. O governo americano anunciou em 2015 um conjunto de medidas visando à redução de 30% (até o ano de 2030) da emissão de CO<sub>2</sub> originados a partir das termelétricas. Dentre as medidas está a substituição do carvão usado na térmicas por gás natural.

Os Estados Unidos consomem aproximadamente 25% de toda a energia usada no planeta, embora integrem apenas 4,6% da população mundial. Em 2003, 85% da energia consumida nos Estados Unidos vinha de combustíveis fósseis (Fonte: EIA, 2013). Nos dias atuais, os Estados Unidos dependem menos do petróleo para sua mistura no combustível e mais

do carvão, do gás natural, da energia nuclear e das tecnologias renováveis<sup>2</sup> do que há 10 anos. O consumo de energia elétrica *per capita* nos EUA foi de 13.296,18 kWh em 2012.

O Annual Energy Outlook 2013 (AEO2013) elaborado pela Energy Information Administration EUA (EIA), apresenta a longo prazo projeções de oferta de energia, demanda e preços por fonte até 2040. Na projeção de alguns destes dados, três cenários são apontados: o caso de referência (*Reference case*), o caso sem declínio (*No Sunset case*) e o caso de políticas ampliadas (*Extended Policies case*).

O caso de referência é um cenário bastante conservador, onde o crescimento econômico é da ordem de 2,7% ao ano (2011 a 2040), o preço do petróleo, na condição *in natura*, cresce até aproximadamente US\$ 125 por barril<sup>3</sup> em 2040 e o modelo do setor das fontes renováveis são estabelecidos o mais cedo possível.

O ponto de partida do caso sem declínio é o caso de referência acrescentando-se a condição de que os programas que envolvem a política energética e sua respectiva legislação não irão declinar, exceto aqueles que necessitam de financiamento adicional (por exemplo, programas de garantia de empréstimos) e aqueles que envolvem análise regulatória bem estabelecida, como a melhoria da economia média de combustível.

O caso de políticas ampliadas parte do caso sem declínio, mas exclui a condição de financiamento e outros créditos fiscais de biocombustíveis que foram incluídos no caso sem declínio. Assume a expansão do máximo crédito fiscal ao investimento industrial e dos créditos de cogeração de energia.

O AEO2013 faz uma projeção para o período 2011-2040 da capacidade de geração por fonte que pode ser adicionada à matriz energética americana comparando o caso de referência com quatro possibilidades: custo estável de novas usinas de energia; diminuição dos custos de novas usinas; baixo custo da produção de energia nuclear e baixo custo das tecnologias relacionadas aos combustíveis fósseis. Em todos os casos a fonte que se destaca em capacidade de geração é o gás natural. No cenário onde se tem a diminuição dos custos de novas usinas todas as fontes tem sua capacidade de produção maior quando comparada ao caso de referência, sendo mais favorável às fontes renováveis com mais de 80 GW adicionados na geração.

No que se refere à geração de energia elétrica por fonte em 2011 comparada com a projeção feita pelo AEO2013 para 2040, constata-se a forte presença do carvão, no entanto esta fonte deve sofrer um decréscimo na produção partindo de uma participação percentual de 42%, em 2011 e com estimativa de participação de 38% em 2025 e 35% em 2040. As fontes

---

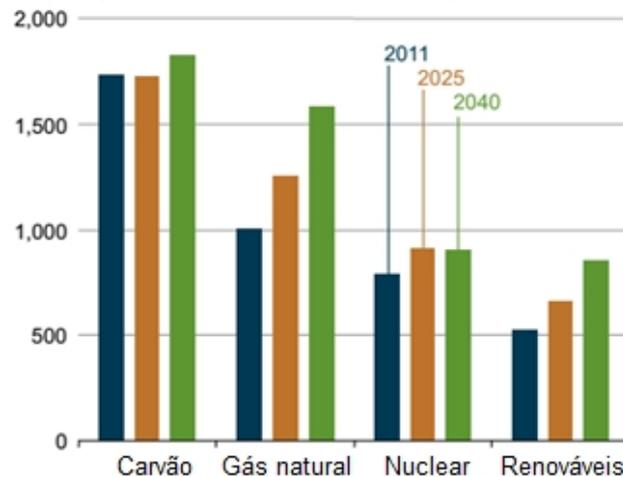
<sup>2</sup> No cenário americano incluem energia eólica, hídrica convencional, solar e geotérmica.

<sup>3</sup> Baseado no poder de compra do dólar no ano de 2011.

renováveis aumentam sua participação na matriz de 13% em 2011 para 16% em 2040. Na figura 7 apresenta-se a geração de eletricidade por fonte em 2011 e estimativa para os anos de 2025 e 2040 (em bilhões de kWh).

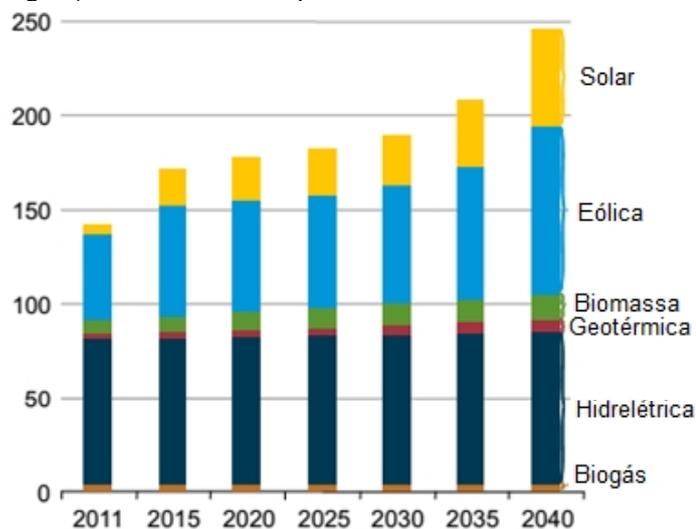
Quando se fala em fontes renováveis, o AEO2013 projeta a capacidade de geração por fonte (excluindo-se aqui a energia hídrica). A Capacidade total aumenta de 145 gigawatts em 2011 para aproximadamente 250 gigawatts em 2040. A capacidade de geração solar aumenta em mais de 1000%, ou 46 gigawatts, de 2011 a 2040. Tal incremento deve-se, em parte, à redução no custo de sistemas fotovoltaicos ao longo do período de projeção. Quanto à energia eólica verifica-se na capacidade de geração de 42 gigawatts no período projetado (AEO2013). Na figura 8 é apresentada a capacidade de geração de eletricidade a partir de fontes renováveis (incluindo a hidráulica, geotérmica, biomassa e biogás).

Figura 7 – Geração de eletricidade por fonte em 2011 e estimativas para 2025 e 2040 (em bilhões de kWh).



Fonte: EIA, 2013.

Figura 8 – Capacidade de geração de eletricidade a partir de fontes renováveis 2011-2040 (em GW).



Fonte: EIA, 2013.

Quando a projeção do mercado residencial de energias renováveis (solar e geotérmica) é feita para os casos de referência e políticas ampliadas nos períodos de 2011, 2025 e 2040, constata-se o carácter incentivador das fontes alternativas proporcionado pelo cenário do caso de políticas ampliadas. Tal constatação também é feita quando se projeta até 2040 a adição na geração de fontes de energia para o setor comercial. A geração a partir de energia eólica e solar no setor comercial pode sofrer uma adição de aproximadamente 0,9 GW e 2,9 GW, respectivamente, no período de projeção.

Ao analisarmos as projeções percebe-se que há uma preocupação com a diversificação da matriz energética. Embora apenas 1% da energia consumida seja de origem eólica, há um indicativo de crescimento deste tipo de fonte, inclusive com incentivos financeiros federais. Do ponto de vista ambiental tal diversificação é um dos fatores que podem contribuir para a redução da poluição atmosférica. Os valores ambientais precisam ter a mesma importância que a segurança energética. Há que se reconhecer que mudanças tão significativas que necessariamente passam pela forma de uso da energia pelos americanos requeem longos períodos para se estabelecerem (LIRA; MOITA NETO, 2013).

Os Estados Unidos contam com a quarta maior reserva de xisto do mundo, num volume de 18,8 milhões de m<sup>3</sup> –ficando atrás da China, da Argentina e da Argélia. A expansão acelerada da produção de gás de xisto pode causar impactos significativos na configuração da matriz energética dos Estados Unidos. O país poderá sair da situação atual, em que é necessário importar gás natural, para uma condição de fornecedor mundial do produto (AEO2013).

O efeito do aumento da produção do gás de xisto deve ser significativo na matriz do setor de geração de energia elétrica. O crescimento projetado pela EIA para o consumo do gás é de 1,6% ao ano, saindo de uma participação de 24% em 2011 para 30% em 2040.

No que diz respeito ao continente europeu, a União Europeia (UE) possui uma comissão encarregada de pensar as políticas energéticas, a qual adotou uma série de objetivos e estratégias relacionadas à energia. A energia é uma das áreas contempladas pelo ambicioso programa de crescimento denominado Europa 2020.

A importação de energia é algo crucial para os europeus. A UE destina cerca de 2,5% do seu PIB anual para este fim. São 270 bilhões de Euros em petróleo e 40 bilhões de Euros em gás. A energia é responsável por 80% das emissões de gases com efeitos de estufa da UE. Na tentativa de criar mecanismos que reduzam este impacto, a UE se propõe a investir cerca de 1 bilhão de Euros (principalmente do setor privado) até 2020 na área de energia (COMISSÃO EUROPEIA, 2010).

Na Tabela 3 apresenta-se a capacidade de energia elétrica instalada por região do mundo. A Europa aparece como a terceira maior região em termos de produção (EPE, 2014), apresentando um acréscimo de 105,3 GW no período de 2006 a 2011.

A capacidade instalada de geração hidroelétrica por região do mundo é mostrada na Tabela 4. A Europa é a segunda na geração deste tipo de fonte, mas, devido as suas limitações hidrográficas para construção de novas usinas, não vem tendo acréscimo consideráveis podendo ser ultrapassado pela América do Norte nos próximos anos. Não se pode deixar de constatar, contudo, o significativo aumento na capacidade de geração hidrelétrica da Ásia e Oceania (de 239,7 GW em 2006 para 359,2 GW em 2011), o qual se deve principalmente à entrada em operação da hidrelétrica de Três Gargantas, na China.

Tabela 3 - Capacidade instalada de geração elétrica por região do mundo (GW) até 2010.

	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Mundo	4.302,2	4.476,1	4.641,5	4.842,7	5.066,8	5.204,7
Ásia & Oceania	1.415,8	1.540,5	1.645,8	1.760,6	1.892,7	2.013,8
América do Norte	1.165,9	1.179,4	1.196,4	1.220,8	1.238,3	1.230,8
Europa	873,2	891,1	914,3	940,4	981,9	978,5
Eurásia	349,0	351,8	350,9	353,1	356,7	357,3
América do Sul e Central	228,1	235,2	242,8	252,9	263,2	269,9
Oriente Médio	153,2	159,1	167,6	184,9	200,1	218,5
África	117,2	119,0	123,7	130,0	133,8	135,8

Fonte: EPE, 2014.

Tabela 4 - Capacidade instalada de geração hidrelétrica por região do mundo (GW) até 2010.

	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Mundo	793,8	821,4	853,8	887,4	917,5	949,1
Ásia & Oceania	239,7	258,5	286,2	312,9	337,1	359,2
Europa	161,5	162,9	164,4	166,4	168,1	171,6
América do Norte	161,3	162,7	163,6	164,6	165,1	165,2
América do Sul e Central	131,5	135,4	136,6	139,1	141,1	144,6
Eurásia	68,3	69,2	69,5	69,9	70,0	70,4
África	21,3	21,5	21,9	23,1	24,1	25,6
Oriente Médio	10,3	11,1	11,6	11,4	12,2	12,5

Fonte: EPE, 2014.

Uma das metas da UE relacionadas à energia diz respeito às fontes renováveis. O objetivo é aumentar a participação destas fontes para 20% da matriz energética europeia até 2020 (COMISSÃO EUROPEIA, 2015).

Os dados mostrados na tabela 5 revelam que a Europa lidera a capacidade instalada de energia renovável por região do mundo. Com efeito, é nessa região que se encontram os países líderes na produção de energia solar e eólica.

Tabela 5 - Capacidade instalada de geração de energia renovável<sup>4</sup> por região do mundo (GW) até 2010.

	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Mundo	136,2	160,5	197,4	237,7	293,3	392,2
Europa	72,8	84,1	100,1	120,7	145,7	183,0
Ásia & Oceania	24,7	31,1	41,9	49,4	71,1	116,7
América do Norte	29,7	35,8	44,9	56,5	62,6	73,8
América do Sul e Central	7,6	7,9	8,7	8,9	11,2	15,6
África	1,0	1,1	1,3	1,5	1,7	1,8
Eurásia	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	1,0
Oriente Médio	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	0,3

Fonte: EPE, 2014.

Segundo a Comissão Europeia, para que as metas sejam alcançadas quatro grandes compromissos foram firmados:

- Estabelecimento de um modelo para o mercado interno de energia – os mercados da energia continuam altamente concentrados, portanto é necessário incentivar a entrada de novos operadores e de fornecedores independentes bem como incentivar os consumidores a mudar de fornecedor. A UE precisa de mercados da energia abertos e concorrenciais.
- Pôr fim às “ilhas energéticas” até 2015 - apenas 3% da eletricidade da UE é transacionada além fronteiras; várias regiões não estão ligadas ao resto da UE; a segurança quanto à procura e às necessidades tecnológicas futuras somadas às perspectivas de rentabilidade econômica e melhoria da regulamentação tarifária são condições essenciais para uma interconexão integral.
- Impulsionar a eficiência energética - reduzir a despesa anual da Europa com energia em 200 bilhões de Euros em 2020; reduzir as faturas anuais dos consumidores em 1000 Euros por família (cerca de 3816 kWh/ano); estabelecer normas de eficiência tanto para edifícios, especialmente os públicos que representam 12% do parque imobiliário da UE.
- Reforçar a coordenação da política externa da UE em matéria de energia – integrar os seus vizinhos do sul e do leste no seu mercado energético e reforçar a cooperação com os principais fornecedores; avançar na criação de uma interface europeia única para negociar acordos de aquisição com os países produtores.

### 2.3.2 Contexto brasileiro

“O Brasil passa por um momento de definições estratégicas no setor energético. No tocante à geração elétrica, enfrenta resistência na construção da segunda maior hidrelétrica da

<sup>4</sup> Fontes alternativas: geotérmica, eólica, solar, das marés, das ondas, biomassa e resíduos.

sua história, Belo Monte; vê a energia eólica se tornar uma real alternativa e teve as primeiras usinas fotovoltaicas arrematadas em leilão” (SECCO, 2014). As decisões tomadas nos próximos anos definirão como o país avançará na sua matriz energética. A presença das usinas hidrelétricas ainda é marcante no país (2º lugar no ranking mundial neste tipo de geração) com 70,6% da participação na matriz elétrica que equivalem à 82,2 GW de potência instalada. De toda a energia hidrelétrica global 12% é gerada no Brasil. O país possui até 2014 180 usinas hidrelétricas em operação e 12 em construção. Em 2020, quando as novas usinas estiverem em operação a potência hidrelétrica instalada no país será de 98,4 GW.

A rede de transmissão de energia cresceu bastante chegando a atingir 150 mil quilômetros de extensão em 2013 (EPE, 2013). Ainda assim, em algumas regiões ela precisa ser ampliada, principalmente para dar vazão à produção de energia de origem eólica.

A demanda por energia elétrica cresce a cada ano em todas as classes de consumidores. Na Tabela 6 é apresentado o acréscimo de consumo em cada classe de 2008 a 2013. A indústria foi responsável por quase metade de toda a energia consumida no país (184 TWh em 2013). O incremento na classe rural se deve principalmente ao Programa Luz para Todos do Governo Federal lançado em 2003. Identifica-se também na tabela o reflexo da crise econômica mundial de 2008 na indústria o que é constatado pela redução no consumo de energia do setor no biênio 2008/2009.

Em novembro de 2015, o Brasil possuía 7,5 GW de potência eólica instalada, o equivalente à 5% da potência de todas as usinas geradoras do país. A expansão foi substancial, porém está aquém dos principais investimentos mundiais em energia eólica. A China, por exemplo, planeja investimentos de mais de 40 bilhões de dólares nesse setor. Uma avaliação feita pela EPE, em 2011, indicou que o potencial de geração de energia eólica do país é de, pelo menos, 300 GW.

Tabela 6 – Consumo de energia elétrica por classe no Brasil (em GWh).

	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Brasil	388.472	384.306	415.683	433.034	448.117	463.335
Residencial	94.746	100.776	107.215	111.971	117.646	124.896
Industrial	175.834	161.799	179.478	183.576	183.475	184.609
Comercial	61.813	65.255	69.170	73.482	79.238	83.695
Rural	17.941	17.304	18.906	21.027	22.952	23.797
Poder público	11.585	12.176	12.817	13.222	14.077	14.608
Iluminação pública	11.429	11.782	12.051	12.478	12.916	13.512
Serviço público	12.853	12.898	13.589	13.893	14.525	14.847
Próprio	2.270	2.319	2.456	3.295	3.288	3.372

Fonte: EPE, 2014.

O ano de 2011 marcou a inauguração da primeira usina solar comercial do país situada na cidade de Tauá, sertão cearense, com investimentos de 12 milhões de reais. Nos três primeiros meses de operação, produziu uma média mensal de 150 MWh, com 4700 painéis fotovoltaicos espalhados numa área de 12 mil metros quadrados. Essa capacidade será expandida de 1 MW para 5 MW nos próximos anos. Mas é no município de Tubarão (Santa Catarina) que está situada a maior usina de geração de energia solar fotovoltaica do país, com potência instalada de 3 MW.

Com a realização de leilões voltados para a contratação de energia solar fotovoltaica, a participação desta fonte na matriz energética nacional deve aumentar nos próximos anos. No leilão realizado em agosto de 2015, foram contratados 1000 MW em várias regiões do país, sobretudo nos estados da Bahia e do Piauí.

Mesmo com a existência de planejamento energético nacional, as variáveis meteorológicas, essenciais nesse planejamento, nem sempre se apresentam dentro do previsto, especialmente as que afetam os níveis dos reservatórios que dão suporte à geração de energia hidráulica (responsável pela maior parte do abastecimento do país).

O risco de racionamento tem sido amenizado com a entrada em operação de usinas termelétricas, mas a que custo? Além do custo econômico, parte do qual tem sido assumido pelo governo federal como forma de subsidiar as concessionárias para que estas não aumentem suas tarifas de energia elétrica, existe também um custo ambiental, pois toda vez que se recorre à entrada em operação de uma termoelétrica, os índices de emissão de CO<sub>2</sub> na atmosfera aumentam significativamente. O Operador Nacional do Sistema (ONS) recorre às termoelétricas sempre que o abastecimento de energia via hidrelétricas fica comprometido. Nos dez primeiros dias de fevereiro de 2014, a demanda atendida pelas termoelétricas bateu recorde chegando ao valor médio diário de 12.887 MW (Folha de S. Paulo). Esse valor é 50 vezes a capacidade instalada na hidrelétrica de Boa Esperança localizada no município de Guadalupe, sul do Piauí.

A geração de energia eólica e solar pode ajudar a “desafogar” o sistema elétrico. Muito se tem investido na prospecção e construção de novos parques eólicos. No entanto, na contramão da expansão energética constatamos a falta de logística do governo para dar “vazão” à geração eólica. Existem no país vários parques prontos para “injetar” na rede a energia produzida, mas que não o fazem por falta de infraestrutura de linhas de transmissão para levar essa energia até os centros de consumo. São 36 parques nessa situação de um total de 167 instalados.

### 2.3.3 Contexto piauiense

O estado do Piauí tem um potencial de geração de energia elétrica, o qual ainda não é plenamente conhecido, sobretudo quando se fala em energia solar e eólica. Quase que a totalidade da demanda energética do estado é atendida pela geração hidrelétrica.

O estado conta com uma usina hidrelétrica localizada no município de Guadalupe, a qual possui uma potência instalada de 237 MW, equivale a 0,2% da potência instalada no Brasil deste tipo de fonte. No entanto, pouco mais da metade dessa potência instalada não é aproveitada.

Ainda no tocante a geração hidráulica, existe a previsão da instalação de mais 5 hidrelétricas no Rio Parnaíba, as quais quando em operação darão um ganho de 430 MW de potência instalada no estado. Estes empreendimentos já tiveram seus Relatórios de Impacto Ambiental (RIMA) realizados e aguardam para ir à leilão.

A concessionária de energia elétrica do estado, Eletrobrás Piauí, está 98,54% sob controle do Governo Federal. A concessionária distribuiu em 2013, 2,8 TWh de energia elétrica. O número de unidades consumidoras atendidas pela estatal no mesmo ano foi de 1,1 milhões, aproximadamente. Segundo a Eletrobrás/PI (2013) o estado possui 20.000 residências sem abastecimento de energia elétrica. A energia distribuída no estado é direcionada eminentemente para o abastecimento residencial que conta com 967 mil unidades consumidoras (1328 GWh em 2013). O setor rural é o menor de todos com apenas 30 mil unidades consumidores (129 GWh consumidos em 2013).

Na tabela 7 verifica-se como o consumo de energia elétrica da classe residencial no estado tem aumentado nos últimos anos. O Piauí, em geral, acompanha o crescimento de consumo dos demais estados da região nordeste. No período de 2006 a 2013, a energia consumida em território piauiense quase que duplicou. O aumento do poder de compra da população associada à facilidade de compra de novos equipamentos elétricos se configura como algumas das causas desse aumento.

Tabela 7 – Consumo residencial de eletricidade nos estados da região nordeste 2006-2013 (em GWh).

ESTADO	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
NORDESTE	13.980	14.843	16.515	17.999	19.284	20.163	21.395	23.964
Maranhão	1.203	1.369	1.466	1.641	1.917	2.041	2.258	2.563
Piauí	665	717	760	808	990	1.029	1.194	1.328
Ceará	2.255	2.343	2.609	2.791	2.949	3.032	3.357	3.751
Rio G. do Norte	1.063	1.138	1.198	1.312	1.468	1.531	1.636	1.805
Paraíba	962	977	1.045	1.109	1.264	1.356	1.431	1.603
Pernambuco	2.886	3.056	3.206	3.507	3.791	3.933	4.028	4.563
Alagoas	694	750	809	854	926	1.020	1.096	1.227
Sergipe	592	597	651	734	803	854	890	979
Bahia	3.660	3.897	4.770	5.243	5.176	5.367	5.505	6.144

Fonte: EPE, 2014.

Em termos de geração eólica, o Estado conta com uma potência instalada de 293 MW (ABEEeólica, 2015). A energia eólica tem ganhado destaque no Piauí principalmente pela ampliação das possibilidades de instalação de novos parques. O Estado foi o que mais teve projetos contratados no último leilão realizado pelo Ministério de Minas e Energias para fontes alternativas de energia. No leilão, realizado em novembro de 2014, dos 800 MW comprados, 240 são do Piauí. Os projetos contratados estão localizados na Chapada do Araripe, na região abrangida pelos municípios de Padre Marcos, Simões e Marcolândia, que se juntam a outros 400 MW do município de Caldeirão Grande.

No que se refere à energia solar, segundo Moraes (2013), no Piauí o PRODEEM, criado em 1994 pelo Governo Federal com o objetivo de atender comunidades carentes isoladas não servidas por rede elétrica através de energias renováveis descentralizadas, só começou a ser implantado em 1997, tendo como agente regional a então Companhia Energética do Piauí S/A (CEPISA), que foi responsável pelas fases I e II programa. A CEPISA instalou 78 sistemas fotovoltaicos, entre energéticos, bombeamento e iluminação pública. Em 1999, o PRODEEM passou a ser gerenciado pela Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Piauí (SEMAR-PI), que executou as fases III, IV e emergencial do programa. Nestas fases foram instalados 187 sistemas. No entanto, assim como a CEPISA, a SEMAR não conseguiu atingir seus objetivos. A maioria desses sistemas encontra-se desativados.

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) autorizou a construção das primeiras usinas do estado, no entorno da cidade de São João do Piauí, o empreendimento terá capacidade para produzir 28,5 MW. Já a energia solar térmica é uma realidade no estado e deverá ter seu uso ainda mais difundido, uma vez que muitos dos novos empreendimentos do programa Minha Casa Minha Vida estão incluindo nos projetos a instalação de placas solares térmicas.

Em termos de consumo *per capita* de energia elétrica, o Piauí ocupa a última colocação dentre os estados brasileiros com média de 706 kWh/ano (IBGE, 2010). Além da maior classe de consumidores ser a residencial, o fato do estado não ter muitas indústrias (grandes consumidores de energia) em seu território reforça este baixo índice, o qual é compatível com os valores de países da África, como Gabão (790 kWh/ano) e Zâmbia (829 kWh/ano), e dos latinos El Salvador (829 kWh/ano) e Honduras (707 kWh/ano). Na outra extremidade estão os países desenvolvidos: Islândia (52373 kWh/ano) e Noruega (23173 kWh/ano).

### 3 ENERGIA EÓLICA E SOLAR

#### 3.1 Energia Eólica

A utilização do vento como recurso para a produção de energia elétrica teve grande impulso na década de 90 através de vários programas executados em países que motivaram investimentos em pesquisas e desenvolvimento. Com o aumento do número de fabricantes de turbinas eólicas, estas tiveram sua performance melhorada e seus custos reduzidos (CUSTÓDIO, 2013).

Neste capítulo serão abordados os aspectos físicos dos recursos eólicos, as técnicas para se fazer o levantamento do perfil de vento de uma região, o papel da energia eólica na matriz energética brasileira, as tecnologias empregadas neste tipo de geração e as políticas governamentais de incentivo à energia eólica.

##### 3.1.1 Aspectos físicos dos recursos eólicos

De acordo com Ometto (1981), a ocorrência de áreas mais aquecidas, sobre as quais o ar atmosférico possui menor densidade, decorre do processo de aquecimento diferencial da superfície terrestre. Em contrapartida, regiões mais frias, possuem sobre si, ar atmosférico mais denso. A força resultante da necessidade do equilíbrio das diferentes densidades do ar atmosférico estabelece variações na pressão atmosférica, proporcionando o surgimento de gradientes de pressão de características horizontais. O gradiente de pressão estabelece o aparecimento de uma quantidade de movimento (*momentum*) na massa de ar, e essa quantidade de movimento tanto é maior quanto maior for o gradiente de pressão.

Segundo Varejão-Silva (2006), chama-se vento à componente horizontal (equação 2) do vetor velocidade (equação 1) do ar.

$$\vec{V} = u\vec{i} + v\vec{j} + w\vec{k} \quad (1)$$

$$\vec{V}_{xy} = u\vec{i} + v\vec{j} \quad (2)$$

Em que  $u$ ,  $v$  e  $w$  são as componentes do vetor velocidade do vento nas direções  $x$ ,  $y$  e  $z$ , respectivamente e,  $\vec{i}$ ,  $\vec{j}$  e  $\vec{k}$  são os vetores unitários nessas direções. Para que o vento seja caracterizado em um ponto da atmosfera duas informações são essenciais: a sua direção e o módulo da sua velocidade. Estas grandezas são verificadas instantaneamente e de forma pontual, uma vez que o escoamento do ar está relacionado às condições atmosféricas, que

variam no espaço e com o tempo. O vento sofre forte influência do relevo local, sobretudo na zona de fronteira entre superfície e atmosfera.

A direção do vento exprime a posição do horizonte aparente do observador a partir da qual o vento parece provir, ou seja, de onde o vento sopra e nunca para onde o vento estaria indo. A direção é expressa em termos do azimute, isto é, do ângulo que o vetor velocidade do vento forma com o norte geográfico local ( $0^\circ$ ), medido no mesmo sentido do movimento dos ponteiros de um relógio analógico. Assim, o vento que vem de leste tem direção de  $90^\circ$ , aquele que procede do sul tem direção de  $180^\circ$  (VAREJÃO-SILVA, 2006).

Ao se analisar os valores de velocidade e de direção dos recursos eólicos verifica-se uma variabilidade temporal destes dados, a qual pode ir desde uma variação diária até uma variação interanual.

Segundo Silva (2003), o vento pode ser mais intenso em algumas áreas que em outras, pode aumentar sua intensidade por alguns meses do ano, como pode aumentar apenas durante algumas horas do dia, e pode, também, parar por longos períodos ininterruptos. As variações de vento na escala de tempo podem ser divididas em duas grandes classes: variações lentas e variações rápidas.

As variações lentas ocorrem graças às mudanças nas condições climáticas em macroescala. Estas variações afetam o comportamento do vento em áreas de grandes extensões e por períodos que variam de meses a décadas. Esta classe engloba as variações interanuais e as variações sazonais (SILVA, 2003).

As variações interanuais no Nordeste brasileiro têm como principais condicionantes as mudanças permanentes nos padrões climáticos do planeta (por exemplo, a elevação da temperatura global) e pequenas irregularidades nos ciclos interanuais da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Todavia, as variações nas regiões próximas ao equador são bem menores que as normalmente observadas nas médias e altas latitudes.

As variações sazonais da velocidade e da direção predominante do vento são influenciadas pelo comportamento da circulação geral da atmosfera ao longo do ano. Estas variações estão associadas principalmente à movimentação da ZCIT ao longo do ano e fortes efeitos de mesoescala, como gradientes térmicos oceano-contidente no litoral e variações térmicas no interior.

As variações rápidas estão diretamente ligadas às variações dos ventos em mesoescala e microescala. Estas variações afetam o comportamento do vento em áreas localizadas, por períodos de tempo que variam de dias a segundos (SILVA, 2003). Nesta classe estão: variações diurnas e variações de curta duração. As primeiras são bruscas e fortes, com periodicidade

diurna, na velocidade e na direção do vento e estão ligadas às diferenças de temperatura entre superfícies. No litoral do Nordeste brasileiro, estas variações são, principalmente, ocasionadas por brisas marítimas e terrestres.

Durante os dias ensolarados, a superfície do continente se aquece mais rapidamente que a do oceano adjacente. Como consequência surge uma faixa de pressão mais baixa sobre o litoral, acarretando o desenvolvimento de correntes convectivas ascendentes sobre o continente, as quais geram nuvens convectivas. Acima do oceano a pressão é elevada, face à menor temperatura da água à superfície. Dessa maneira, se estabelece uma circulação fechada, com movimentos ascendentes na costa e subsidentes sobre o mar.

O vento, à superfície, sopra do oceano para o continente, em direção aproximadamente perpendicular à linha da costa e é chamado brisa marítima (VAREJÃO-SILVA, 2006). Durante a noite o continente perde uma grande quantidade de calor mais rapidamente que o oceano e, a partir de certa hora após o pôr do Sol, a superfície do oceano apresenta uma temperatura mais elevada que a do continente. A faixa de baixa pressão se situa, então, sobre o oceano e o movimento ascendente associado a ela pode gerar nuvens convectivas. O vento passa a soprar do continente para o mar, à superfície, constituindo a brisa terrestre.

As brisas marítimas contribuem fortemente para um incremento na intensidade e na variação da direção dos Ventos Alísios, ventos de grande escala que atuam ao longo do globo terrestre; além de afetar a temperatura e a umidade do ar na região.

As maiores incidências de brisas marítimas, geralmente, ocorrem nos meses de verão. A direção das brisas depende, fundamentalmente, da orientação da costa litorânea; sendo esta, no litoral, perpendicular à linha de praia (SILVA, 2003).

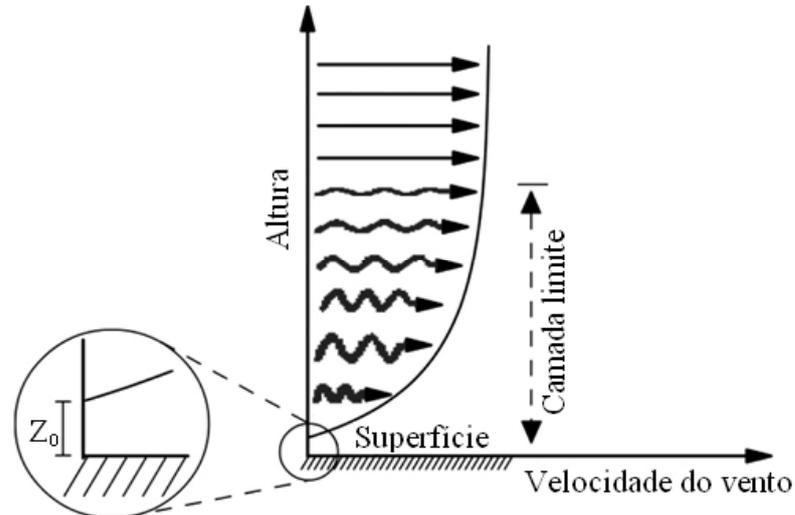
O escoamento do ar assim como as turbulências em seu fluxo sobre uma determinada região da superfície terrestre são fortemente determinados pelo relevo e pela presença de obstáculos físicos em tal região. A ação da superfície terrestre na redução do torque dos ventos é descrita por uma propriedade física chamada rugosidade. A rugosidade da superfície ocasiona a redução da velocidade do ar (MARTINS *et al.*, 2008).

A região compreendida entre a superfície terrestre e a altitude de aproximadamente 3000 metros é definida como camada limite planetária (STULL, 1988). Esta camada possui uma subcamada, situada na região não excedente a 150 metros de altitude chamada camada-limite superficial, na qual a influência da superfície é notadamente dominante. É nesta subcamada que ocorrem as interações entre torque, calor e umidade entre a superfície e o ar atmosférico.

Além do comportamento turbulento devido às interações superfície-atmosfera, outro aspecto importante a ser considerado é o cisalhamento do vento (MARTINS *et al.*, 2008). Na

camada-limite superficial observa-se um perfil vertical aproximadamente logarítmico do módulo da velocidade do vento, como apresentado graficamente na Figura 9.

Figura 9 - Perfil vertical da velocidade do vento. O comprimento da rugosidade ( $z_0$ ) é a altura onde a velocidade é nula.



Fonte: Adaptada de Martins *et al.* (2008).

### 3.1.2 Caracterização de um local como potencial sítio eólico

Segundo Castro (2007), a potência disponível no vento aumenta com o cubo da sua velocidade, razão pela qual a instalação das turbinas em locais com ventos fortes e persistentes é um aspecto relevante para o sucesso do empreendimento.

Cada turbina eólica pode ter sua energia disponível quantificada através da equação 3. Por energia disponível entende-se a cinética associada a uma coluna de ar que está em deslocamento numa velocidade uniforme e constante.

$$P_{\text{disp}} = \frac{1}{2} \rho A V^3 \quad (3)$$

Em que  $A$  ( $\text{m}^2$ ) é a área da secção plana transversal do rotor da turbina,  $\rho$  é a massa específica do ar ( $\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$ , em condições de pressão e temperatura normais) e  $V$  é a velocidade do vento ( $\text{m/s}$ ).

Ainda de acordo com Castro (2007), os locais potencialmente aproveitáveis podem ser identificados usando mapas adequados (atlas eólicos, por exemplo), e a sua escolha complementada com visitas aos locais. Se existirem mapas de isoventos (linhas de igual velocidade média anual do vento), estes contribuirão para se fazer uma primeira estimativa (superficial) do recurso eólico. No entanto, é indispensável uma caracterização detalhada do

sítio e para tanto deve-se recorrer a dados obtidos a partir de séries históricas de medições de velocidade e direção dos ventos realizadas no local escolhido.

Idealmente, a caracterização do recurso eólico num local deve ser feita com base em medições realizadas em vários pontos da zona envolvente e ao longo de um número significativo de anos. Na prática, a falta de tempo e de recursos financeiros leva a que as decisões sejam muitas vezes baseadas num único registro medido ao longo de apenas um ano.

A medição do vento deve ser efetuada a uma altura próxima daquela onde vai ser instalado o cubo do rotor da turbina. Por forma a permitir correlacionar os dados do local com os registos existentes em estações meteorológicas próximas é desejável uma medida adicional à altura normalizada de 10 metros (CASTRO, 2007).

Em última análise, na ausência de medições realizadas na altura onde ficarão as turbinas, a medição feita a 10 metros nas estações meteorológicas de superfície nos dá uma estimativa da velocidade em outras alturas através da equação 4, a qual é uma extrapolação para alturas diferentes de dados medidos a uma altura de referência (CASTRO, 2007):

$$v(z) = v(z_R) \frac{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{z_R}{z_0}\right)} \quad (4)$$

Em que a variação da velocidade com a altura vertical  $z$ ,  $v(z)$ , é dada em função da velocidade a uma altura de referência  $v(z_R)$ , do comprimento de rugosidade ( $z_0$ ) e da própria altura de referência  $z_R$ .

O comprimento de rugosidade corresponde à altura em que o vento, próximo à superfície, assume valor zero, e depende do relevo e obstáculos da superfície. Contudo, o perfil real de velocidades na vertical depende também da variabilidade de temperatura e pressão na atmosfera (MARTINS et al, 2008).

Uma importante fonte de coleta de dados a 10 metros é a rede de Plataformas de Coleta de Dados (PCDs) no Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), presentes em todas as regiões do país, totalizando 77 unidades apenas na região nordeste. Algumas dessas PCDs possuem séries históricas de 30 anos. Outra rede de PCDs bem consolidada é a da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) presente em vários municípios daquele estado.

### 3.1.3 Representação do perfil de ventos

Os dados obtidos das medições da velocidade média e da direção do vento podem ser registrados em tabelas ou gráficos de frequências. Existem ferramentas computacionais que fazem o tratamento desses dados, como por exemplo, o software Windographer<sup>®</sup>, com qual pode-se obter o gráfico do perfil diário e mensal da velocidade média de uma região, a rosa dos ventos com a direção predominante dos mesmos, bem como a curva de produção estimada de energia eólica.

A caracterização de um local a partir dos dados de velocidade do vento e direção é importante para a orientação inicial das turbinas; a frequência de ocorrência de cada velocidade do vento tem aplicação direta nos cálculos de produção de energia (ROSA, 2015).

Se os dados disponíveis são de apenas um ano faz-se necessário saber se esse ano é representativo, ou seja, se não foi um ano de velocidades extremamente elevadas ou muito baixas. Contorna-se essa contingência medindo-se estes ventos por um maior número de ciclos anuais.

Sempre que possível, o ideal é que se comparem valores de velocidades e direção de ventos em determinada altura com os valores medidos a 10 metros nas PCDs, de modo a tentar estabelecer correlações e estender, assim, a representatividade a um número significativo de anos.

Lira *et al.* (2014) estimou valores de velocidade média do vento em altitude a partir de dados observados a 10 metros com base na teoria da regressão linear. Duas regiões foram investigadas: Paracuru e Camocim, ambas situadas no Estado do Ceará. Em ambos os casos o modelo de regressão linear mostrou um bom desempenho, quer seja pelo alto índice de concordância entre as séries de dados estimados e observados e seus respectivos coeficientes de correlação, quer seja pelos baixos valores dos erros entre essas séries.

Com o objetivo de descrever a densidade de potência eólica em cinco municípios no Estado da Paraíba, Lima *et al.* (2012), também a partir dos dados do INMET, utilizou o sistema de modelagem atmosférica regional para simular a velocidade do vento para os meses de março e abril. Os resultados reproduziram o ciclo mensal de ventos observados bem como a direção dos mesmos, no entanto os valores de velocidade do vento ficaram um pouco abaixo dos dados observados.

### 3.1.4 Cenário atual e perspectivas da energia eólica

A energia eólica é a fonte de energia que vem se expandindo com maior velocidade em escala mundial. A Europa é a região de maior produção de energia eólica e esta posição tende a se consolidar cada vez mais uma vez que vários de seus países tem investido neste tipo de geração (LÓPEZ, 2011).

Os principais países europeus no uso de energia eólica são Alemanha, Espanha, Dinamarca e Reino Unido. A *World Energy Council* estima que a capacidade global de energia eólica instalada alcançará, em 2020, entre 180 a 474 GW (LÓPEZ, 2011).

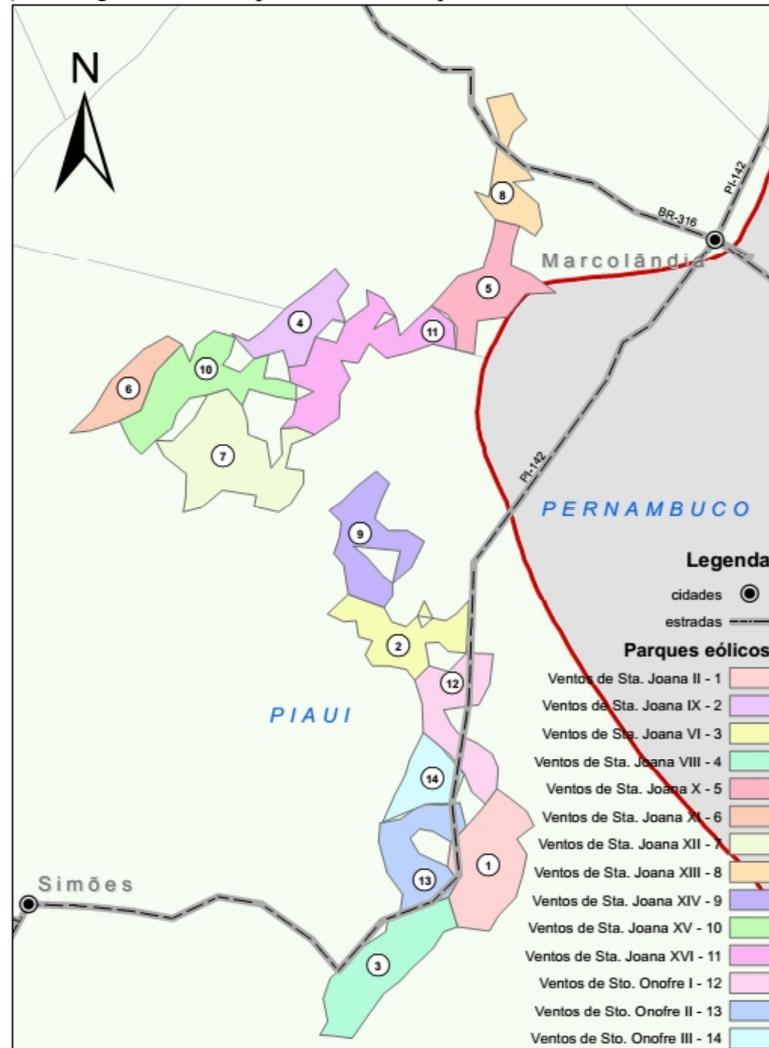
Segundo a Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEólica), o Brasil iniciou 2015 com 241 usinas eólica instaladas, totalizando 6 GW de capacidade instalada após o início de testes de quatro novos parques na Bahia (Ametista de 28,54 MW, Maron de 30,24 MW, Pilões de 30,24 MW e Dourados 28,58 MW).

A energia eólica passa a responder por 4,5% da matriz elétrica nacional. Segundo a ABEEólica, o crescimento deve continuar mantendo a projeção da entidade de terminar o ano de 2015 com 9,8 GW de capacidade instalada. Este cálculo é baseado nos projetos contratados nos últimos leilões. Com a entrada em operação de novos parques nos próximos anos, o Brasil alcançará uma potência instalada de 15,2 GW em 2019.

O Piauí é um estado com grande potencial para a geração energia eólica. Atualmente, são produzidos no estado apenas 293 MW oriundos de usinas eólicas instaladas no litoral piauiense e no Chapada do Araripe. A produção de energia eólica no Piauí deve chegar a 1900 MW em 2019.

A região sudoeste do estado, mais precisamente na parte piauiense da chapada do Araripe, tem potencial para a produção de energia eólica do Piauí. O Complexo eólico Chapada do Piauí é composto por 14 (quatorze) parques eólicos a serem implantados em uma área de 4.997,06 hectares. A área do complexo está situada nos municípios de Marcolândia, Simões e Padre Marcos. Na figura 10 é mostrada a localização geográfica dos novos empreendimentos.

Figura 10 – Localização Geográfica do complexo eólico Chapada do Piauí.



Fonte: Adaptado do Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) do Complexo eólico Chapada do Piauí.

### 3.1.5 Aspectos socioeconômicos

A construção de parques eólicos na perspectiva do desenvolvimento pode ajudar um país a alcançar suas metas econômicas sem necessariamente aumentar seu consumo de combustíveis fósseis, opção fortemente marcante no crescimento de alguns países desenvolvidos.

A presença de projetos de energias renováveis em áreas rurais e costeiras, especialmente em áreas que carecem de desenvolvimento econômico, pode trazer diversos benefícios para a comunidade. As usinas de geração de energias renováveis são frequentemente menores e mais dispersas que usinas tradicionais, e por esse motivo encontram-se muitas vezes situadas em áreas rurais e costeiras de baixa densidade demográfica. Devido a essa característica, a construção dessas usinas demanda maior quantidade de mão de obra, e gera potencial para a capacitação e emprego de populações rurais em diversas localidades (NGUYEN, 2007).

Se por um lado há oportunidade, em menor número, de empregos na operação e manutenção das usinas, por outro na fase de construção das mesmas há uma geração maior de empregos, embora em caráter temporário. Especialmente no caso de usinas eólicas, um aspecto importante a ser considerado é o arrendamento ou desapropriação de terras. No caso do arrendamento, os aerogeradores ocupam apenas uma parte da área, ficando o restante liberado para o uso de outras atividades produtivas.

Apesar do potencial de trazer diversos benefícios para o desenvolvimento local e regional, a implantação de uma usina eólica deve ser vista com cautela, principalmente quando envolve o processo de desapropriação de famílias residentes ao longo das áreas diretamente afetadas (CUSTÓDIO, 2013).

Especificamente para zonas costeiras a presença de aerogeradores pode causar conflitos com atividades típicas dessas áreas, tais como o turismo e a pesca. Daí a importância de um Estudo de Impacto Ambiental (EIA) bem realizado que preveja como estes aspectos serão tratados.

### ***3.1.6 Aspectos ambientais***

A energia eólica também pode produzir impactos ambientais, apesar de não estarem relacionadas à emissão de gases ou resíduos. Em geral, os benefícios ambientais da energia eólica são estimados pelas emissões evitadas de outras fontes (PINTO, 2013).

O nível de impacto visual é influenciado por fatores como tipo da paisagem, as cores e o número de pás, a quantidade e o design das turbinas. Ainda que a alteração na paisagem seja uma percepção de ordem subjetiva, ela precisa ser levada em consideração, sobretudo se as turbinas forem de grande porte.

Uma medida para minimizar o efeito visual é pintar as turbinas com a cor predominante da paisagem local. A projeção da sombra em movimento cíclico devido à rotação das pás pode gerar desconforto nas pessoas residentes próximas às turbinas eólicas. Para amenizar esse efeito deve-se atentar para a distância dessas residências bem como para a direção de incidência solar.

Outro efeito indesejado é o impacto sonoro provocado pela emissão de ruído de uma turbina eólica, o qual, ainda que minimamente, pode provocar incômodo às pessoas que residem no perímetro. Em geral, sons de baixa frequência (inferiores a 20 Hz) podem causar náuseas e dores de cabeça. O ruído da turbina eólica é geralmente contínuo e contém baixas frequências. A audição humana experimenta irritações a partir de 60 decibéis. Dados da AWEA (American Wind Energy Association) mostram que uma turbina eólica a 300 metros emite em torno de 40 dB (PINTO, 2013).

O impacto da energia em pássaros é extremamente baixo se comparado ao de outra atividade. Existem na literatura vários relatos de acidentes envolvendo mortes de aves. Há dois pontos cruciais que devem ser abordados na discussão deste aspecto: os efeitos das turbinas eólicas sobre as populações de pássaros ocasionando inclusive mortes dos mesmos e a violação de trajetórias migratória de pássaros. Alteração do habitat, colisões e eletrocussões são algumas das maneiras com as quais o desenvolvimento da energia eólica pode afetar os pássaros.

Apesar dos impactos da geração de energia eólica elencados acima, estes são menos danosos ao meio ambiente quando comparados a geração de energia a partir de hidrelétricas e termelétricas. As primeiras transformam fortemente o ambiente prejudicando a fauna e a flora, além do que boa parte da vegetação inundada se decompõe produzindo metano. Há também o desabrigo de pessoas e animais. Já as termelétricas impactam principalmente a qualidade do ar e a temperatura das águas.

A energia eólica produz eletricidade a partir da energia cinética do vento, sem produzir diretamente qualquer emissão durante a conversão, contudo não se pode afirmar que ela é isenta de emissão de CO<sub>2</sub>, uma vez que há certo impacto tanto no processo de fabricação dos aerogeradores quanto no estágio de eliminação dos mesmos ao fim do seu ciclo de vida.

Em geral, quantifica-se apenas a energia elétrica produtível por uma usina eólica, quando o ideal seria que se quantificassem também os impactos pela emissão de CO<sub>2</sub>. Uma técnica que pode auxiliar nesta tarefa é um estudo da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) onde são quantificados os impactos globais de uma turbina bem como de todos seus componentes. A ACV também permite fazer uma análise dos casos que produzem maior impacto e os aspectos que poderiam ser melhorados na perspectiva de diminuir efetivamente este impacto.

Haapala e Prempreeda (2014), realizaram um estudo de ACV para verificação do impacto ambiental de 2 turbinas eólicas e verificaram que a maior contribuição advém da torre, devido à grande quantidade de aço necessária para produzi-la. Ao fim do estudo de cada componente, confirmaram que os impactos ambientais do ciclo de vida de um aerogerador são originários principalmente da fase de fabricação.

### ***3.1.7 Aplicações e utilizações***

O aproveitamento da energia eólica pode ser aplicado em sistemas de grande dimensão ligados à rede, sistemas híbridos de médio porte e sistemas eólicos isolados de pequena dimensão. Em todos os casos, os sistemas devem ser dimensionados de tal maneira que levem em consideração as condições técnicas, financeiras, climáticas, socioeconômicas e ambientais.

### 3.1.7.1 *Sistemas de grande dimensão ligados à rede*

As dimensões típicas das turbinas eólicas de eixo horizontal de ligação à rede situam-se numa faixa entre 500 kW e 2,3 MW. No entanto, os aerogeradores vêm crescendo de tamanho muita rapidamente ao longo dos últimos anos. Na década de 80, uma turbina eólica padrão possui um rotor de 10 metros de diâmetro. Hoje já está em fase de testes o maior aerogerador do mundo, o V164-8, o qual possui diâmetro de 164 metros e capacidade de geração de 8 MW de eletricidade.

O que torna mais atrativos em grandes aerogeradores é possibilidade de redução nos custos de instalação e a possibilidade de melhores contratos para o fornecimento de uma quantidade maior de energia. As conexões com a rede podem ser feitas em média e alta tensão (SILVA, 2012).

### 3.1.7.2 *Sistemas eólicos isolados de pequeno porte*

Sistemas eólicos isolados podem se apresentar como soluções viáveis em alguns cenários típicos. Em países em desenvolvimento, o índice de inacessibilidade à rede elétrica é bastante elevado, sendo um dos principais fatores os altos custos de investimento e/ou operação e manutenção do atendimento através de fontes convencionais, como a extensão de rede ou a instalação de grupos geradores à diesel. Atualmente, a maturidade tecnológica alcançada pela geração eólica mostra que essa opção pode ser economicamente viável, caso as condições meteorológicas sejam favoráveis (PINHO *et al.*, 2008).

Estes sistemas se caracterizam por possuírem potências entre 10kW e 25kW. Também são usados para atividades bem específicas como recarga de baterias, bombeamento e aquecimento de água. Estes sistemas, em geral são instalados onde não há viabilidade para se levar o sistema convencional de energia elétrica.

A carga a ser alimentada deve ser relativamente baixa, devido à baixa potência dos aerogeradores. Portanto somente cargas essenciais devem ser atendidas para garantir a continuidade do serviço. Estes sistemas também são ideias para integrar sistemas híbridos de energia elétrica.

### **3.1.8 Políticas governamentais relacionadas à energia eólica**

#### **3.1.8.1 O Proinfa**

O aumento da demanda brasileira por energia elétrica associada ao não investimento em infraestrutura levou a uma crise no abastecimento, a qual culminou com os apagões de 2001, que forçou o governo a tomar uma série de medidas sobre o assunto. A matriz energética nacional, predominantemente de origem hidráulica, mostrou-se insuficiente para atender as necessidades do país. Diante deste cenário e tendo como base a experiência alemã e dinamarquesa, foi criado, em 2002, o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), coordenado pelo Ministério de Minas e Energia (PINTO, 2013).

O programa nasceu com o objetivo de diversificar a matriz energética brasileira para aumentar a segurança no abastecimento de energia elétrica, como também valorizar as características regionais e locais e desenvolver as fontes alternativas de geração de eletricidade. O programa é dividido em duas fases: curto e longo prazo. A primeira parte previa a instalação de 3300 MW de energia divididos igualmente entre eólica, biomassa e Pequenas Centrais Hidrelétrica (PCHs). O Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) financiou vários empreendimentos, principalmente de energia eólica, pelo país.

De acordo com Pinto (2013), as principais dificuldades encontradas pelos empreendedores eólicos na primeira fase do programa foram:

- Limite financeiro, o qual levou à criação de novas sociedades e alterações de titularidade;
- Necessidade de revisão dos projetos e novas regras de obtenção de licenças ambientais;
- Dificuldades dos agentes financeiros por causa de seu baixo *know how* referente ao tema da energia eólica.

Com o objetivo de reduzir os problemas acima citados e não impor entraves à segunda fase do Proinfa foi abolida a taxa de 15% referente à importação de turbinas eólicas. Como os prazos da primeira fase do programa não foram completamente cumpridos e por não haver interesse na regulação na segunda fase, o governo brasileiro optou por leilões para atendimento da demanda interna de energia elétrica.

#### **3.1.8.2 Os leilões de energia elétrica**

O Ministério de Minas e Energia, através da ANEEL, realiza desde 2004 os leilões de energia elétrica a fim de contratar empresas que oferecem energia a um menor custo por MWh. Os leilões são divididos em quatro tipos (PINTO, 2013):

- De energia existente (A-1): corresponde à produção das usinas que já se encontram em operação, tendo evidentemente um menor prazo de entrega;
- De energia nova (A-3 e A-5): equivale à produção de empreendimentos em processo de leilão das concessões e de usinas que já foram autorizadas pela ANEEL e estão em fase de planejamento ou construção. O prazo para entrada de operação é de 3 (A-3) ou 5 (A-5) anos;
- De ajuste: corresponde, por parte das distribuidoras, ao complemento do volume (no máximo de 1% do volume total) de energia elétrica necessária ao atendimento do mercado;
- De reserva: equivale à produção de usinas que entraram em operação apenas em caso de escassez da produção tradicional (predominantemente hidrelétricas).

O primeiro leilão exclusivo para contratação de energia eólica aconteceu em 2009. Na ocasião foram habilitados 339 projetos totalizando uma potência instalada de 10 GW. O MWh de energia foi comercializado a R\$ 148,39, valor abaixo do que foi inicialmente estipulado para o leilão, o qual foi de R\$ 189 por MWh.

O leilão mais recente de energia eólica aconteceu em novembro de 2014. Nele foram contratados 769,1 MW divididos entre 30 projetos. O valor teto para comercialização foi de R\$ 144 por MWh, no entanto a energia foi negociada a R\$ 142,34 o MWh. Os projetos vencedores terão até o dia 01 de outubro de 2017 para iniciarem a comercialização da energia.

### *3.1.8.3 Isenções fiscais*

O Governo Federal publicou uma Medida Provisória 656 em outubro de 2014 isentando componentes brasileiros e importados de geradores eólicos da incidência de PIS e Cofins. Tal medida deve desonerar contratos de fornecimento de aerogeradores para o aquecido mercado nacional. Segundo a MP, a redução dos custos para se produzir turbinas será praticada em janeiro de 2015 e ficarão 10% menores.

A Medida Provisória também estabelece o enquadramento de projetos eólicos no REIDI (Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento de Infraestrutura) com a cadeia de suprimento (BRASIL, 2014). Segundo a ABEEólica, a publicação da MP embora reflita um ganho para o setor não trará redução no custo de instalação de cerca de R\$ 4,7 milhões por MW.

## **3.2 Energia solar**

A energia solar caracteriza-se por ser uma das alternativas para auxiliar no provimento de energia elétrica necessária para atender as demandas cada vez mais crescentes da humanidade. No tocante à temática da energia, vale lembrar que sol é responsável por originar quase que a totalidade das demais fontes de energia na Terra. Portanto, em última análise, estas fontes derivam, em sua maioria da energia solar. Neste capítulo faremos uma incursão sobre os aspectos relacionados à energia solar, dentre os quais, as características físicas do sistema, tecnologias de produção, políticas voltadas para o setor e cenários e perspectivas desta fonte de energia. No entanto, antes dessa incursão é preciso que diferenciemos energia solar térmica de energia solar fotovoltaica.

### ***3.2.1 Energia solar térmica***

Neste caso, o interesse é na quantidade de energia que um determinado corpo é capaz de absorver, sob a forma de calor, a partir da radiação solar incidente no mesmo. A utilização dessa forma de energia implica não somente em saber captá-la, mas também em como armazená-la. Os equipamentos mais difundidos com o objetivo específico de se utilizar a energia solar térmica são conhecidos como coletores solares (PINHO; GALDINO, 2014).

Os coletores solares são equipamentos que funcionam como aquecedores de fluidos (líquidos ou gasosos). Os coletores planos, em geral, são mais utilizados em instalações domiciliares e comerciais, onde a temperatura do fluido chega a 60 °C. Para aplicações residenciais o sistema mais utilizado é o solar térmico compacto por termossifão, o qual é composto por um painel plano e um depósito de água que se encontra na parte superior do painel. A água é aquecida através de um líquido solar que circula entre o painel e o depósito em circuito fechado. Esta transferência de calor é efetuada com recurso a um permutador de calor. A circulação do líquido solar produz-se pela alteração das respectivas densidades, provocada pelas diferentes temperaturas do circuito de ida e retorno (CLIMASOL ENERGIA, 2015). Na figura 11 é mostrado este sistema instalado em uma residência do programa Minha Casa Minha Vida em Teresina.

Numa escala global, o Relatório da Situação Global das Renováveis (2014) estima que em 2013 a potência instalada acumulada no mundo, apenas para aquecimento de água e geração

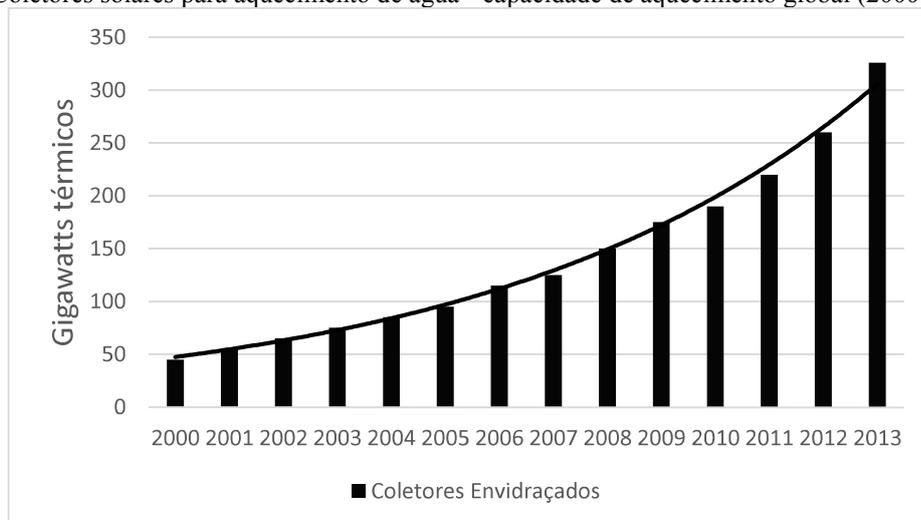
de calor, teve um acréscimo de 57,1 GWth<sup>5</sup> (gigawatt térmico hora) em relação ao ano anterior, atingindo 326 GWth apenas no uso final de aquecimento de água. O mesmo relatório estima que mais de 200 milhões de residências no mundo usam coletores solares para aquecimento de água. Na figura 12 é mostrado como a capacidade instalada aumentou nos últimos anos mundialmente. Pela figura, verifica-se um aumento de mais de 600% na capacidade global instalada ao longo dos 13 anos em que foi feito o levantamento dos dados. Este crescimento implica direta e significativamente na redução do consumo de energia elétrica, uma vez que evita-se a conexão na rede convencional de aparelhos usados para a finalidade de aquecimento, a qual demanda elevado consumo de energia.

Figura 11 – Sistema de aquecimento de água por termossifão instalado em Teresina.



Fonte: Portal Meio Norte.

Figura 12 - Coletores solares para aquecimento de água - capacidade de aquecimento global (2000-2013).



Fonte: Adaptada do Relatório da Situação Global das Renováveis (2014).

<sup>5</sup> Corresponde à produção de potência térmica. Ex: Uma usina termoeletrica pode produzir 100 MWt de calor, mas somente parte dessa energia vira eletricidade, gerando, por exemplo, 30MW.

### 3.2.2 Energia solar fotovoltaica

A energia solar fotovoltaica é a energia obtida através da conversão direta da luz em eletricidade (efeito fotovoltaico), sendo a célula fotovoltaica, um dispositivo fabricado com material semicondutor, a unidade fundamental desse processo de conversão.

Segundo Carvalho *et al.* (2004), as principais tecnologias aplicadas na produção de células e módulos fotovoltaicos são classificadas em três gerações. A primeira geração é dividida em duas cadeias produtivas: silício monocristalino (m-Si) e silício policristalino (p-Si), que representam mais de 85% do mercado graças a sua tecnologia consolidada e confiável, e por possuir a melhor eficiência disponível comercialmente (16,5% e 15%, respectivamente).

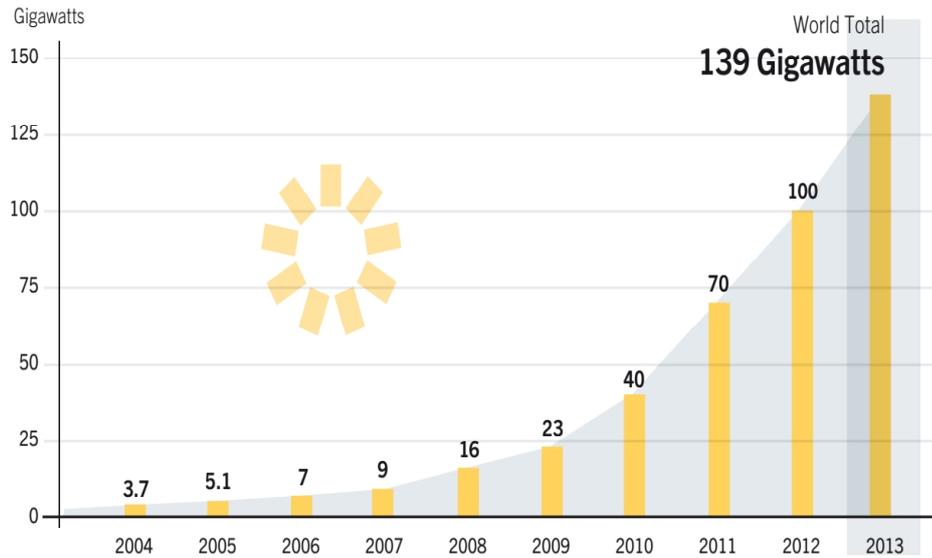
A segunda geração, comercialmente denominada de filmes finos, é dividida em três cadeias produtivas: silício amorfo (a-Si), disseleneto de cobre e índio (CIS) ou disseleneto de cobre, índio e gálio (CIGS) e telureto de cádmio (CdTe). Esta geração apresenta menor eficiência do que a primeira (10%) e tem uma modesta participação do mercado. As principais dificuldades estão ligadas à disponibilidade dos materiais, vida útil, rendimento das células e, no caso do cádmio, sua toxicidade, que retardam a sua utilização em maior escala (PINHO; GALDINO, 2014).

Ainda segundo Pinho e Galdino (2014), a terceira geração, ainda em fase de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), testes e produção em pequena escala, é dividida em três cadeias produtivas: célula fotovoltaica multijunção e célula fotovoltaica para concentração (*CPV – Concentrated Photovoltaics*), células sensibilizadas por corante (*DSSC – Dye-Sensitized Solar Cell*) e células orgânicas ou poliméricas (*OPV – Organic Photovoltaics*). A tecnologia CPV, por exemplo, demonstrou ter um potencial para produção de módulos com altas eficiências (37,7%), embora o seu custo ainda não seja competitivo com as tecnologias que atualmente dominam o mercado. Na figura 13 tem-se a evolução da capacidade instalada, em termos mundial, de energia solar fotovoltaica.

O crescimento exponencial acentuado da potência global de energia solar fotovoltaica, mostrado na figura, se deve em grande parte à consolidação do uso desta fonte em alguns países tais como Alemanha, Japão, Estados Unidos, Itália, Espanha e China. Estes países além de possuírem fábricas de módulos fotovoltaicos também conseguiram estabelecer legislações que incentivam o uso da energia solar.

Em 2013, o Brasil chegou a 5 MW de potência instalada de energia solar fotovoltaica. A maior parte desta capacidade instalada (72,6%) está localizada no Nordeste do país, região que tem excelentes valores de radiação solar ao longo de todo o ano.

Figura 13 – Potência instalada em escala mundial de energia solar fotovoltaica (2004-2013).



Fonte: Relatório da Situação Global das Renováveis (2014).

Segundo a Abinee (Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica), em seu relatório publicado em 2012, o ritmo de crescimento da demanda nacional de energia solar fotovoltaica continuaria lento, sobretudo graças aos seguintes fatores: o custo de geração do sistema fotovoltaico ainda não é competitivo, o investimento para instalações residenciais é elevado, há falta de políticas específicas de financiamentos e de modelos de comercialização e, finalmente, os consumidores têm pouco conhecimento sobre a fonte fotovoltaica como opção de geração de energia elétrica. No entanto, o que se tem verificado nos últimos dois anos é que este prognóstico tende a mudar principalmente devido à realização de leilões específicos para contratação de energia solar fotovoltaica e também pela possibilidade de nacionalização da produção dos componentes desta tecnologia.

No Piauí, o uso de sistemas fotovoltaicos não é um acontecimento recente e restrito apenas ao atendimento residencial/comunitário. Uma das primeiras aplicações no estado foi realizada na década de 1980 pela então empresa estatal de telecomunicações do Piauí (TELEPISA) em suas estações repetidoras. Foram instalados durante a vigência do PRODEEM 572 pequenos sistemas, principalmente para fins de bombeamento e iluminação pública (MORAES, 2013).

O Piauí é um dos estados que possui índices de incidência solar significativos, com destaque para cidades como São João do Piauí, Paulistana e Picos, que possuem elevadas médias mensais de irradiação solar com 1507,4 kJ/m<sup>2</sup>, 1560,5 kJ/m<sup>2</sup> e 1590,3 kJ/m<sup>2</sup>, respectivamente (INMET, 2010).

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) autorizou a construção de usinas solares no entorno da cidade de São João do Piauí. Os empreendimentos terão capacidade para produzir 28,5

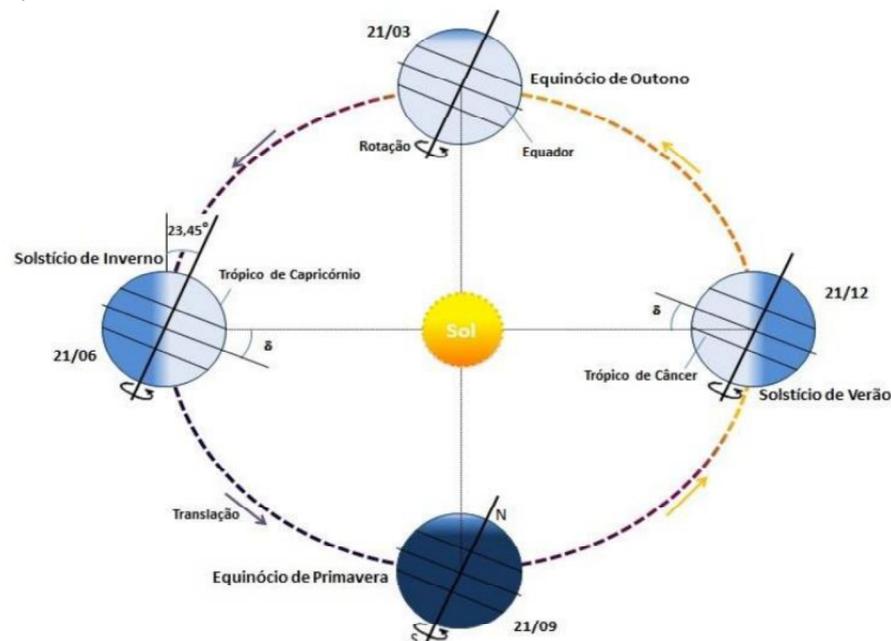
MW e o leilão aconteceu ainda agosto de 2015. Por outro lado, a energia solar térmica já se faz presente no estado em empreendimentos residenciais e comerciais e seu uso será ainda mais difundido uma vez que muitos dos novos empreendimentos do programa Minha Casa Minha Vida já estão incluindo nos projetos a instalação de placas solares térmicas.

### 3.2.3 O recurso solar

Segundo Benito (2013), a Terra, ao realizar seu movimento anual em torno do Sol descreve uma trajetória elíptica. O seu eixo, em relação ao plano normal à elipse, apresenta uma inclinação de aproximadamente  $23,45^\circ$ . Essa inclinação, juntamente com o seu movimento de translação, dá origem às estações do ano.

Observando-se o movimento aparente do Sol, ao meio dia solar, ao longo do ano, verifica-se que o ângulo entre os seus raios e o plano do Equador varia entre  $+23,45^\circ$  em torno do dia 21 de junho (solstício de inverno no hemisfério Sul), e  $-23,45^\circ$  em 21 de dezembro (solstício de verão no hemisfério Sul). Este ângulo é denominado declinação solar e graças a ele a incidência de raios solares no plano dos painéis fotovoltaicos varia ao longo do ano. Na Figura 14 é ilustrada a declinação solar em quatro posições da Terra ao longo do ano.

Figura 14 - Órbita da Terra em torno do Sol, com seu eixo N-S inclinado de um ângulo de  $23,45^\circ$ , indicando as estações do ano no hemisfério Sul.



Fonte: (Pinho e Galdino, 2014).

O termo “radiação solar” é usado de forma genérica e pode ser referenciado em termos de fluxo de potência, quando é especificamente denominado de irradiância solar, ou em termos de energia por unidade de área, denominado, então, de irradiação solar.

A irradiância solar que atinge a Terra, no topo da camada atmosférica, é denominada irradiância extraterrestre. A constante solar ( $I_0$ ) é definida como o valor da irradiância extraterrestre que chega sobre uma superfície perpendicular aos raios solares na distância média Terra-Sol, e tem valor aproximado de  $1.367 \text{ W/m}^2$  (adotado pelo WRC – *World Radiation Center*). A excentricidade da elipse que descreve a trajetória da Terra em torno do Sol resulta em uma variação no valor da irradiância extraterrestre ao longo do ano.

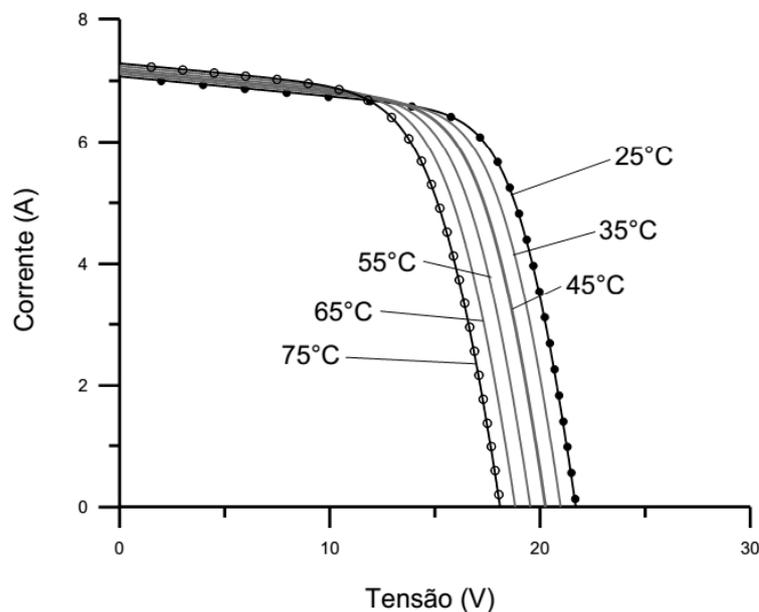
Para Pinho e Galdino (2014), considerando que o raio médio da Terra é  $6.371 \text{ km}$ , e considerando o valor da irradiância de  $1.367 \text{ W/m}^2$  incidindo sobre a área projetada da Terra, conclui-se que a potência total disponibilizada pelo Sol à Terra, no topo da atmosfera, é de aproximadamente 174 mil TW (terawatts).

Em um plano orientado na direção da linha do Equador e ângulo de inclinação igual à latitude é possível, a partir dos dados de irradiação solar incidente neste plano, estimar a energia elétrica produzida a partir de um sistema fotovoltaico nestas condições.

### 3.2.4 Efeitos da temperatura sobre os painéis

Equivocamente, às vezes, há uma tendência (por parte de leigos) de associarem temperatura elevada como sinônimo de condição favorável para instalação de painéis fotovoltaicos. De fato, a variabilidade da temperatura ambiente e a radiação incidente nos módulos fazem com que estes tenham sua temperatura de operação variável. Na figura 15 apresenta-se as curvas IxV (tensão elétrica *versus* corrente elétrica) no plano dos painéis em função da temperatura de operação.

Figura 15 - Efeito causado pela variação da temperatura das células sobre a curva característica IxV para um módulo fotovoltaico.



Fonte: Pinho e Galdino, 2014.

A figura revela um considerável decréscimo de tensão quando a temperatura é aumentada. Embora a corrente tenha uma elevação pequena, esta não é suficiente para compensar as perdas causadas pela redução da tensão.

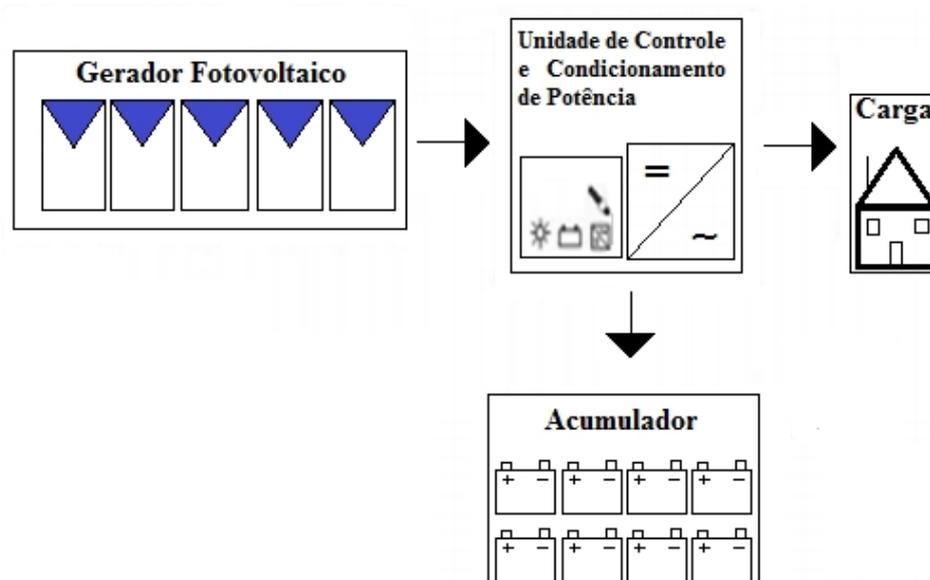
### 3.2.5 Aplicações de sistema fotovoltaicos

Os Sistemas Fotovoltaicos (SFV) podem ser classificados em duas categorias: isolados e conectados à rede. Em ambos os casos, podem operar a partir apenas da fonte fotovoltaica ou combinados com uma ou mais fontes de energia, quando são chamados de híbridos. A utilização de cada uma dessas opções depende da aplicação e/ou da disponibilidade dos recursos energéticos. Cada um deles pode ser de complexidade variável, dependendo da aplicação em questão e das restrições específicas de cada projeto (PINHO; GALDINO, 2014).

Sistemas isolados (SFI), puramente fotovoltaicos (SFV) ou híbridos (SFH), em geral, necessitam de algum tipo de armazenamento. O armazenamento pode ser em baterias, quando se deseja utilizar aparelhos elétricos nos períodos em que não há geração fotovoltaica, ou em outras formas de armazenamento de energia. A bateria também funciona como uma referência de tensão C.C. para os inversores formadores da rede do sistema isolado.

Os sistemas isolados de geração de energia contam também com uma unidade responsável pelo controle e condicionamento de potência composta por inversor e controlador de carga. O esquema de um sistema fotovoltaico isolado básico é mostrado na figura 16.

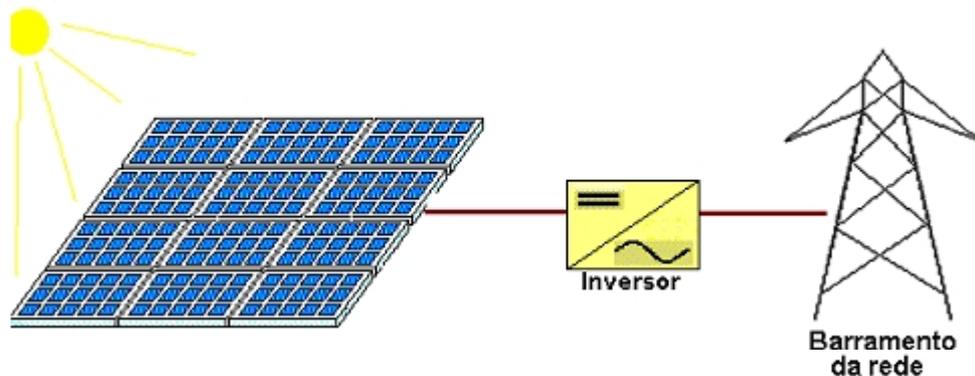
Figura 16 – Sistema fotovoltaico isolado – modelo básico.



Sistemas conectados à rede são aqueles em que a potência produzida pelo gerador fotovoltaico é entregue diretamente à rede elétrica. Para tanto, é indispensável que se utilize um inversor que satisfaça às exigências de qualidade e segurança, para que não degrade a qualidade do sistema elétrico ao qual se interliga o gerador fotovoltaico.

Segundo Benito (2013), os Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFCR) foram incluídos na regulamentação disposta pela ANEEL, através da Resolução 482 de abril de 2012, que estabeleceu preliminarmente as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica. Na Figura 17 apresenta-se o esquema de um SFCR. Atualmente a regulamentação não permite a operação ilhada desses sistemas, ou seja, em caso de falta de energia na rede de distribuição o SFCR para de funcionar.

Figura 17 – Esquema de um sistema fotovoltaico conectado à rede.



Fonte: Benito, 2013.

### **3.2.6 Políticas governamentais relacionadas à energia solar**

#### **3.2.6.1 O Prodeem**

No que concerne às ações efetivas para aproveitamento da energia fotovoltaica, foram instalados diversos sistemas fotovoltaicos isolados e sistemas híbridos para fornecimento de energia em ilhas e localidades afastadas da rede elétrica em todo o território brasileiro. Em 1994, o Governo Federal, por meio do Ministério de Minas e Energia, criou um programa para promover a eletrificação rural, baseado principalmente nos sistemas fotovoltaicos, denominado PRODEEM, envolvendo universidades, centros de pesquisa, secretarias estaduais de energia e concessionárias federais e estaduais, através do qual foram adquiridos mais de 8.500 sistemas fotovoltaicos.

Segundo Borges Neto *et al* (2010), o PRODEEM passou por vários problemas técnicos e operacionais ao longo de sua existência, causados em sua maioria por inadequação do projeto,

falta de pessoal especializado em fazer a manutenção dos kits quando da ocorrência de problemas, dificuldades para obtenção de componentes para reposição e falta de inserção dos usuários na apropriação da tecnologia.

### *3.2.6.2 Sistemas individuais de geração de energia elétrica com fontes intermitentes*

No ano de 2002, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) iniciou estudos para estabelecimento de regulamentação das especificações técnicas necessárias à instalação dos Sistemas Individuais de Geração de Energia Elétrica com Fontes Intermitentes (SIGFIs), destinados ao fornecimento de energia elétrica aos consumidores isolados da rede elétrica de distribuição, que resultou na publicação da Resolução Normativa nº 83/2004, posteriormente revogada e substituída pela resolução Normativa nº 493/2012, a qual regulamenta também o fornecimento de energia por meio dos Microssistemas Isolados de Geração e Distribuição de Energia Elétrica (MIGDIs).

### *3.2.6.3 Resolução Normativa nº 482/2012*

A regulamentação para sistemas fotovoltaicos conectados à rede de distribuição, associados a unidades consumidoras, foi definida em 2012 pela ANEEL, a partir da publicação da Resolução Normativa nº 482/2012, que trata da micro e minigeração distribuída, correspondendo, respectivamente, a potências iguais ou inferiores a 75 kWp, e superiores a 75 kWp até 5 MWp. A regulamentação prevê o sistema de compensação de energia elétrica, de acordo com o qual é feito um balanço entre a energia consumida e a gerada na unidade consumidora.

A novidade da norma é que simplifica a conexão das pequenas centrais à rede das distribuidoras de energia elétrica e permite que a energia excedente produzida possa ser repassada para a rede, gerando um “crédito de energia” que será posteriormente utilizado para abater seu consumo. Portanto, a rede funciona como uma bateria, armazenando o excedente até o momento em que a unidade consumidora necessite de energia proveniente da distribuidora. O saldo positivo desse crédito de energia não pode ser revertido em dinheiro, mas pode ser utilizado para abater o consumo em outro posto tarifário (ponta/fora ponta), quando aplicável, em outra unidade consumidora (desde que as duas unidades estejam na mesma área de concessão e sejam do mesmo titular) ou na fatura do mês subsequente. Os créditos de energia gerados continuam válidos por 36 meses (ANEEL, 2015).

#### *3.2.6.4 Os leilões de energia fotovoltaica*

Em novembro de 2013 ocorreu o primeiro Leilão de Energia (A-3) cujos empreendimentos de geração fotovoltaicos com potência igual ou superior a 5 MW - foram habilitados pelo EPE. O leilão foi destinado à compra de energia de novos empreendimentos de geração eólica, solar e termelétrica a biomassa ou a gás natural em ciclo combinado, para início de suprimento a partir de janeiro de 2016, com custo marginal de referência de R\$ 126,00/MWh. Entretanto nenhum empreendimento fotovoltaico, nem usinas térmicas a biomassa ou pequenas centrais hidrelétricas apresentou proposta contemplando este valor, de forma que todos os projetos contratados foram de plantas eólicas, totalizando 867,6 MW de capacidade e preço médio final de R\$ 124,43/MWh.

Em novembro de 2014, quando foi realizado o leilão de energia de reserva, os empreendimentos solares tiveram os primeiros projetos contratados. O leilão se tornou um marco histórico para o setor elétrico brasileiro. Além de marcar a entrada da fonte solar fotovoltaica na matriz elétrica, foi um dos certames mais competitivos da história. Foram contratados 31 empreendimentos solares, que somam 1.048 MW de capacidade instalada, o que significa injetar mais 889,6 MW na rede a partir de outubro de 2017. Neste leilão, para fonte solar, o preço médio de venda ficou em R\$ 142,34/MWh.

A Aneel realizou em agosto de 2015, o 7º Leilão de Energia de Reserva, o qual teve como objetivo contratar energia a ser gerada por novos projetos solares. O preço médio da energia negociada ficou em R\$ 301,79/MWh. Os 30 projetos de geração de energia elétrica a partir da fonte solar fotovoltaica que venderam energia neste leilão estão localizados nos estados da Bahia (12), Piauí (9), Minas Gerais (5), Paraíba (3) e Tocantins (1) e possuem uma Potência Total de 1.043 MWp.

## 4 SISTEMAS HÍBRIDOS DE ENERGIA

### 4.1 Conceitos preliminares

O Brasil ainda possui várias comunidades sem abastecimento de energia elétrica. Dentre as causas deste desabastecimento estão a dificuldade de acesso e os custos elevados para se construir uma subestação que atenderá uma quantidade reduzida de unidades consumidoras, uma vez que boa parte dessas comunidades estão situadas em áreas remotas.

A alternativa mais usual para contornar o problema da falta de energia elétrica (sobretudo na região amazônica) tem sido o uso de grupos geradores a diesel, os quais são aplicados no atendimento de cargas isoladas de pequenas comunidades ou mesmo em usos mais específicos como bombeamento de água, irrigação, telecomunicações, dentre outros.

A operação dos grupos geradores, embora atenda a energia demandada, não é um processo tão simples. Dificuldades como os custos do combustível, seu transporte e seu armazenamento estão no bojo dos entraves no uso desse tipo de fonte. Aliado a isso ainda existe o aspecto ambiental, visto que devido à queima de combustível os grupos geradores emitem gases de efeito estufa.

Segundo Pinho *et al.* (2008), as fontes de energia renováveis, tais como a solar (fotovoltaica), a eólica, a hídrica (de pequeno e médio porte), ou a biomassa, constituem exemplos reais para geração de eletricidade em áreas remotas. Porém, os custos de investimento para instalação de sistema que utilizam essas fontes são bastante elevados, sendo essencial uma boa caracterização dos recursos energéticos e da demanda elétrica, de forma a dimensionar o sistema de geração que melhor atenda à necessidade de energia com o menor custo.

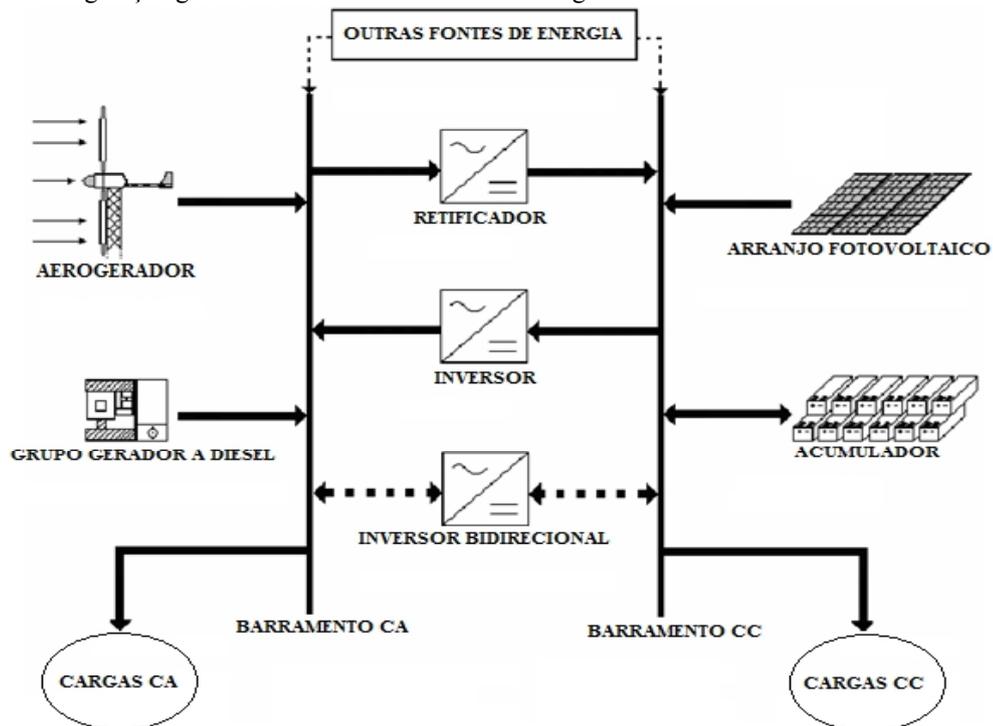
Existem regiões onde há possibilidade de aproveitamento de mais de uma fonte de energia, podendo haver a combinação das mesmas em um sistema unificado. Tal combinação é denominada de sistema híbrido de energia.

Para Meraz *et al.* (2013), sistemas híbridos são caracterizados por poderem gerar energia elétrica a partir de duas ou mais fontes de energia simultaneamente, como por exemplo eólica-fotovoltaico, fotovoltaico-células de combustível, eólica-térmica, dentre outras.

De acordo com Prats, García e Alonso (2011), um sistema híbrido é definido pela combinação, em uma só instalação para geração de energia, de fontes geralmente renováveis que podem ser complementadas com grupos geradores dimensionados para funcionamento apenas em casos de emergência.

Segundo Pinho *et al.* (2008) um sistema híbrido pode ser definido como aquele que utiliza mais de uma fonte de energia que, dependendo da disponibilidade dos recursos, deve gerar e distribuir energia elétrica, de forma otimizada e com custos mínimos, a uma determinada carga ou a uma rede elétrica, isolada ou conectada a outras redes. Dada a possibilidade de uma fonte suprir a falta temporária de outra, esse tipo de sistema tem capacidade de operar com menor risco de interrupção. Na figura 18 apresenta-se a configuração geral de um sistema híbrido.

Figura 18 - Configuração geral de um Sistema Híbrido de Energia.



Fonte: Adaptada de Pinho *et al.*, 2008.

Em geral, os sistemas híbridos não estão conectados à rede elétrica da concessionária e os principais equipamentos que os compõem são:

- Painéis fotovoltaicos, aerogeradores, turbinas hidráulicas – tecnologias de conversão de fontes renováveis;
- Grupos geradores a diesel, a gasolina ou a gás – tecnologia de conversão de fontes não renováveis;
- Baterias (formando um banco de baterias) – subsistema de armazenamento de energia elétrica;
- Inversores de tensão, retificadores e controladores de carga – equipamentos do sistema de condicionamento de potência.

## 4.2 Principais configurações de sistemas híbridos

O tipo de sistema híbrido de energia a ser utilizado, ou seja, quais fontes serão conectadas ao sistema, dependem, na maioria das vezes, da disponibilidade de recursos naturais como, por exemplo, o perfil dos recursos eólicos e índices de radiação solar. Outros aspectos relacionados a disponibilidade de recursos financeiros e à logística para montagem do sistema também influenciam na escolha do *layout* do sistema. No entanto, qualquer que seja o sistema montado, este deve ser capaz de atender a demanda energética de maneira confiável e com custos compatíveis com o projeto. As configurações de sistemas híbridos mais comumente encontradas são:

- Sistema eólico-diesel;
- Sistema fotovoltaico-diesel;
- Sistema fotovoltaico-eólico-diesel;
- Sistema fotovoltaico-eólico.

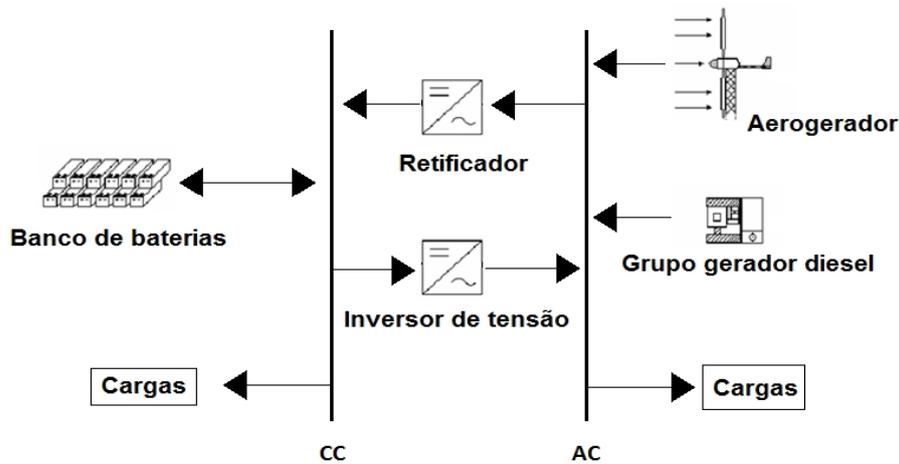
### 4.2.1 Sistema eólico-diesel

Este tipo de sistema se configura pela produção de energia a partir do aproveitamento de recursos eólicos e uso de geradores a diesel, os quais se combinam de forma a atender uma carga específica.

Em geral, um sistema de controle faz o gerenciamento do uso de cada subsistema (eólico e/ou diesel) bem como do suprimento das cargas por estas fontes. Como o sistema pode atender tanto cargas em corrente contínua quanto em corrente alternada, faz-se necessária a instalação de dispositivos (inversores e retificadores) que façam essa conversão. Por fim o sistema pode ainda ter mecanismos de armazenamento de energia, ou seja, um banco de baterias.

O grupo gerador a diesel pode exercer a função de principal fornecedor de energia, condição na qual a geração eólica tem o papel de atenuar o consumo de combustível ou pode funcionar como fonte reserva de energia a ser usada quando a geração a partir da eólica não for viável. Com efeito, esta segunda forma de utilização do grupo gerador é a mais encontrada em sistemas eólico-diesel de pequeno porte. Na figura 19 mostra-se uma configuração de um sistema híbridos eólico-diesel.

Figura 19 – Sistema híbrido de energia – configuração eólico-diesel.

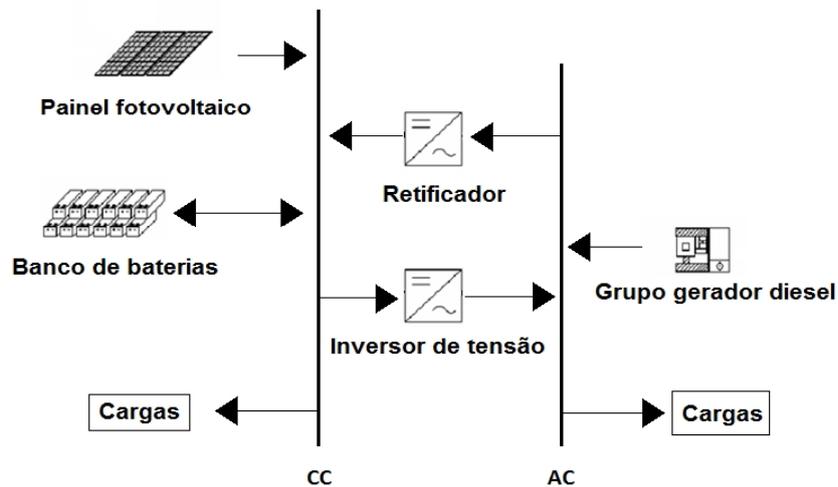


Fonte: Adaptada de Pinho *et al.*, 2008.

#### 4.2.2 Sistema fotovoltaico-diesel

Na configuração destes sistemas, a radiação solar disponível associa-se com o grupo gerador a diesel para produção de energia elétrica. A ligação elétrica destes sistemas assemelha-se a ligação dos sistemas eólicos-diesel, com a diferença de que ao invés da combinação de aerogeradores, combinam-se painéis fotovoltaicos. Na figura 20 mostra-se o modelo de um sistema híbrido de energia fotovoltaico-diesel.

Figura 20 - Sistema híbrido de energia – configuração fotovoltaico-diesel.



Fonte: Adaptada de Pinho *et al.*, 2008.

Este tipo de sistema foi pouco utilizado no passado, principalmente devido aos elevados custos da tecnologia fotovoltaica. No entanto, estes custos vêm diminuindo sistematicamente, o que leva a um maior fator de utilização dos mesmos.

Uma vantagem inequívoca deste sistema quando comparado com o eólico-diesel é o de possuírem uma maior possibilidade de fazer a modulação de cargas elétricas, o que fez com que seu uso fosse cada vez mais consolidado. Bancos de baterias também podem ser utilizados nestes sistemas, sobretudo quando isolados da rede elétrica.

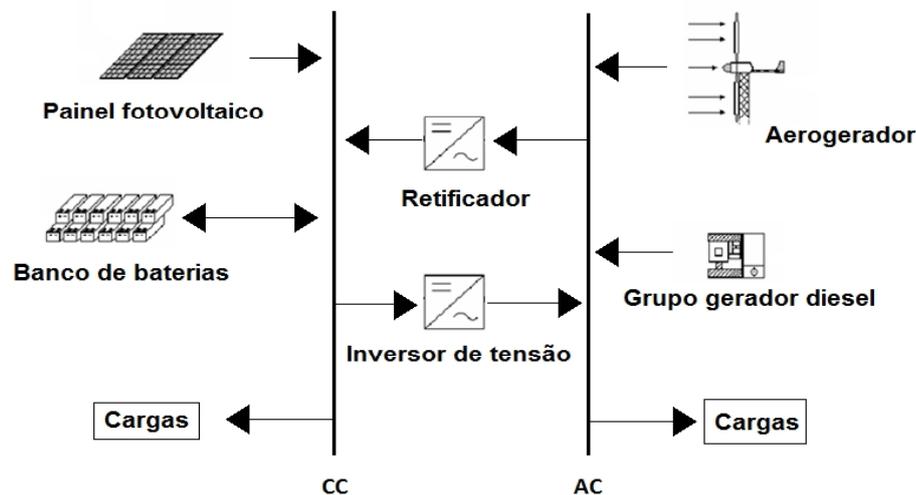
#### 4.2.3 Sistema fotovoltaico-eólico-diesel

De acordo com Di Lascio e Barreto (2009), a combinação dos aproveitamentos renováveis solar fotovoltaico e eólico com unidades geradoras a diesel em um único sistema de geração de eletricidade introduz o conceito de sistema híbrido fotovoltaico-eólico-diesel.

Este sistema, embora tenha operação similar aos anteriores, possui a vantagem de agregar duas fontes renováveis de energia, o que proporciona uma redução no consumo de diesel pelo grupo gerador e consequentemente, diminuição dos custos com este combustível.

Outro aspecto positivo desta configuração é que ao diversificar as fontes, a confiabilidade na geração aumenta. As primeiras experiências com os sistemas híbridos fotovoltaico-eólico-diesel ocorreram após os resultados satisfatórios obtidos pelos sistemas eólico-diesel e fotovoltaico-diesel. Na figura 21 é apresentado um esboço desse sistema.

Figura 21 - Sistema híbrido de energia – configuração fotovoltaico-eólico-diesel.



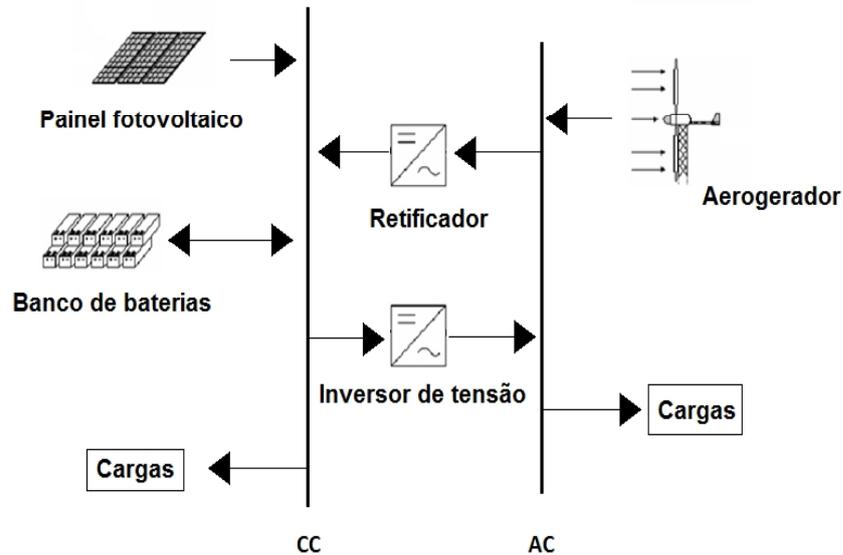
Fonte: Adaptada de Pinho *et al.*, 2008.

#### 4.2.4 Sistema fotovoltaico-eólico

Este sistema baseia-se no aproveitamento conjunto dos recursos solar e eólico. Há que se destacar que sua configuração procura implementar um melhor aproveitamento do caráter complementar de ambas as fontes ao longo do dia.

O não uso de grupo gerador a diesel dá a este sistema uma importante vantagem do ponto de vista ambiental, uma vez que não utiliza recursos não renováveis. Por outro lado, por depender de recursos naturais intermitentes, o sistema fotovoltaico-eólico não apresenta boa confiabilidade, sendo necessário o uso de acumuladores de carga (banco de baterias) com capacidade bem maior do que os sistemas que possuem grupo gerador em sua configuração. Na figura 22 apresenta-se um modelo deste tipo de sistema.

Figura 22 - Sistema híbrido de energia – configuração fotovoltaico-eólico.



Fonte: Adaptada de *Pinho et al.*, 2008.

### 4.3 Estado da arte dos sistemas híbridos

O abastecimento de energia através de sistemas híbridos de energia possui tecnologia já bem consolidada, sobretudo no que diz respeito aos painéis fotovoltaicos, turbinas eólicas, grupos geradores e acumuladores de carga. No entanto pesquisas têm sido desencadeadas principalmente nos dispositivos relacionados ao comando, operação e automação destes sistemas. O estado da arte recente de sistemas híbridos de energia elétrica está relacionado com uma série de pesquisas, tais como:

- Os avanços na conversão de energia elétrica através da disponibilização de novos dispositivos semicondutores de eletrônica de potência levaram a melhoraria da eficiência, da qualidade e da confiabilidade do sistema.
- Desenvolvimento de softwares versáteis para simulação de sistemas híbridos de energia.

- Contínuos avanços no processo de fabricação e melhoria da eficiência dos módulos fotovoltaicos.
- O desenvolvimento de controladores automáticos customizados que visem à melhoria do funcionamento dos sistemas híbridos de energia e à redução de requisitos de manutenção.
- Desenvolvimento de melhores baterias de chumbo-ácido, de ciclo profundo, para sistemas de energia renovável.
- Disponibilidade de aparelhos AC e DC mais eficientes e confiáveis, cujo aumento no tempo de vida útil permita recuperar o custo adicional com sua aquisição.

#### **4.4 Sistemas híbridos: vantagens e desvantagens**

Os aspectos positivos e negativos, assim como em qualquer outro processo de produção de energia elétrica, também estão presentes nos sistemas híbridos. Alguns destes aspectos serão elencados abaixo em função das várias dimensões (PINHO et al. 2008).

- Quanto ao local de instalação:
  - Vantagem: os recursos energéticos estão disponíveis no local da instalação.
  - Desvantagem: a disponibilidade energética dos recursos precisa ser favorável para geração de eletricidade.
- Quanto ao equipamento e investimento:
  - Vantagem: sistemas de fácil ampliação graças à modularidade dos subsistemas de geração, dando mais flexibilidade ao mesmo.
  - Desvantagem: inicialmente, o aporte de recursos financeiros investidos no sistema é elevado. Um dos fatores que concorre para esta elevação é a necessidade de importação de alguns equipamentos de geração.
- Quanto à operação e manutenção:
  - Vantagens: por serem independentes, não necessitam de conexão com a rede convencional; apresentam pouca necessidade de manutenção, especialmente nas tecnologias renováveis, dando mais confiabilidade ao sistema e, por fim, a proximidade com a carga é um fator de redução de perdas na transmissão de energia.
  - Desvantagens: em decorrência da intermitência das fontes renováveis, precisam de sistemas acumuladores de energia; as baterias possuem um baixo ciclo de vida quando comparadas a outros equipamentos do sistema e, dependendo do porte do sistema, o processo de controle pode não ser tão simples.

- Quanto ao aspecto ambiental:
  - Vantagem: sistema benigno do ponto de vista ambiental, principalmente devido ao baixo nível de emissão de CO<sub>2</sub> e outros gases, quando comparados à geração a partir de combustíveis fósseis, exclusivamente.
  - Desvantagem: o descarte e reciclagem das baterias são aspectos negativos. Além disso, dependendo do porte do sistema há a ocupação de grandes áreas pelos painéis fotovoltaicos e a poluição visual causada pelos aerogeradores.

#### **4.5 Definindo a melhor estratégia de operação de sistemas híbridos**

Segundo Prats, García e Alonso (2011), as estratégias de operação utilizadas pelos sistemas híbridos, em linhas gerais, visam principalmente a um atendimento contínuo e de qualidade, de acordo com o padrão exigido, como também à redução do consumo de óleo combustível (diesel) e, conseqüentemente, dos custos operacionais do subsistema diesel-elétrico.

Em geral, a operação dos sistemas híbridos busca o suprimento da demanda de energia de unidades consumidoras, sempre que possível, priorizando fontes renováveis de energia. Como as fontes renováveis, em especial solar e eólica, dependem das condições climáticas, é possível que o processo de carregamento das baterias fique comprometido quando da ocorrência de dias nublados ou de ventos calmos. Neste caso, é necessária a presença de um gerador a diesel que, ao ser acionado de forma automática, garante o fornecimento da energia. O gerador permanece em operação até que a carga das baterias se complete.

Uma opção estratégica de operação é a que considera a potência demandada pela carga no momento em que o grupo gerador é acionado. Neste caso, o gerador entra em operação quando o nível da carga das baterias está crítico ou quando a potência que as cargas demandam está muito alta.

Pinho *et al.* (2008) fala de outra estratégia de operação, a qual consiste no atendimento das cargas simultaneamente, tanto pelo subsistema de geração diesel-elétrica, quanto pela energia produzida pelos geradores renováveis (operação em paralelo). Nessa estratégia pode haver ou não um sistema de armazenamento.

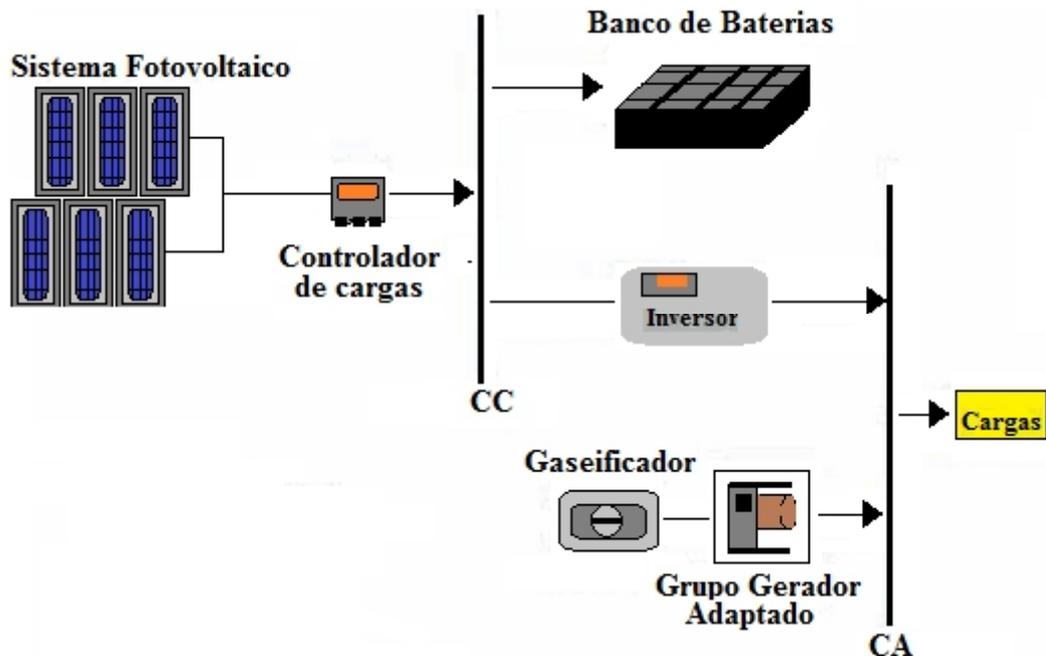
#### 4.6 Outras fontes de energia utilizadas em sistemas híbridos

A fim de aumentar a capacidade de atendimento da demanda energética bem como sua eficiência de um modo geral, os sistemas híbridos de energia podem lançar mão de outras possibilidades de fontes energéticas. Duas dessas fontes merecem destaque: biomassa e células a combustíveis.

O uso da biomassa em sistemas híbridos, em suas mais variadas formas de apresentação, pode ser uma opção viável, principalmente em regiões como a Amazônia, onde há facilidade na obtenção do recurso.

Na figura 23 é mostrado um diagrama unifilar de um sistema híbrido, o qual utiliza biomassa através da gaseificação.

Figura 23 – Esquema de um sistema híbrido de energia (fotovoltaico-biomassa-gasificação).



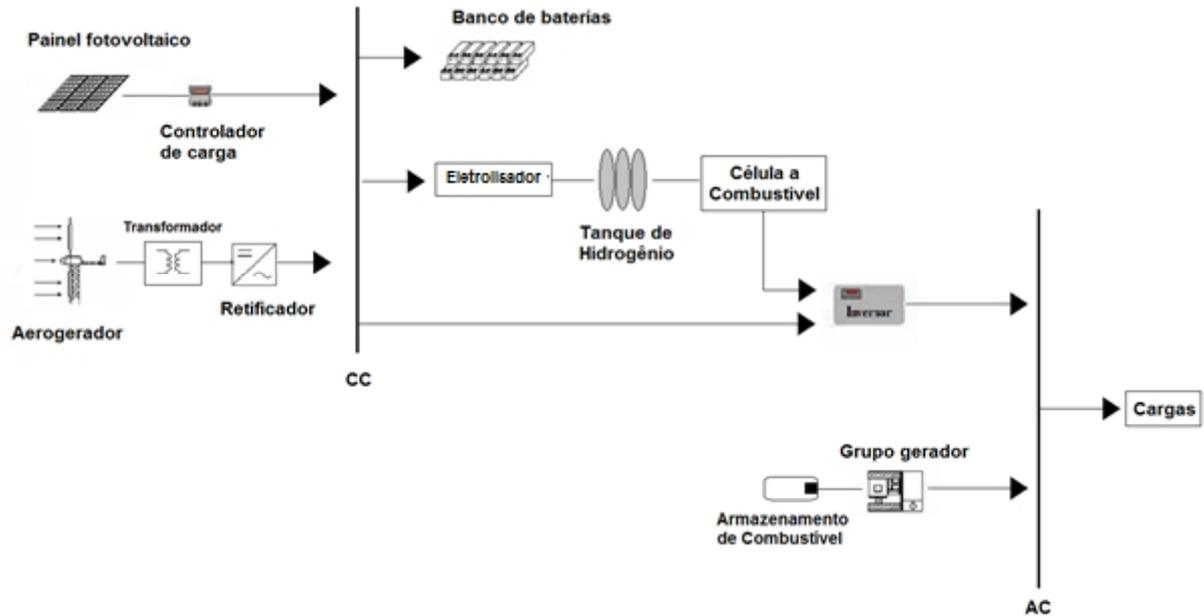
Fonte: Adaptada de Pinho *et al.* (2008).

Outro tipo de configuração de sistemas híbridos de energia, menos usual, é a que incorpora o uso de células a combustíveis. Esta opção apresenta como vantagens um elevado nível de confiabilidade, bom desempenho no que se refere à eficiência energética e emissão de gases de efeito estufa em quantidades menores.

A conexão desta tecnologia nos sistemas híbridos encontra como principais obstáculos o elevado custo e certa limitação tecnológica quando comparada com outras fontes de suprimento energético.

Uma das formas de produção do hidrogênio é a utilização de um eletrolisador, alimentado com o excedente de geração de energia proveniente do sistema, como mostrado na figura 24.

Figura 24 - Esquema de um sistema híbrido de energia (fotovoltaico-eólico-célula a combustível-diesel).



Fonte: Adaptada de Pinho *et al.* (2008).

#### 4.7 Estudos relacionados com sistemas híbridos

Inúmeros sistemas híbridos têm sido instalados em muitos países do mundo nas últimas quatro décadas, fundamentalmente com a finalidade de fornecer eletricidade para comunidades isoladas, para pequenos sistemas de bombeamento e dessalinização de água, refrigeração, entre outras aplicações (HESSAMIN, CAMPBELL e SANGUINETTI, 2011; FADAEENEJADN *et al.*, 2014; GARCÍA *et al.*, 2014; HUANG *et al.*, 2015; AMUTHAN e RAJINI, 2015)

Embora não haja uma fonte de dados que indique a quantidade de sistemas híbridos instalados mundialmente, sabe-se que o uso inicial dos mesmos remonta ao início dos anos 70, possivelmente como uma forma de buscar alternativa de energia diante do cenário de crise do petróleo.

No Brasil, segundo Di Lascio e Barreto (2009), os sistemas híbridos de energia são encontrados em maior abundância na região amazônica e em localidades onde o acesso à energia elétrica de maneira convencional se torna inviável economicamente.

Senjyu *et al.* (2005) propuseram um sistema híbrido de energia incorporando fontes renováveis para uso em pequenas ilhas isoladas do Japão. O sistema foi simulado para quatro tipos de combinações diferentes entre geradores eólicos, geradores a diesel e geradores de célula

de combustível. A combinação que apresentou melhor desempenho quanto ao fornecimento de energia de alta qualidade foi a que incorporou às três fontes os acumuladores de carga (banco de baterias).

No Brasil, Siqueira e Seraphim (2007) estudaram o comportamento da energia solar e eólica em um sistema híbrido para energização rural. O estudo mostrou que houve complementariedade entre a energia eólica disponível e a energia solar global incidente no plano do painel fotovoltaico do sistema híbrido eólico-fotovoltaico na maioria dos períodos. Naquele trabalho, os valores de energia solar global foram 25 vezes maiores do que os valores da energia eólica disponível. Por esta razão, a energia solar global foi a fonte de energia que mais contribuiu na quantidade total de energia disponibilizada para o sistema híbrido. Obviamente para tais casos não seria adequado a inclusão da eólica, pois a mesma seria responsável por apenas 4% da geração

Na Arábia Saudita, Shaahid e Elhadidy (2008) realizaram uma análise econômica de sistemas híbridos (fotovoltaico-diesel-bateria) de energia para alimentação de carga residencial. O estudo mostrou que para um determinado sistema fotovoltaico-diesel, a diminuição do tempo de utilização do diesel é reforçada pela inclusão de armazenamento em bateria. A porcentagem de economia de combustível, utilizando sistema fotovoltaico (PV) – bateria - diesel híbrido (4 kW PV, 10 kW sistema diesel, 3 horas de armazenamento nas baterias) foi de 19% se comparado com a situação onde se utiliza somente diesel. A redução percentual das emissões de carbono através da utilização do sistema também foi de 19% em relação ao cenário onde se utiliza apenas diesel.

Na comunidade da Ilha de Lençóis (Cururupu/MA) foi instalado um projeto piloto de sistema híbrido de energia fotovoltaico-eólico financiado pelo Programa Luz para Todos do Ministério de Minas e Energia (MME). Também compunha o sistema um grupo gerador a diesel de reserva (*backup*) usado para suprir a demanda elétrica somente quando não houver energia suficiente oriunda das fontes renováveis (ou baterias descarregadas) ou nos casos de falhas e/ou defeitos no sistema (MENDEZ, 2008). O sistema garante o abastecimento de energia elétrica às 90 famílias residentes na ilha.

Sreeraj *et al.* (2010) propuseram um design para sistemas híbridos de energia isolados da rede que foi testado em uma aldeia na Índia. A configuração ideal do sistema no espaço do projeto inteiro foi selecionada com base no menor custo da energia, sujeita a um critério de confiabilidade especificado. Nesse caso a configuração selecionada foi a que associa energia eólica, gerador a diesel e banco de baterias.

Borges Neto *et al* (2010) propuseram uma configuração de sistema de energia híbrido que combina módulos fotovoltaicos e digestores alimentados por esterco de cabras como base para o desenvolvimento rural sustentável na região nordeste do Brasil. Os autores comprovaram a viabilidade técnica e econômica (desde que financiados) do sistema proposto.

Prats, García e Alonso (2011) propuseram um sistema híbrido de energia eólico-fotovoltaico-diesel com uso de banco de baterias conjugado para ser usado na dessalinização de água nas Ilhas Canárias. Para escolha da melhor configuração do sistema utilizaram o software HOMER para realizar as simulações com base na demanda energética a ser atendida, índices de radiação solar e velocidades de ventos da região. Os resultados da simulação indicaram um sistema com capacidade de produção de 250 kWh de energia por dia (cerca de 5 kWh para cada m<sup>3</sup> de água dessalinizada).

Hessamin, Campbell e Sanguinetti (2011), investigaram, para uma ilha localizada na Austrália, a viabilidade técnica e econômica da substituição de geração de energia somente a partir de um gerador a diesel por um sistema híbrido que usasse o gerador associado de oito maneiras diferentes com outras fontes (solar, eólica, energia a partir de sistema de ar comprimido, células de hidrogênio e baterias). Os resultados demonstraram a superioridade técnica, econômica e ambiental do sistema híbrido eólica-gerador a diesel-baterias, sendo esta a combinação que teve o menor custo por kWh produzido.

Huang *et al* (2015) propuseram, na China, um sistema fotovoltaico-eólico com várias unidades menores para comparar seu potencial de geração com o sistema tradicional (apenas eólico de grande porte). A capacidade de geração era a mesma para os dois modelos. Os resultados mostraram que, em baixa velocidade do vento, o sistema híbrido fotovoltaico-eólico teve maior produção de energia do que o sistema de referência. A potência das turbinas eólicas em fotovoltaico-eólico aumentou em 18,69%, 31,24% e 53,79%, quando utilizadas em Shenyang, Xangai e Guangzhou, respectivamente, em comparação com o sistema de referência.

Nesta perspectiva, o presente trabalho contribui para os estudos relacionados aos sistemas híbridos de energia na medida em que investiga a possibilidade de instalação destes sistemas como uma alternativa sustentável ao sistema convencional de abastecimento de energia. O acesso à energia elétrica via sistemas híbridos é analisada sob o aspecto técnico e econômico, considerando-se as fontes eólica e solar fotovoltaica com possibilidade de uso de gerador a diesel.

## 5 MÉTODOS E TÉCNICAS

### 5.1 Caracterização da região de estudo

Após o levantamento dos dados de radiação solar, velocidade e direção dos ventos em vários municípios do estado do Piauí, constatou-se que dois municípios, em particular, reúnem as condições mínimas necessárias para a implementação de um sistema híbrido de energia: Parnaíba e Paulistana.

O município escolhido foi Paulistana, considerando-se que este reúne duas condições importantes para o estudo: presença de comunidades rurais sem abastecimento de energia elétrica e valores de radiação solar e velocidade do vento compatíveis, respectivamente, à produção de energia solar fotovoltaica e eólica.

Paulistana, situado a 450 km da capital Teresina, está localizado no sudeste do estado, possui coordenadas geográficas 08°08'37" S e 41°08'59" W e área total de 1.752 km<sup>2</sup>. Com 354 metros de altitude e clima semiárido, o município tem uma população 19.783 habitantes, da qual 46,1% é rural (IBGE, 2010). Seus principais indicadores socioeconômicos são: IDH de 0,605 e PIB per capita de R\$ 3.228,50/ano (IBGE, 2010).

Em uma visita *in loco* realizada em janeiro de 2013 em 11 comunidades rurais daquele município, verificou-se que a comunidade Roça de Baixo (distante 30 km da sede municipal) se mostrou como uma potencial área de implementação do sistema híbrido, uma vez que está localizada há uma distância de 5 km da rede convencional de energia elétrica e por reunir 12 residências relativamente próximas sem abastecimento de energia.

A comunidade, apesar de possuir densa vegetação, tem vias de acesso trafegáveis por qualquer tipo de veículo.

Os moradores da comunidade Roça de Baixo, através de entrevistas realizadas, foram unânimes ao considerarem o recurso energético como uma infraestrutura essencial para um melhor “conforto” humano, notadamente nos serviços relacionados à conservação de alimentos, comunicação e à iluminação.

A segunda visita *in loco*, realizada em julho de 2014, teve dois objetivos: georreferenciar o ponto de energia elétrica mais próximo da comunidade Roça de Baixo bem como suas 12 residências e fazer o levantamento da carga (aparelhos instalados) em residências localizadas na comunidade São Martin, a qual por ser a comunidade vizinha mais próxima à Roça de Baixo que possui abastecimento de energia elétrica será usada como referência no que se refere à cesta de equipamentos elétricos.

A terceira visita *in loco*, ocorreu em outubro de 2015 e teve por objetivo fazer mais algumas imagens de locais importantes citados nesta pesquisa. Uma dessas imagens, mostrada na figura 25, é a de uma residência localizada na Comunidade Roça de Baixo, a qual revela um cenário de isolamento e pobreza. A rede de distribuição de energia elétrica em baixa tensão localizada mais próxima da comunidade é mostrada na figura 26

Figura 25 – Unidade residencial localizada na comunidade Roça de Baixo.



Fonte: acervo do autor.

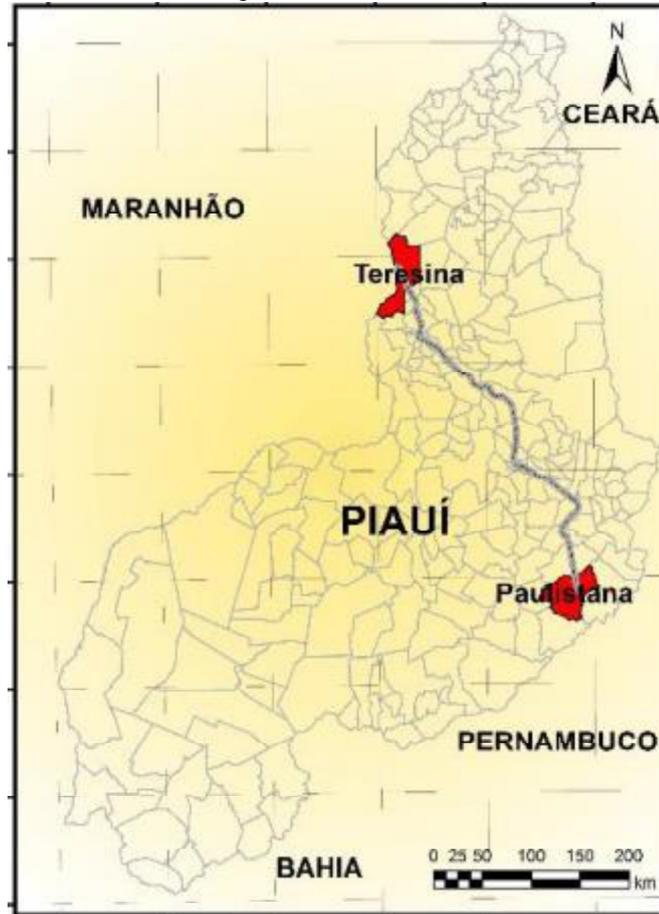
Figura 26 – Rede de distribuição de energia elétrica trifásica com localização mais próxima da comunidade Roça de Baixo.



Fonte: acervo do autor.

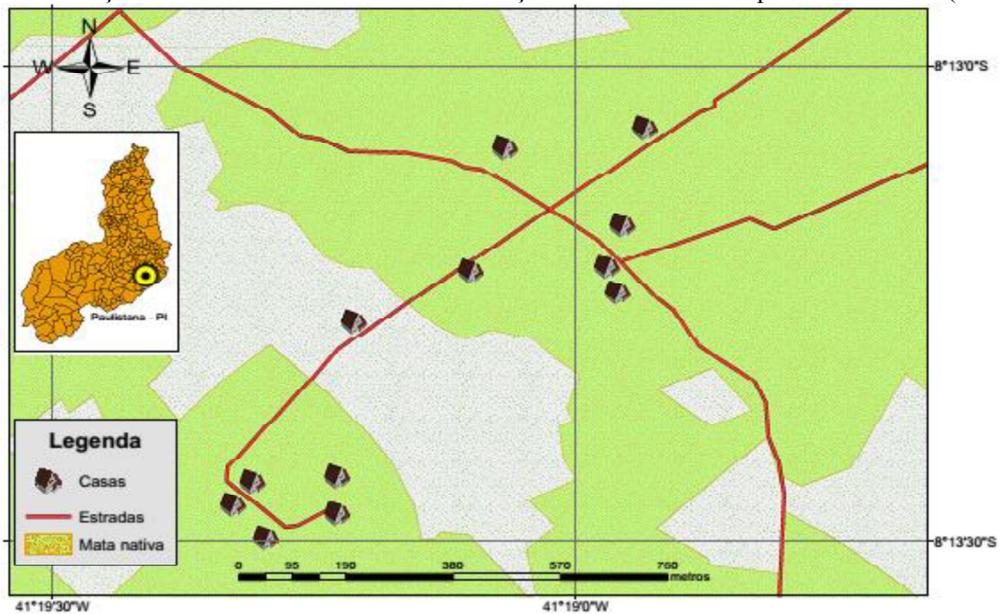
Na Figura 27 é apresentado o mapa do Piauí destacando o município de Paulistana. Já na Figura 28 é mostrada a localização das residências da comunidade Roça de Baixo.

Figura 27 - Mapa do Piauí destacando o município de Paulistana.



Fonte: Aguiar (2004).

Figura 28 - Localização das residências da comunidade Roça de Baixo no município de Paulistana (Piauí).



Fonte: autor.

## 5.2 Base de dados utilizada e o método de preenchimento de falhas

Todos os dados de radiação solar, de direção e velocidade de vento, contidos nesse trabalho foram fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), medidos em Plataformas de Coleta de Dados (PCDs) em intervalos de uma hora para o período de 01 de janeiro a 31 de dezembro de 2010. O Piauí conta com uma rede de 19 PCDs, distribuídas de norte a sul do estado, pertencentes ao INMET. A PCD localizada em Paulistana é mostrada na figura 29. Esta PCD mede e registra, através de sensores instalados a 10 metros de altura em relação ao solo, os valores de radiação solar, velocidade e direção do vento, umidade relativa do ar, temperatura do ar, pressão atmosférica e precipitação.

Figura 29 - Localização da Plataforma de Coleta de Dados no município de Paulistana.



Fonte: autor.

O ano de 2010 foi escolhido para caracterizar o perfil solar e eólico do estado por ter sido o ano, dentre aqueles que tinham dados disponíveis, que menos apresentou valores ausentes/inconsistentes em sua série. Para contornar o problema na consistência dos dados optou-se pela utilização do método de preenchimento de falhas denominado método de validação cruzada (*cross validation*), definido como o procedimento mediante o qual cada amostra é retirada do conjunto de dados e é feita uma interpolação para avaliar seu valor (*leave one out*). A validação cruzada supõe que em um determinado ponto, que não tenha sido coletado os dados, o valor é estimado a partir dos dados circundantes. Após essa estimativa, o valor é reintroduzido na série de dados e outro é retirado. Neste método é possível comparar o erro das estimativas para todo o conjunto de dados.

Do ponto de vista meteorológico, o ano de 2010 (a partir de meados de junho) sofreu influência do fenômeno *La Niña*, o qual persistiu até o segundo trimestre de 2011. Os efeitos típicos desse fenômeno no Brasil são a tendência de chuvas acima da média na Região Norte e parte da Região Nordeste e redução das chuvas na Região Sul. Nas demais áreas do país, os efeitos não são bem definidos e variam muito com a época do ano e com cada ocorrência do fenômeno (INMET, 2010). Para o município de Paulistana, o efeito do fenômeno não teve papel significativo, visto que o perfil dos dados de 2010 se assemelha ao dos anos anteriores ao fenômeno.

Com os dados do INMET disponíveis desenvolveu-se uma etapa importante da metodologia do projeto: caracterização do potencial eólico e solar do estado do Piauí, conseqüentemente da região de estudo.

### **5.3 O Software Windographer®**

Todos os gráficos que representam o perfil diário e mensal de velocidades médias do vento bem como sua direção predominante foram construídos utilizando-se o software Windographer® a partir da inserção dos dados obtidos do INMET.

De acordo com a *Mistaya Engineering* (2014), o Windographer® estima a quantidade de energia disponível em uma região a partir das informações de valores de velocidade do vento, informação primordial quando se pretende caracterizar se aquela região é viável para a instalação de um parque eólico. O software também estima a velocidade do vento em várias altitudes, uma vez conhecida a velocidade em uma altura especificada e os resultados podem ser visualizados graficamente. Para realizar tal estimativa o Windographer® utiliza a equação 4 mostrada no capítulo 4.

### **5.4 O Software HOMER**

O HOMER, Hybrid Optimization Model for Electric Renewable, é um software disponibilizado pelo NREL (National Renewable Energy Laboratory) localizado nos EUA, que auxilia nas tarefas de configurar, simular, avaliar e otimizar vários *layouts* de projetos de sistemas híbridos para eletrificação de unidades de consumo. Nesses *layouts* é possível associar e combinar tecnologias convencionais e/ou alternativas: geração solar fotovoltaica, eólica, diesel, biocombustíveis, microturbinas, pequenas centrais hidroelétricas, termelétricas, células a combustível, banco de baterias, dentre outras. Permite uma análise comparativa básica de diversas alternativas de eletrificação, possibilita estimar impactos da variação de parâmetros de

carga. Seu objetivo é basicamente identificar o sistema de menor custo capaz de suprir a demanda de eletricidade de uma determinada unidade consumidora, seja residência urbana ou rural, uma comunidade, uma empresa ou uma indústria.

Neste trabalho, o HOMER será utilizado para a escolha da melhor configuração do sistema híbrido de energia a ser implementado para duas situações distintas: com e sem uso do gerador diesel.

### **5.5 Levantamento da carga a ser atendida**

Uma etapa importante na concepção de um projeto de um sistema de geração de energia elétrica é a análise da demanda, ou seja, o levantamento dos tipos de cargas (equipamentos elétricos) que serão atendidas pelo sistema, assim como o perfil de funcionamento destas cargas, a fim de que sejam definidas quais fontes serão utilizadas.

Quando se fala de especificação da carga demandada, os sistemas híbridos devem dispensar, em sua fase de projeto, atenção especial a dois aspectos: o primeiro diz respeito ao suprimento da demanda atual e seu eventual crescimento; e o segundo está relacionado com a otimização do dimensionamento das fontes de geração de energia, principalmente na perspectiva de redução do consumo de combustível em sistemas que possuem grupos geradores (PINHO *et al.*, 2008).

Para a especificação da demanda a ser atendida pelo sistema híbrido na comunidade em estudo (Roça de Baixo) foi realizado um levantamento numa comunidade vizinha (São Martin) onde há abastecimento de energia elétrica e que está situada a 1,1 km de distância de Roça de Baixo. As informações relativas à potência de cada equipamento, além de darem uma estimativa do consumo de energia (em kWh/mês) em cada residência, são essenciais para o dimensionamento dos componentes do sistema híbrido (painéis fotovoltaicos, aerogeradores, baterias e grupo gerador).

O conjunto de equipamentos previstos em cada instalação residencial atende algumas necessidades dos moradores tais como conservação de alimento, acesso a informação e iluminação para realização de tarefas noturnas. No dimensionamento da carga foi inserida em cada residência uma demanda de reserva no valor 1000 Watts para o caso da família vir a desenvolver alguma atividade econômica.

### **5.6 A análise técnica**

Após o levantamento da carga a ser atendida pelo sistema híbrido, verificou-se quais as condições de viabilidade técnica do projeto. Inicialmente, com os dados de velocidade média

dos ventos foi feita uma estimativa da quantidade de energia elétrica disponível a partir desta fonte ao longo de um ano. Tal estimativa é importante para que sejam especificados os componentes do gerador eólico, como sua potência, a altura a qual será fixada, tamanho, suporte de sustentação, como será conectada ao sistema híbrido e qual sua parcela de participação no mesmo.

Os dados de radiação solar também serão utilizados para que sejam dimensionados os painéis fotovoltaicos e suas especificações tais como potência de pico, quantidade necessária de painéis, tipo de inversor e controlador de carga a serem utilizados, conexão ao sistema híbrido e como contribuirá em termos de produção de energia para o mesmo.

As baterias também precisam ser dimensionadas na perspectiva de darem suporte ao sistema quando a produção a partir das fontes renováveis se tornar inviável. Devem ser considerados aspectos relacionados aos níveis de tensão e corrente das mesmas, bem como o tipo de associação que deve ser feita para se conectarem ao sistema. Outro aspecto que deve ser levado em consideração quando se fala destes acumuladores de energia é o que diz respeito a sua vida útil.

Para o cenário simulado com a presença do gerador a diesel, este precisa ser especificado de tal maneira que funcione como energia de *backup*, ou seja, quando nem mesmo as baterias tiverem como dar sustentação ao sistema. A potência desse gerador precisa ser dimensionada para que atenda as cargas essenciais do sistema.

Com relação à fase de projeto resta enfim, o dimensionamento do sistema híbrido de energia e como será feita a interligação da minirrede para atendimento das 12 unidades consumidoras.

Na fase pós-projeto existem alguns indicadores importantes do ponto de vista da qualidade da energia fornecida. A tensão verificada nas unidades consumidoras deve estar dentro de uma margem de  $\pm 10\%$  da tensão de fornecimento da concessionária (Nota Técnica n° 0075/2011/ANEEL).

A resolução n° 395/2009/ANEEL estabelece dois indicadores de continuidade do serviço de fornecimento de energia elétrica: a DIC (duração de interrupção individual por unidade consumidora) e FIC (frequência de interrupção individual por unidade consumidora). O primeiro diz respeito ao intervalo de tempo que, no período de apuração, em cada unidade consumidora ou ponto de conexão ocorreu descontinuidade da distribuição de energia elétrica. O segundo indica o número de interrupções ocorridas, no período de apuração, em cada unidade consumidora ou ponto de conexão.

Os valores admissíveis destes índices e que, portanto, refletem boa continuidade do serviço, variam de acordo com a concessionária e com a região onde se localiza o conjunto elétrico. Para a comunidade de estudo, tomou-se por base o conjunto elétrico do Junco, localizado no município de Picos (PI). Para instalações não urbanas os limites anuais (2014) de DIC e FIC foram, respectivamente, 51,05h e 33 interrupções.

### 5.7 A análise econômica

O desenvolvimento de uma análise econômica sobre qual, entre dois ou mais tipos de sistemas de geração de eletricidade, é o melhor para se investir deve considerar as figuras de mérito econômico-financeiro, os custos de investimento inicial e de operação e manutenção, a vida útil dos equipamentos e, principalmente, o custo da energia elétrica gerada (PINHO et al, 2008). No estudo de viabilidade econômica deste projeto serão utilizados três indicadores: o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o tempo de retorno do investimento.

O parâmetro do Valor Presente Líquido (VPL) é um dos mais utilizados dentre os indicadores financeiros. Sua vantagem principal é a facilidade de compreensão e desenvolvimento da análise, a qual concentra todos os custos presentes no fluxo de caixa de um projeto no período zero, fazendo uso da Taxa Mínima de Atratividade (TMA). O equacionamento do método do VPL é apresentado na equação 5.

$$VPL = I + CNU + \sum_{j=1}^n VP_a \quad (5)$$

Em que I é o investimento inicial do empreendimento; CNU são os custos não uniformes trazidos ao presente, recebidos ou pagos e podem ser calculados pela equação 6.  $VP_a$  é o valor presente associado a uma anuidade e pode ser calculado pela equação 7.

$$CNU = \frac{\text{Valor 1}}{(1+i)^1} + \frac{\text{Valor 2}}{(1+i)^2} + \dots + \frac{\text{Valor n}}{(1+i)^n} \quad (6)$$

$$VP_a = a \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \quad (7)$$

Em que n é o número de períodos no qual o tempo é dividido, i é a taxa de juros na qual o investimento estaria submetida e (a) se refere às anuidades, as quais são definidas como séries de pagamentos ou recebimentos que ocorrem ao longo do tempo de análise de um projeto. Segundo Pinho *et al.* (2008), normalmente, considera-se a anuidade do tipo temporal de duração limitada, com todos os seus termos iguais entre si e exigíveis desde o primeiro período, sendo seu pagamento realizado sempre no fim de cada período.

Ainda segundo Pinho et al. (2008), a Taxa Interna de Retorno (TIR) é a taxa necessária para igualar o valor de um investimento (valor presente) com os seus respectivos retornos futuros. A TIR deve ser comparada à TMA para que a viabilidade do projeto seja analisada. Assim podem ocorrer as seguintes situações:

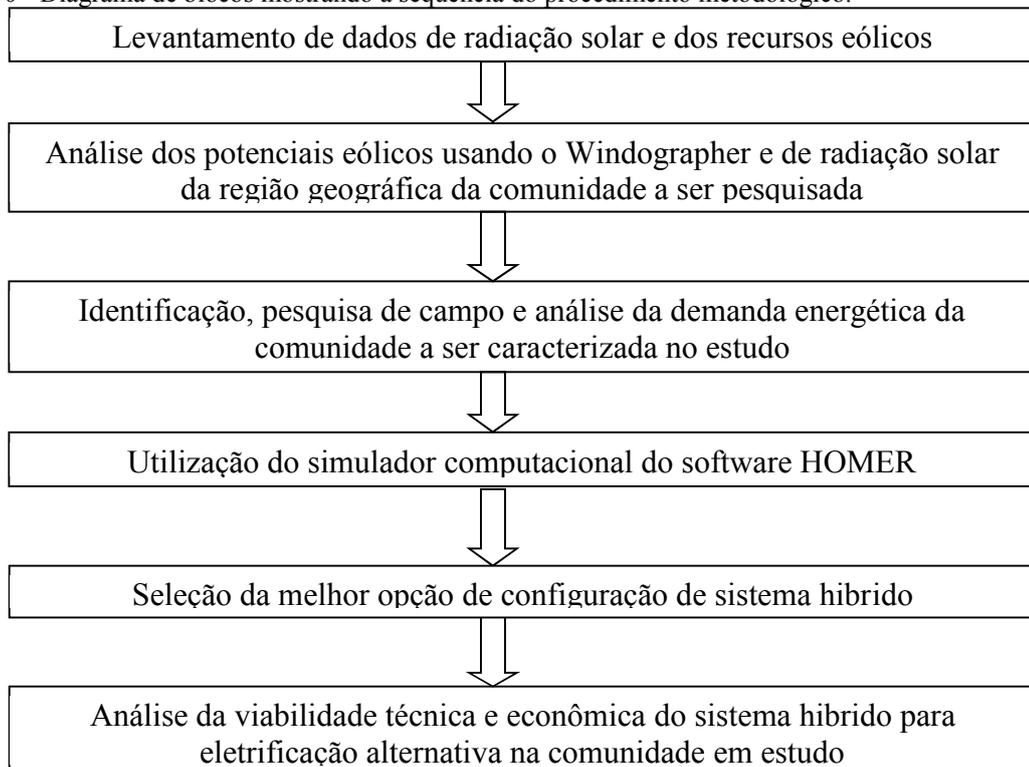
- $TIR > TMA \rightarrow VPL (+)$ , indica que o investimento é atrativo economicamente.
- $TIR = TMA \rightarrow VPL (0)$ , indica ser indiferente, sob o aspecto econômico, o investimento.
- $TIR < TMA \rightarrow VPL (-)$ , indica a não atratividade econômica do investimento, uma vez que a taxa de retorno é superada por uma taxa, na qual o montante já está sendo aplicado sem que precise fazer o investimento.

O tempo de retorno do investimento (*payback*) é o tempo necessário para que os benefícios resultantes do projeto retornem o investimento realizado. É um bom indicador de risco, visto que à medida que o *payback* se aproxima do final do horizonte de planejamento, mais arriscado é o investimento (PINHO *et al.*, 2008).

### 5.8 Síntese da aplicação dos procedimentos metodológicos

O diagrama de blocos mostrado na figura 30 sintetiza a metodologia aplicada na eletrificação alternativa através de um sistema híbrido combinando geração fotovoltaica, eólica e grupo gerador.

Figura 30 - Diagrama de blocos mostrando a sequência do procedimento metodológico.



## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Inicialmente serão apresentados os resultados referentes à caracterização do perfil eólico e solar do estado do Piauí originados a partir do levantamento dos dados primários de radiação solar e de velocidade do vento. Em seguida, serão apresentados os potenciais de produção anual de energia solar e eólica da região de estudo. Os resultados referentes à carga elétrica instalada e ao perfil de demanda de energia da comunidade em estudo serão apresentados na etapa seguinte. Na sequência, os resultados obtidos a partir das simulações com o software HOMER bem como a escolha da melhor configuração do sistema híbrido por ele sugerida serão apresentados. Finalmente, serão apresentados os resultados referentes à análise técnica e econômica do sistema híbrido proposto. Todos estes resultados serão amplamente discutidos ao longo do capítulo.

### 6.1 Caracterização do perfil eólico e solar do estado do Piauí

#### 6.1.1 O perfil eólico

Quando se pretende verificar se uma determinada região possui potencial para aproveitamento de energia eólica, faz-se necessário que se tenham dados confiáveis de direção e velocidade média do vento. A maioria os dados anemométricos são obtidos em superfície (10 metros de altura) através de PCDs, quando o ideal seria a obtenção desses dados na altura onde se pretende instalar o gerador eólico. Atualmente os aerogeradores estão situados na faixa de altura de 3 a 200 metros.

Na tentativa de se contornar essa limitação, pode-se recorrer à instalação de torres anemométricas que, durante um curto intervalo de tempo (2 ou 3 anos), irão coletar esses dados. No entanto, o dispêndio de recursos técnicos e financeiros para se instalar uma torre anemométrica é elevado.

Os dados primários utilizados para caracterizar o perfil eólico do Piauí, obtidos a 10 metros de altura, foram cedidos pelo INMET, o qual possui 19 PCDs instaladas no estado. Como a altura na qual está instalada a maioria dos aerogeradores ultrapassa os 80 metros, foi necessário fazer uma estimativa para esta altura a partir dos dados obtidos a 10 metros.

Se os dados de velocidade do vento forem conhecidos em uma determinada altura de referência é possível estimar, aplicando-se a equação 4, velocidades nas mais diversas alturas. O software Windographer<sup>®</sup> foi utilizado para se estimar a 80 metros de altura as velocidades médias dos ventos no estado com base dos dados primários, assumindo-se o valor do comprimento de rugosidade igual a 0,05 metros. O comprimento de rugosidade é a altura na

qual a velocidade horizontal do vento tende a zero, ou seja, é o limite inferior de validade do perfil médio (LYRA; PEREIRA, 2007).

Com auxílio do software ArcGis foi possível espacializar os dados estimados na perspectiva de uma melhor apresentação geográfica. Na figura 31 apresenta-se o primeiro mapa de velocidade média do vento do estado do Piauí construído a partir dos valores estimados a 80 metros e na interpolação dos valores entre as PCDs.

O mapa revela algumas particularidades para o estado do Piauí. Até a década passada, a possibilidade de geração de energia eólica no estado estava restrita à faixa litorânea do estado. Considerando-se que alguns aerogeradores, como por exemplo o modelo E 70 1.8 da fabricante Wobben (fonte: Wobben Windpower), possuem em sua curva de potência, uma velocidade de entrada – velocidade na qual se tem início da geração – de 2,5 m/s, o mapa eólico indica que além da costa piauiense, outras regiões do estado apontam para a possibilidade de produção.

Nos municípios de Paulistana e Parnaíba os valores médios de velocidade dos ventos ultrapassam a marca dos 4 m/s. Os dados primários revelam que os maiores valores de velocidade do vento ocorrem no mês de novembro em Parnaíba (aproximadamente 6 m/s) e agosto em paulistana (em torno de 6,5 m/s). Estes resultados indicam uma sazonalidade na produção de energia eólica, uma vez que os maiores índices de velocidade média do vento ocorrem na estação seca da região. Por esta razão a energia eólica possui, pelo menos na bacia do Rio São Francisco, um caráter de geração complementar às hidrelétricas, conforme mostraram os estudos de Oliveira e Costa (2011), visto que é exatamente quando os reservatórios têm seus níveis reduzidos que sua produção é mais favorável.

Inequivocamente, um aspecto importante que contribui para o potencial eólico de Paulistana é sua localização geográfica. O município está situado em um local de elevada altitude em plena chapada do Araripe (cerca de 374 m). Estes resultados estão de acordo com outros estudos realizados que apontam para o grande potencial eólico em regiões serranas (TEIXEIRA; CAMELO, 2013; OLIVEIRA; COSTA, 2011; SANTIAGO DE MARIA et al., 2008).

Na outra extremidade, onde estão os menores valores de velocidade média do vento, aparecem os municípios de Teresina, Floriano e Uruçuí. Os dados primários mostram que, dentre os três, apenas Floriano apresenta valores pouco superiores a 3 m/s e ainda assim apenas de julho a setembro. Há que se destacar que tão importante quanto índices de velocidade de vento aproveitáveis é a sua consistência ao longo do ano. Considerando a velocidade de entrada dos aerogeradores (2,5 m/s) estes municípios não apresentam viabilidade técnica para instalação de parques eólicos.

Na faixa intermediária de velocidades médias estão os demais municípios, os quais possuem índices superiores a 3 m/s e inferiores a 4 m/s. Em princípio, estes municípios, embora não possuam condições favoráveis para o aproveitamento eólico, não podem ser descartados, sobretudo aqueles que ficam no entorno da região de Paulistana, como Oeiras, Picos, São João do Piauí, São Raimundo Nonato e Caracol. Considerando-se que a velocidade do vento aumenta exponencialmente com a altitude, como mostra a equação 4 (capítulo 4), a instalação de aerogeradores em altitudes maiores (120 m ou 150 m) nestes municípios pode viabilizar a instalação do parque.

Com relação à direção predominante do vento, a base de dados primários do INMET mostra que, à exceção de Parnaíba e Esperantina, todos os demais municípios possuem direção que variam entre leste e sul (ventos de sudoeste). Já em Parnaíba a direção predominante do vento é a de leste, entretanto vale ressaltar também que foi registrada uma parcela dos dados, que mostra que em alguns meses a direção tende a noroeste. Esta direção predominante está associada a presença dos ventos alísios e às brisas, presentes na região de maneira mais intensa. Esta constatação está de acordo com Alcântara e Souza (2008), os quais afirmam que no Nordeste do Brasil, onde os ventos alísios são persistentes e intensos durante todo o ano, quase sempre as brisas apenas contribuem para mudar um pouco a direção e a velocidade dessas. Dependendo da orientação da costa, a velocidade do vento, resultante da superposição alísio-brisa, pode ser maior ou menor que a do alísio.

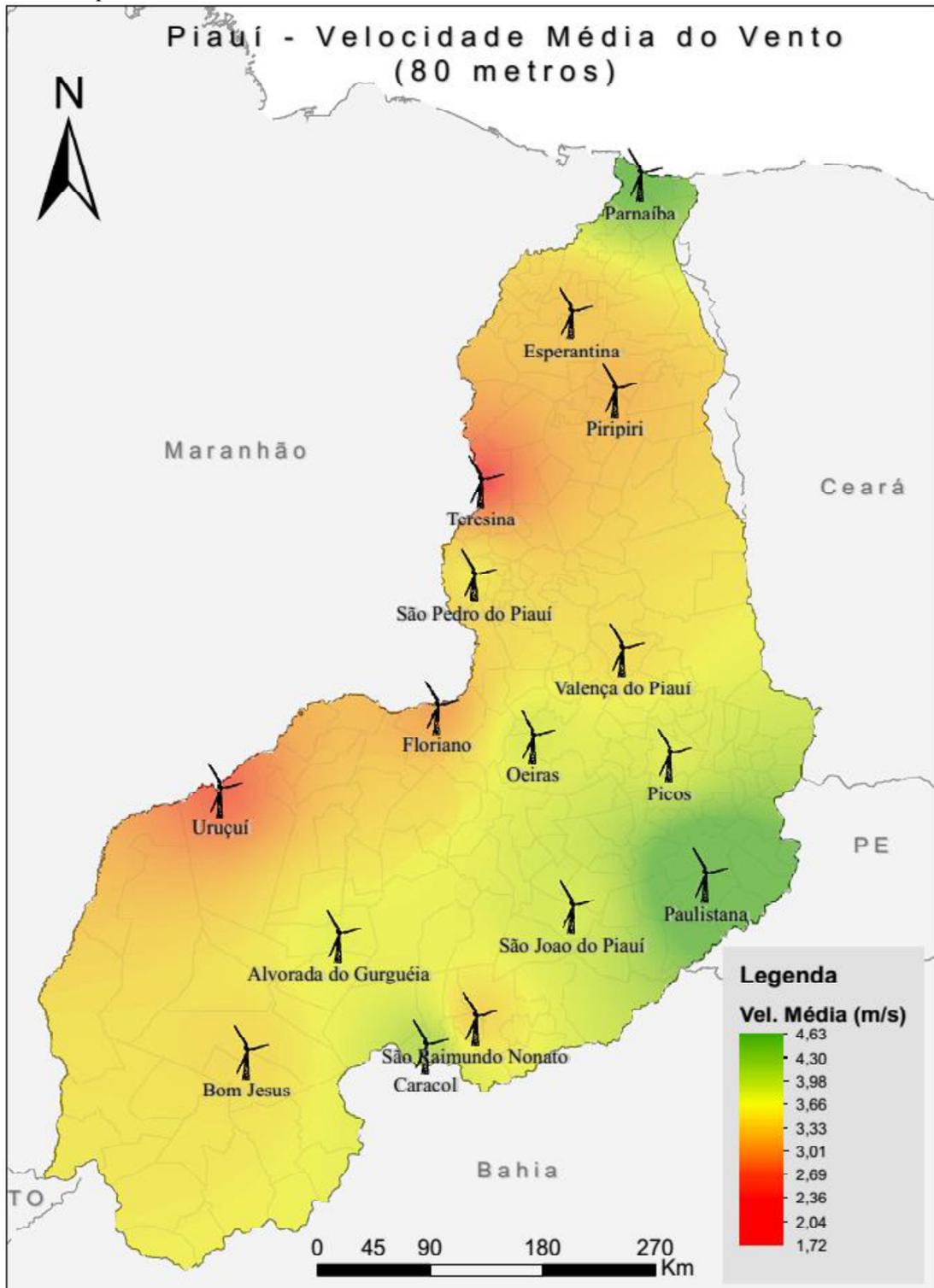
A caracterização da direção do vento é essencial no estudo de viabilidade de uma usina eólica, uma vez que condicionam a posição dos aerogeradores. De nada adianta ter bons índices de velocidade média do vento, se estes possuem grande variabilidade de direção ao longo do ano.

O mapa de velocidade de vento apresentado neste trabalho é uma iniciativa pioneira na tentativa de se quantificar os recursos eólicos do estado. Apesar da quantidade reduzida de PCDs, as mesmas são bastante representativas por estarem presentes em todas as macrorregiões piauienses. Espera-se que o mesmo possa ser expandido na perspectiva da elaboração de um atlas eólico do estado, assim como já ocorre nos estados do Ceará, Bahia, Minas Gerais, Pernambuco, São Paulo, dentre outros.

Devido aos leilões voltados para esta fonte, os investimentos em energia eólica no Piauí devem aumentar nos próximos anos e o mapeamento feito neste trabalho passa a ser uma fonte de informação a mais para governo e empresas do setor que desejam instalar parques eólicos, podendo contribuir, em última análise, para o desenvolvimento sustentável na medida em que evita-se (ou pelos menos adia-se) a construção de novas hidrelétricas e/ou termelétricas.

É importante ressaltar que parques eólicos de grande porte são construídos para serem conectados ao Sistema Interligado Nacional de Energia Elétrica. Portanto, além de se investir nestes empreendimentos é preciso que se garanta a fluidez da eletricidade produzida, ou seja, a infraestrutura em termos de linhas de transmissão deve ser garantida, uma vez que, em geral, os grandes centros de consumo de energia estão longe das usinas eólicas.

Figura 31 – Mapa do estado do Piauí mostrando os valores de velocidade média do vento estimados a 80 metros.



Fonte: autor.

### **6.1.2 O perfil solar**

A caracterização do recurso solar de uma região é condição essencial para a instalação de tecnologias e ampliação do uso da energia elétrica obtida a partir desta fonte. A precisão dessa caracterização, no que se refere ao conhecimento espacial e temporal de seus dados garantirá uma maior confiabilidade e qualidade aos sistemas solares, implicando nos custos da energia produzida.

A base de dados consultada para a caracterização do perfil solar do estado do Piauí foi referente ao mesmo período (2010) que a utilizada para caracterizar o perfil eólico. Porém, não foi necessário fazer nenhuma estimativa em altitudes superiores, já que as medições de radiação solar feitas a 10 metros já fornecem um bom indicativo do potencial local, já que boa parte dos sistemas fotovoltaicos residenciais está inserida dentro desta altitude.

O software ArcGis também foi utilizado para que fosse feita uma melhor interface de visualização geográfica em todo o estado. Na figura 32 é apresentado o primeiro mapa de radiação solar média diária anual do Piauí.

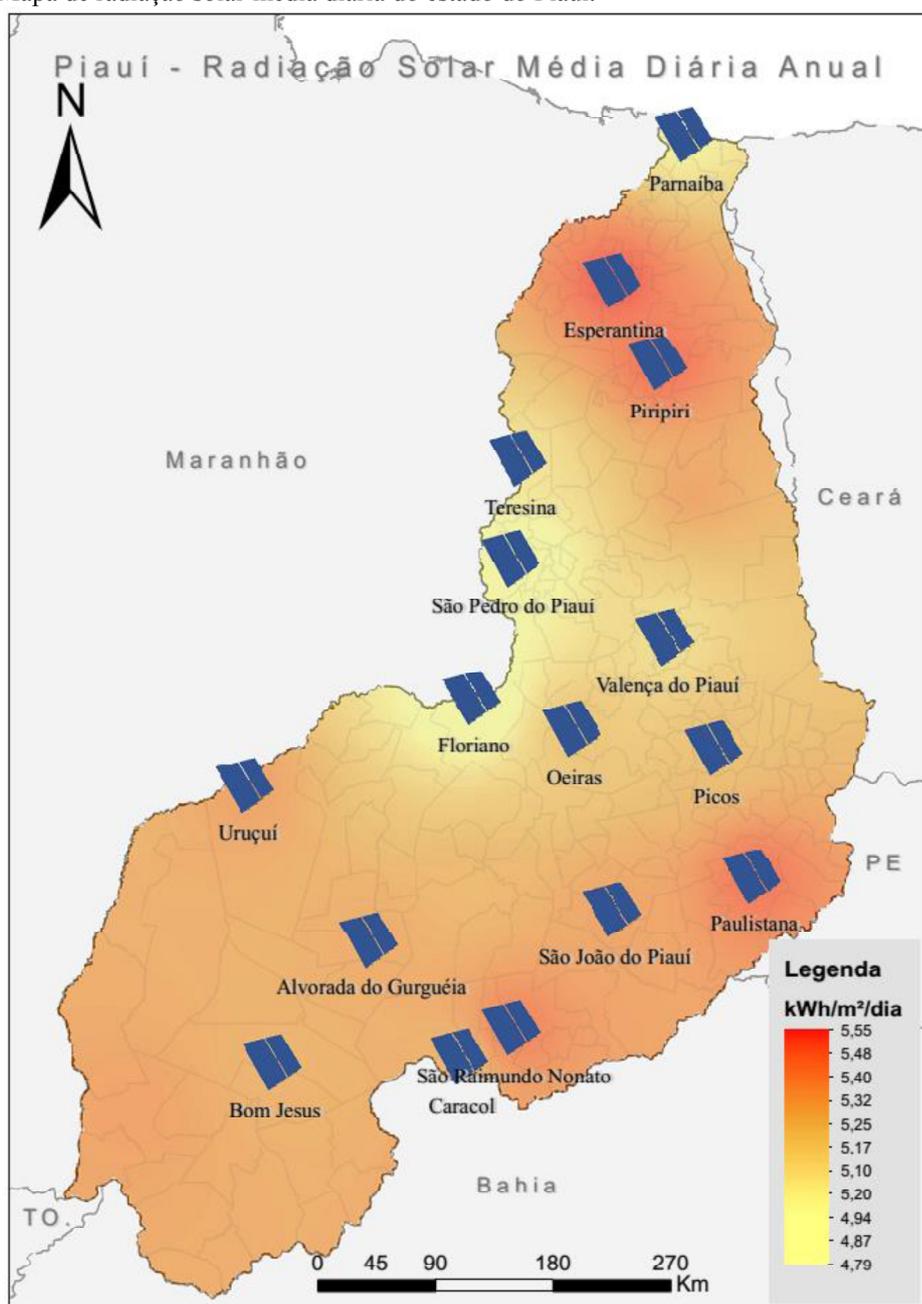
Os dados primários de radiação solar do INMET foram fornecidos em unidades de kJ/m<sup>2</sup> e convertidos em kWh/m<sup>2</sup>.

O mapa de radiação solar média diária do estado do Piauí é a primeira experiência no sentido de uma abordagem macroespacial da quantificação dos índices de radiação solar no estado. Pelo mapa, percebe-se que o estado possui índices com valores muito próximos, com pequena variação entre o valor máximo e mínimo (aproximadamente 0,76 kWh/m<sup>2</sup>/dia). O valor máximo registrado (5,55 kWh/m<sup>2</sup>/dia) está compatível com o valor apresentado no Atlas Solarimétrico do Brasil (2000) elaborado pela Universidade Federal de Pernambuco, o qual aponta o Piauí com índices de radiação da ordem de 5 kWh/m<sup>2</sup>/dia.

Valores de radiação solar acima de 5 kWh/m<sup>2</sup>/dia são encontrados em praticamente todo o estado. Os valores mais elevados (em torno de 5,55 kWh/m<sup>2</sup>/dia) estão presentes numa pequena faixa ao sul do estado, o qual compreende os municípios de Esperantina e Piri-piri e dois pontos ao norte do estado, na região que compreende o município de Paulistana e São Raimundo Nonato.

Particularmente, os elevados índices de radiação da região sul do estado são explicados no Atlas Brasileiro de Energia Solar (2006), o qual afirma que o valor máximo de radiação global no Brasil ocorre no norte do estado da Bahia, próximo à fronteira com o estado do Piauí. Essa área apresenta um clima semiárido com baixa precipitação ao longo do ano (aproximadamente 300 mm/ano) e a média anual de cobertura de nuvens mais baixa do Brasil.

Figura 32 – Mapa de radiação solar média diária do estado do Piauí.



Fonte: autor.

Os dados apresentados no mapa refletem o valor médio anual de radiação diária. Evidentemente que, assim como ocorre com o vento, também com o recurso solar ocorre uma variabilidade sazonal ao longo do ano. Assim, na estação chuvosa da região é quando se verificam os menores valores de radiação solar. Para o estado do Piauí esta estação ocorre, em geral entre os meses de dezembro e abril.

O fato do Piauí estar localizado praticamente sob a linha imaginária do Equador, faz com que o estado possua bons índices de insolação (quantidade de horas que a região fica

exposta ao sol). Em geral, na estação seca, o estado tem insolação superior a 10 horas diárias, o que implica no aumento de energia solar produtivo neste período do ano.

A localização privilegiada do estado também determina a posição de instalação dos painéis fotovoltaicos ou coletores solares, os quais não necessitam de ângulos de inclinação muito elevados (em média 10° em relação à horizontal).

Mais importante do que temperaturas elevadas ao longo do ano, única condição muitas vezes usada pelo senso comum para justificar a utilização de energia solar, são os índices de radiação global, uma vez que estes é que contribuem de forma decisiva para o efeito fotoelétrico responsável pelo processo de conversão de energia solar em energia elétrica. No que se refere a estes índices, o Piauí possui valores de radiação bem acima dos valores máximos observados na Alemanha, país recordista na produção de energia solar fotovoltaica e que possui o maior investimento neste segmento no mundo. Naquele país, os maiores índices de radiação chegam a 3,2 kWh/m<sup>2</sup>/dia, segundo Ruther (2010), enquanto o Piauí tem potencial de radiação de até 5,55 kWh/m<sup>2</sup>/dia em algumas regiões.

Numa outra perspectiva de desenvolvimento regional sustentável a energia solar fotovoltaica pode ser associada a outra riqueza do estado: o lençol freático. O Piauí conta com uma enorme rede de poços subterrâneos localizados em sua maioria na zona rural. Em 2015, a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) possuía em seu Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS) 28.206 poços cadastrados no estado. Onde não existe abastecimento de energia elétrica de forma convencional, a energia solar fotovoltaica pode ser utilizada para o bombeamento de água contribuindo assim para atividades voltadas para a agricultura familiar.

Um dos fatores que favoreceram a expansão do uso da energia solar na Alemanha foi a política de subsídios do governo daquele país. No Brasil o Governo Federal tenta viabilizar a desoneração de PIS e Cofins para sistemas de geração distribuída. Os estados também podem contribuir com a redução do ICMS que incide neste tipo de geração (RUTHER, 2010).

Do ponto de vista legislativo, o Piauí possui uma lei de incentivo ao aproveitamento da energia solar (Lei Ordinária N° 5.936 de 30/11/2009), a qual tem como objetivo estimular, como forma de diminuir o consumo das diferentes fontes de energia, os investimentos e a implantação dos sistemas de energia solar ecologicamente corretos, englobando o desenvolvimento tecnológico, em empreendimentos particulares e públicos, residenciais, comunitários, comerciais e industriais; e criar alternativas de emprego e renda. A lei citada, embora se caracterize como uma boa iniciativa, trata o tema de forma superficial, não indicando meios concretos de implantação da política de incentivo, principalmente o fiscal.

Conforme Pinho e Galdino (2014), um mapa de radiação solar é particularmente útil para os profissionais envolvidos no desenvolvimento e aplicação de tecnologias para converter energia solar em eletricidade. Os projetos de sistemas fotovoltaicos normalmente exigem uma radiação de no mínimo 3 a 4 kWh/(m<sup>2</sup>/dia).

Os mapas de radiação solar também são essenciais aos investidores do setor energético para que estes verifiquem a viabilidade de instalação de usinas fotovoltaicas. Do ponto de vista das políticas públicas, os mapas são bons indicadores para que o governo possa estabelecer ações voltadas para o desenvolvimento energético local e regional, além de estabelecer em quais regiões os projetos que participam dos leilões de energia devem ser instalados.

### ***6.1.3 Mapeamento de regiões favoráveis aos sistemas híbridos de energia***

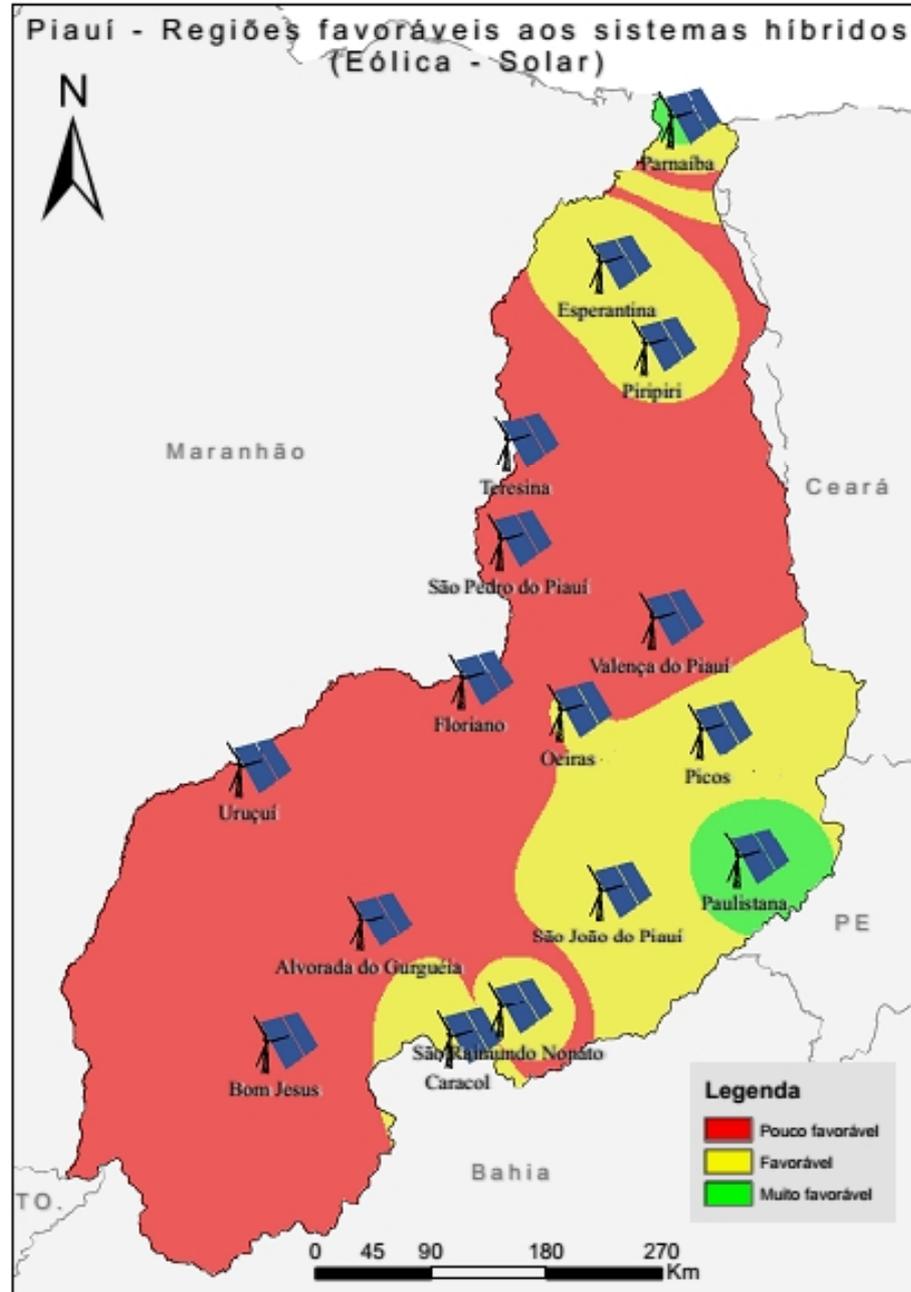
Do ponto de vista da viabilidade técnica de sistemas híbridos de energia, o levantamento da disponibilidade dos recursos naturais (eólico, solar, biomassa, etc) nas regiões onde se pretende implementar o mesmo caracteriza-se por ser uma etapa inicial e uma das mais relevantes do processo.

Na literatura especializada em energias renováveis encontram-se diversos mapeamentos de recursos naturais com vistas à produção de energia elétrica, sobretudo dos recursos eólico e solar (atlas eólico do Brasil e atlas solarimétrico brasileiro). Algumas unidades da federação (Ceará, Rio Grande do Norte, Minas Gerais, São Paulo, Bahia, Pernambuco e Alagoas, por exemplo) têm promovido estudos para construção de seus atlas regionais de radiação solar e velocidade e direção de vento.

Apesar dessas importantes contribuições no sentido de mapear esses potenciais isoladamente, a literatura carece de estudos que façam mapeamentos, os quais mostrem a viabilidade técnica (em termos de recursos naturais) de sistemas híbridos de energia. Este mapeamento daria uma visão mais sistêmica do empreendimento, uma vez que forneceria em uma única ilustração quais regiões são favoráveis à instalação do mesmo.

A partir dos mapas de velocidade de ventos e de radiação solar apresentados nas duas subseções anteriores, foi construído um terceiro mapa em que é feita uma superposição dos dados de ambos com a finalidade de demonstrar geograficamente quais as regiões favoráveis para a instalação de sistemas híbridos de energia, neste caso eólico-solar. O mapa do Piauí com a localização dessas regiões é mostrado na figura 33.

Figura 33 – Mapa do estado do Piauí mostrando as regiões favoráveis à instalação de sistemas híbridos (eólico-solar).



Fonte: autor.

O mapa apresentado na figura 33 mostra as regiões do estado do Piauí classificadas em termos de condições favoráveis para a instalação de sistemas híbridos de energia. Pela análise dos mapas eólico e solar (figuras 31 e 32, respectivamente) pode-se inferir que o fator que contribui decisivamente para caracterizar uma região como favorável aos sistemas híbridos é a velocidade do vento, uma vez que os índices de radiação não sofrem muita variação de uma região para outra.

Partindo do raciocínio acima era de se esperar (e de fato é o que ocorre) que as regiões mais propícias para a instalação do sistema fossem as que compreendem os municípios de Parnaíba e Paulistana. Em seguida, com potencial intermediário estão os municípios de Esperantina, Piripiri, Oeiras, Picos, São João do Piauí, Caracol e São Raimundo Nonato. Os demais municípios surgem com potencial pouco favorável.

Embora as regiões destacadas em vermelho no mapa sejam pouco favoráveis à instalação de sistemas híbridos de energia, é importante destacar que o estudo foi feito para o sistema com configuração eólico-fotovoltaica, o que pode não inviabilizar o sistema, caso sejam utilizadas outras configurações, tais como fotovoltaico-diesel, fotovoltaico-biomassa-gasificação e fotovoltaico-célula a combustível-diesel.

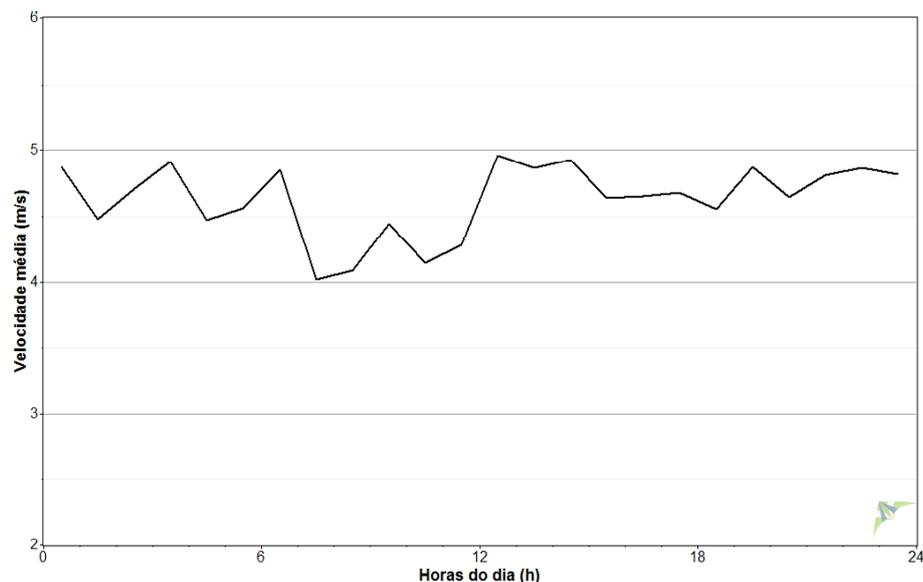
## 6.2 Estimativa de energia anual produzida na região de estudo

### 6.2.1 Estimativa da energia produzida a partir dos recursos eólicos

A partir dos dados primários de velocidade do vento da PCD localizada no município de Paulistana foi feito o levantamento do perfil diário e mensal de velocidade média a 80 metros de altura. O ano escolhido para extração dos dados foi o de 2010 pelas razões já apresentadas na metodologia. Nas figuras 34 e 35 são apresentados, respectivamente o perfil diário e mensal.

Em relação ao perfil de velocidade média diária do vento na região, observa-se que o maior valor de velocidade média do vento (aproximadamente 5,0 m/s) ocorre no período diurno, em torno de 12:30 h, horário local. Os menores valores foram registrados em torno de 8:00 h, horário local e, ainda assim são superiores à velocidade de entrada dos aerogeradores (2,5 m/s).

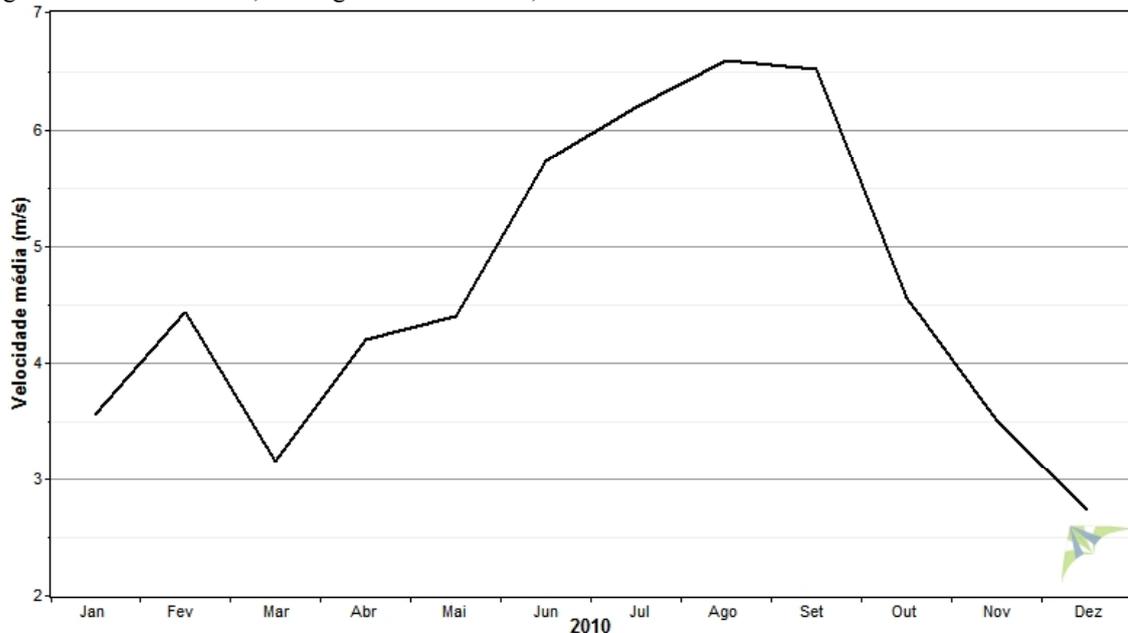
Figura 34 – Perfil diário, ao longo do ano de 2010, da velocidade média do vento na PCD de Paulistana.



Fonte: autor.

Já para o perfil de velocidade média mensal do vento, no período compreendido entre os meses de junho e outubro, se verificam os maiores valores de velocidade média do vento. Este período está inserido dentro do chamado “período seco” do sistema elétrico brasileiro (maio a novembro), no qual, conforme a Resolução nº 166/2005 da ANEEL, a tarifa de energia elétrica convencional é 12% maior que a tarifa do período úmido.

Figura 35 – Perfil mensal, ao longo do ano de 2010, da velocidade média do vento na PCD de Paulistana.



Fonte: autor.

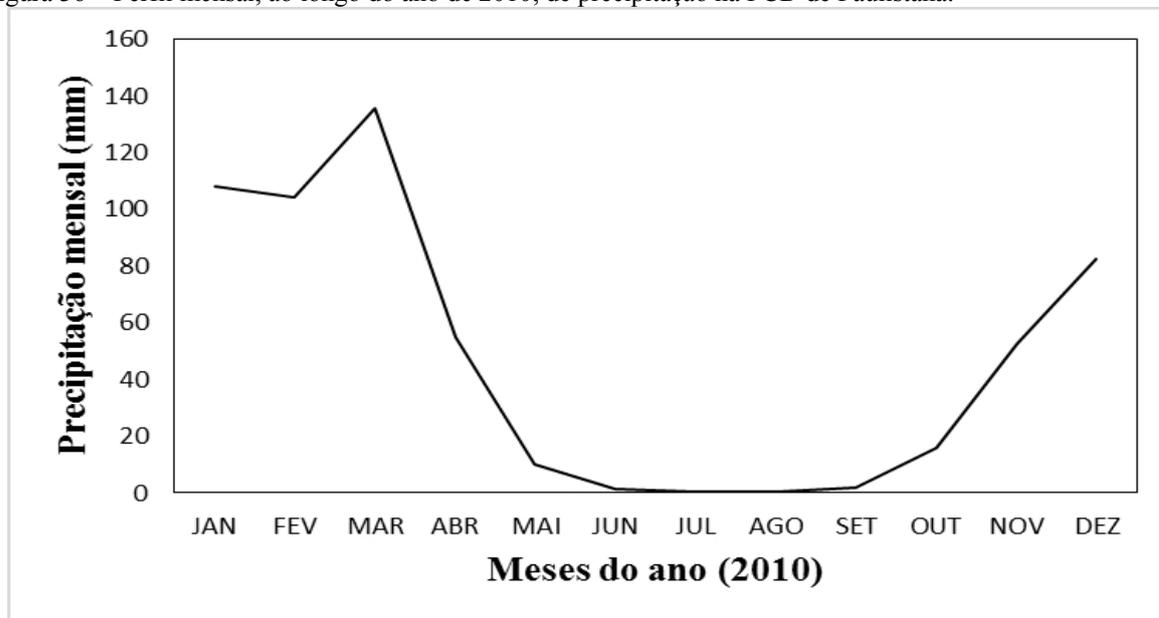
Mesmo com a sazonalidade anual da velocidade do vento, com os menores índices ocorrendo em dezembro e março, a velocidade de entrada dos aerogeradores ainda é verificada ao longo de todo o ano, embora, por se tratar de valores médios exista a possibilidade de se ter valores abaixo desse índice.

O fato do município de Paulistana está localizado na Chapada do Araripe (com altitude em torno de 350 m) é um condicionante favorável a que a região tenha valores de velocidade de vento que, em média, são maiores que os da região litorânea do estado. Não é por acaso que os grandes empreendimentos que tem se instalado no estado recentemente estão localizados na região da Chapada. O Chamado “Complexo Eólico Chapada do Piauí” possui 14 parques eólicos que estão sendo instalados naquela região, mais precisamente nos municípios de Marcolândia, Simões e Padre Marcos. Em algumas localidades na região compreendida pelo complexo a altitude pode superar os 700 m.

O caráter complementar da energia eólica em relação a energia hidráulica pode ser verificado quando se analisa o perfil de precipitação mensal do município de Paulistana

mostrado na figura 36. Pela figura, constata-se que os períodos onde se tem os maiores valores de velocidade de vento coincidem, em geral, com o período onde os índices de precipitação e, conseqüentemente, os níveis dos reservatórios estão baixos.

Figura 36 – Perfil mensal, ao longo do ano de 2010, de precipitação na PCD de Paulistana.



Fonte: autor.

Independentemente do aerogerador que será instalado em uma região, a caracterização dos recursos eólicos da mesma pode ser apresentada em função da densidade de potência disponível no vento ( $W/m^2$ ), o que indica a potência por unidade de área varrida pelas pás da turbina.

A partir do perfil mensal de velocidade média do vento no município de Paulistana e utilizando-se a equação 4 (considerando-se a densidade do ar constante) foi possível estimar a densidade de potência disponível no vento da região ao longo do ano.

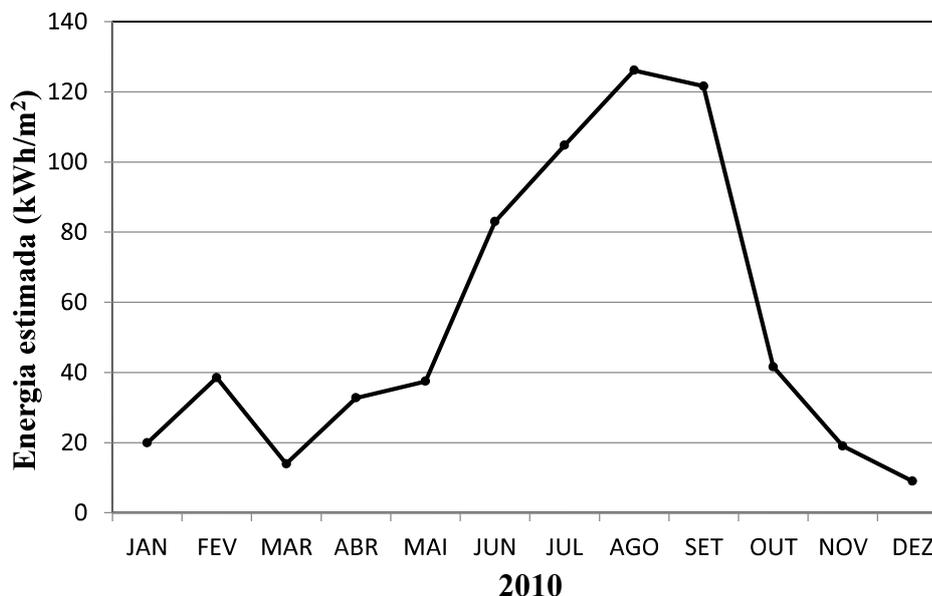
A partir dos valores médios de potência do vento e considerando-se 24h/dia (720h/mês), estimou-se a energia produtível pelo vento ao longo do ano. O resultado desta estimativa é mostrado na figura 37.

No que se refere a estimativa de energia produtível ao longo do ano na região de estudo, observa-se que o perfil anual do gráfico acompanha o perfil anual da velocidade do vento, como era de se esperar.

No cálculo da energia estimada (dada em  $kWh/m^2$ ) uma característica física do aerogerador torna-se essencial – o diâmetro das hélices, uma vez que a densidade de potência leva em consideração a área “varrida” por estas. No presente trabalho, os aerogeradores utilizados possuem hélices com diâmetro de 5,55 m, o qual para o mês de maior velocidade de

vento (agosto) produziria aproximadamente 3000 kWh/mês de energia eólica. Considerando um rendimento de 40% do aerogerador, a energia elétrica produzida seria de 1200 kWh/mês. Evidentemente que esta é uma estimativa de produção de energia para uma situação, na qual a velocidade do vento fosse suficiente para que a potência nominal do aerogerador fosse atingida.

Figura 37 – Estimativa da energia produtível pelo vento no município de Paulistana.



Fonte: autor.

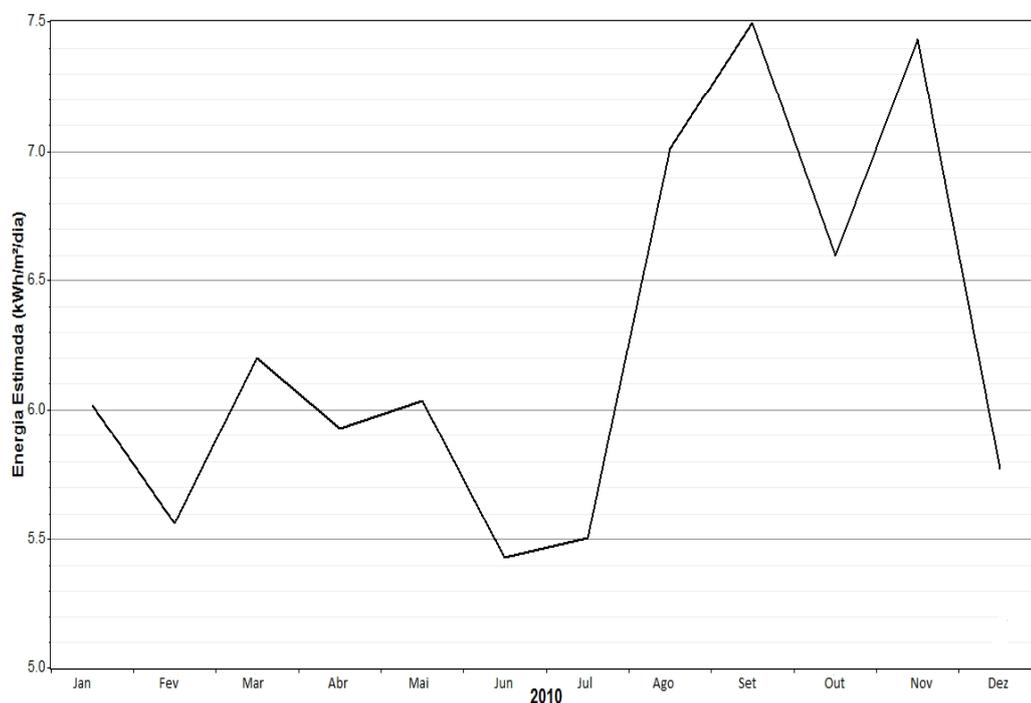
### 6.2.2 Estimativa da energia produzida a partir dos radiação solar

O Piauí é reconhecidamente um estado de temperaturas elevadas durante boa parte do ano. Conforme dito anteriormente, para a produção de energia solar mais importante do que elevadas temperaturas são os valores de radiação solar incidente no plano terrestre. De acordo com o mapa solar, o território piauiense possui bons índices de radiação, cujos valores estão acima de países líderes na produção de energia a partir desta fonte, como Alemanha e China.

Diferentemente do procedimento feito para estimar a energia produzida pelos recursos eólicos, a energia produzida a partir da radiação solar na região de estudo foi estimada diretamente a partir dos dados primários obtidos a 10 metros de altura ao longo do ano de 2010 na PCD do INMET instalada em Paulistana. Os dados são medidos em intervalos de hora em hora.

Os dados de radiação solar da PCD são fornecidos em  $\text{kJ/m}^2/\text{dia}$ , no entanto, a estimativa anual apresentada na figura 38 é feita em  $\text{kWh/m}^2/\text{dia}$  a fim de que a unidade de energia fosse a mesma utilizada para fazer referência à energia elétrica.

Figura 38 – Estimativa da energia produtível a partir da radiação solar média anual no município de Paulistana.



Fonte: autor.

A curva que caracteriza a estimativa anual de energia produtível a partir da radiação solar no município de Paulistana, apresentada na figura 38, revela dois segmentos distintos. O primeiro, onde se verificam os maiores valores de energia produtível, compreende o período de agosto a novembro. Neste segmento, todos os valores estão acima de 6,2 kWh/m<sup>2</sup>/dia e valor máximo ocorre no mês de setembro (7,5 kWh/m<sup>2</sup>/dia). O segundo segmento contém o período de dezembro a julho, com registros de valor mínimo (5,4 kWh/m<sup>2</sup>/dia) no mês de junho.

Os dois segmentos delineados no gráfico são fortemente marcados pelas características climáticas da região. Verifica-se que é na estação seca que ocorrem o maior potencial de radiação solar incidente e, conseqüentemente, maior estimativa de energia produtível.

É importante destacar que a energia elétrica produtível a partir do recurso solar também é função da eficiência do painel fotovoltaico, a qual varia de acordo com o material usado na construção do mesmo. O painel feito a partir de Silício policristalino, utilizado neste estudo, possui eficiência de 14% (INMETRO), ou seja, se cobrirmos um metro quadrado da região em estudo com este tipo de painel, mesmo considerando o período de menores índices de radiação, a produção média diária de energia elétrica será de 0,76 kWh.

Convém lembrar que a eficiência especificada no painel só é atingida em laboratório sob condições ideais. Em uma situação real há que se considerar outros fatores que podem contribuir para a redução de eficiência do painel, tais como temperatura, direção (posicionamento) do painel, acúmulo de sujeira, falta de manutenção, etc.

Um último fator que está associado aos índices de radiação solar é a quantidade de horas de sol pleno que se tem por dia na região onde os painéis serão instalados. Em geral, a produção de energia dos painéis fotovoltaicos encontrados comercialmente é dimensionada para a recepção de 8 horas diárias de sol pleno. O município de Paulistana possui, em média, 10 horas diárias de sol pleno em boa parte do ano, o que favorece o aumento da produção de energia elétrica e consequentemente o tempo de uso das baterias.

### **6.3 Levantamento do perfil de demanda de energia elétrica da região de estudo**

Para a especificação da demanda a ser atendida pelo sistema híbrido na comunidade em estudo (Roça de Baixo) foi realizado um levantamento numa comunidade vizinha (São Martin) onde há abastecimento de energia elétrica.

Conforme mostrado na tabela 8, São Martin possui uma “cesta” de equipamentos elétricos bastante homogênea, o que foi constatado através de visitas *in loco*. Apenas foi acrescentando uma potência elétrica de reserva destinada à instalação de algum equipamento que seja um mecanismo de geração de renda para cada residência.

Além da proximidade com Roça de Baixo, a comunidade de São Martin foi escolhida por reunir condições socioeconômicas similares com aquela comunidade.

Ainda na tabela 8 são apresentados a potência e o consumo de energia estimada para cada unidade consumidora da comunidade Roça de Baixo.

Partindo do princípio de que o abastecimento de energia elétrica, em qualquer que seja o setor (residencial, rural, comercial ou industrial), contribui, primária ou secundariamente, para o desenvolvimento socioeconômico de uma região, foi acrescentado estrategicamente em cada residência uma potência extra de 1000 W, a qual é compatível com o uso de algum equipamento que seja utilizado pelos moradores como instrumento de geração de renda como forrageira, batedeira, liquidificador industrial, laminador de massas, forno elétrico para produção de pães e bolos, dentre outros.

A partir das potências dos equipamentos e dos intervalos de tempo de operação dos mesmos estimou-se a energia elétrica necessária mensal para suprir as 12 residências da comunidade. Essa é bastante relevante para que se dimensione adequadamente o sistema híbrido de energia, deixando-se inclusive uma margem de segurança, entre 5% e 10%, para eventuais incrementos de equipamentos nas instalações. O valor total da energia elétrica demandada mensalmente pela comunidade e que é mostrado na tabela 8 reflete o valor nominal da instalação, ou seja, na condição em que todos os equipamentos estiverem funcionando ao

mesmo tempo. Embora, numa situação real tal condição dificilmente seja verificada, o valor nominal é essencial no cálculo dos dispositivos de proteção do sistema (disjuntores, relés, etc).

Tabela 8 – Estimativa da potência instalada e consumo de energia por unidade consumidora da comunidade Roça de Baixo.

<b>Equipamento</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Potência (W)</b>	<b>Uso diário (h)</b>	<b>Energia/mês (kWh)</b>
Aparelho de som	1	80	4	9,6
Geladeira	1	90	24 <sup>6</sup>	24
Lâmpada fluorescente compacta	4	60	5	9
Receptor de antena parabólica	1	18	5	2,4
Televisão LCD 32”	1	90	5	13,5
Ventilador pequeno	2	130	6	23,4
Equipamento destinado a atividade econômica	1	1000	1	30
<b>Potência total de uma residência</b>	-	<b>1508</b>	-	-
<b>Energia total consumida em um mês por residência</b>	-	-	-	<b>111,9</b>
<b>Energia total consumida em um mês na comunidade (12 residências)</b>				<b>1342,8</b>

Fonte: Autor.

Os equipamentos listados na tabela 8 são os que atendem minimamente uma residência na comunidade Roça de Baixo. Longe de ser o ideal, o conjunto de equipamentos atendem algumas necessidades dos moradores tais como conservação de alimento, acesso a informação e iluminação para realização de tarefas noturnas. Contudo, existe a possibilidade de novos equipamentos serem integrados à instalação na medida em que as famílias melhorem seu poder aquisitivo. Um sistema híbrido bem dimensionado precisa prever esse aumento na demanda.

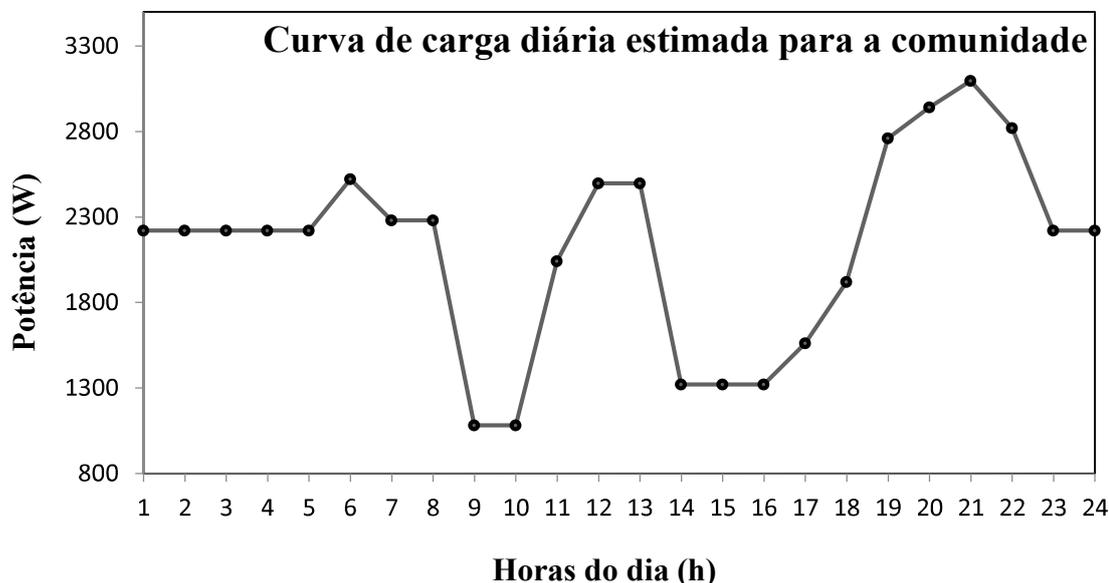
As informações relativas à potência de cada equipamento, além de darem uma estimativa do consumo de energia (em kWh/mês) em cada residência, são essenciais para o dimensionamento dos componentes do sistema híbrido (painéis fotovoltaicos, aerogeradores e grupo gerador). Com base na estimativa de carga feita para cada unidade consumidora, estimou-se o perfil diário de carga da comunidade Roça de Baixo, o qual é representado na figura 39. A estimativa foi construída com base na rotina de uso destes equipamentos na comunidade vizinha.

Variáveis tais como quantidade de pessoas em casa, período do dia, dia da semana (dia útil ou fim de semana), condições climáticas, dentre outras podem subestimar ou superestimar a curva mostrada na figura. Ressalta-se, contudo, que a curva foi esboçada considerando-se um

<sup>6</sup> A potência nominal não corresponde a potência útil dos ciclos de operação motor.

dia útil da semana no mês setembro, ou seja, com temperaturas elevadas e com o uso mais frequentes dos ventiladores.

Figura 39 – Perfil da curva diária de carga estimada para a comunidade Roça de Baixo.



Fonte: autor.

Pela curva é possível inferir que um intervalo de pico no uso dos equipamentos que vai de 19:00 h às 22:00 h. É nesse período que os moradores, que estavam no trabalho ou na escola, começam a chegar em casa e passam a ligar mais equipamentos. Também com o anoitecer, as lâmpadas são acionadas. Por outro lado, entre 9:00 h e 10:00 h verifica-se o período com menos demanda por energia. Este período, além de estar no turno matutino, com temperaturas em geral mais baixas que o vespertino, coincide também com o fato de ter apenas uma pessoa na maioria das residências. Numa situação de contingência, o sistema híbrido a ser projetado deve ser capaz de selecionar àquelas cargas consideradas essenciais para a residência (geladeira e 1 tomada, por exemplo). Tal procedimento é feito através de um processo de automação do sistema por meio da seletividade de cargas.

#### 6.4 Configuração do sistema híbrido de energia elétrica

Para simular a melhor configuração de sistema híbrido, o software HOMER necessita dos seguintes parâmetros de entrada:

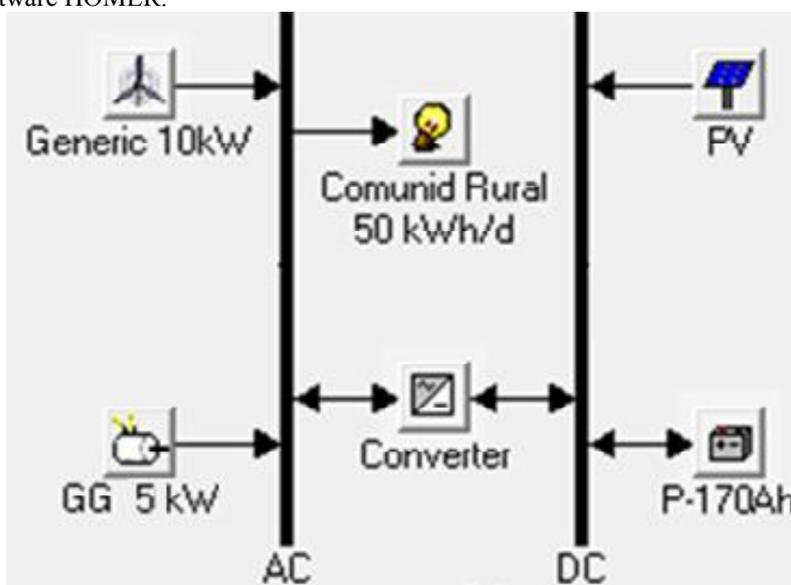
- Potência instalada no sistema ao longo do dia (dados horários);
- Perfil de velocidade média mensal do vento ao longo do ano;
- Perfil de radiação solar média diária ao longo do ano.

A simulação apresenta várias possibilidades de combinação de fontes de energia para composição do sistema híbrido, dentre as quais aquela que se mostra com menor custo. Cabe ao usuário selecionar a opção de configuração que contenha a combinação das fontes desejadas.

Com os parâmetros acima, relacionados à região de estudo de pesquisa, utilizou-se os mesmos como dados de entrada para a simulação no HOMER. Inicialmente a simulação foi realizada combinando-se energia eólica, fotovoltaica, banco de baterias e grupo gerador a diesel. A configuração do sistema resultante dessa simulação é mostrada na figura 40.

Na simulação abaixo não estão especificadas a potência dos painéis fotovoltaicos nem a quantidade de baterias necessárias para suprir o sistema. Estes dados são apresentados na tabela 9 juntamente com os dados das demais fontes de energia.

Figura 40 – Sistema Híbrido de Energia (eólico-fotovoltaico-diesel) para a região de estudo resultante da simulação no software HOMER.



Fonte: autor.

Tabela 9 – Componentes geradores/acumuladores de energia do sistema híbrido (eólico-fotovoltaico-diesel).

Item	Quantidade	Potência (kW) simulada	Usado no projeto
Aerogerador	1	10	2 unidade de 6 kW
Gerador a diesel	1	5	1 unidade de 5,2 kW
Módulo fotovoltaico de 140 Wp	24	3,3	24 unidades de 140 Wp
Bateria estacionária	24	-	24 unidades de 170 A·h

Fonte: autor.



de dois aerogeradores de 6 kW e não um único gerador de 10 kW. A razão para tal escolha se deve ao fato de que para instalações residenciais, os aerogeradores de pequeno porte se apresentam, técnica e financeiramente, como opção mais viável.

Com relação ao grupo gerador optou-se por um com potência nominal mais próxima possível do especificado pela simulação. Finalmente, o arranjo fotovoltaico projetado, composto por 24 módulos, excede em 60 W a potência simulada a partir do software HOMER.

A segunda configuração simulada sugere a manutenção de um aerogerador de 10 kW e o uso de um arranjo fotovoltaico de 5 kW além do banco de baterias. A presença do conversor também é verificada na figura.

Partindo-se do pressuposto de que os moradores da comunidade com o passar do tempo e com a melhoria das condições econômicas farão aquisição de outros equipamentos, é razoável que se deixe certa margem de segurança para garantir o abastecimento do sistema. Por esta razão, os valores de potências usadas no projeto por cada fonte de energia estão sempre acima dos especificados nas simulações.

## **6.5 Análise técnica do sistema híbrido proposto**

A caracterização da radiação solar e dos recursos eólicos da região onde se pretende instalar um sistema híbrido seguida da análise do potencial para aproveitamento dos mesmos para geração de energia elétrica, conforme abordagem feita na subseção 8.2, é uma fase essencial no estudo de viabilidade técnica do empreendimento.

Em caso de uso de grupo gerador, a logística de suprimento de combustível configura-se como um critério importante. A região de estudo está localizada a 30 km do centro do município de Paulistana. O acesso se dá através de 19 km por uma rodovia estadual (asfaltada) e 11 km através de estrada vicinal (carroçal). O trajeto tem condições plenas de ser trafegado por veículos de grande porte. O município conta com uma rede de postos de combustíveis que compreende 7 unidades.

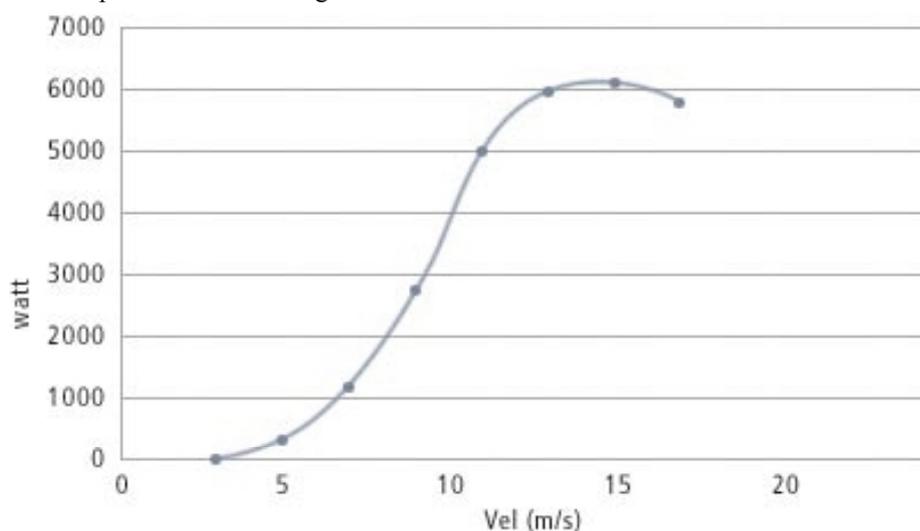
O critério técnico da demanda de energia a ser atendida pelo sistema é outra etapa importante. Esta estimativa foi feita através da curva de carga apresentada na subseção 8.3. É a partir desta especificação que será feito o dimensionamento do projeto, o qual, dentre outros itens, definirá a configuração da rede de distribuição de energia local.

O balanço energético (a participação de cada fonte) foi dimensionado levando-se em consideração as configurações de sistemas híbridos propostos pela simulação com o software

HOMER (subseção 8.4). Portanto, as especificações técnicas bem como o uso de cada fonte são descritas a seguir:

- No dimensionamento do subsistema fotovoltaico, a potência a ser instalada do arranjo fotovoltaico foi simulada de maneira a atender a demanda instalada na comunidade, inclusive considerando-se as perdas inerentes ao processo. Acrescentou-se 10% a esta potência mínima a fim de garantir maior confiabilidade ao sistema.
- No caso do subsistema eólico, a velocidade do vento tem um comportamento estocástico, daí a importância da qualidade dos dados medidos. Cada aerogerador utilizado no projeto tem sua própria curva de potência, a qual apresenta a potência elétrica de saída do mesmo em função da velocidade do vento na altura do rotor. Na figura 42 é mostrada a curva de potência de um aerogerador de 6 kW, o qual será utilizado no projeto.
- No dimensionamento do grupo gerador, este precisa ter condições de suprir a demanda de carga da comunidade em caso de ausência da geração das fontes renováveis e de baterias descarregadas. No caso em estudo o grupo gerador a diesel foi projetado para ser conectado ao barramento de corrente alternada e desta forma “alimentar diretamente os equipamentos”.
- O banco de baterias foi dimensionado de forma que a energia útil total do banco de baterias fosse suficiente para atender à carga durante um período de tempo onde não haja disponibilidade de geração renovável, possuindo uma autonomia de até 3 dias. No caso do sistema híbrido cuja configuração possui grupo gerador, o banco de baterias tem menor capacidade, uma vez que o gerador atua como *backup*.

Figura 42 – Curva de potência de um aerogerador Verne 555 de 6 kW.



Fonte: Enersud.

O subsistema fotovoltaico é instalado de maneira que o arranjo dos módulos tenha uma inclinação favorável ao melhor aproveitamento da radiação solar incidente na superfície dos

mesmos. Essa inclinação é feita com base no valor da latitude e para a região de estudo deve ser de 10° com o plano horizontal.

Devido ao fato do sistema ser isolado, o arranjo fotovoltaico deve operar em conjunto com as baterias, as quais devem ficar abrigadas em um espaço fechado (sala de baterias) a fim de que fiquem protegidas das intempéries. A corrente elétrica produzida pelos módulos fotovoltaicos é de natureza contínua, a qual é usada para carregamento das baterias. Por esta razão faz-se necessário o uso de conversores de corrente bem como de controladores de carga, já que os equipamentos residenciais devem ser ligados em corrente alternada.

Para a primeira configuração simulada (com a presença do grupo gerador diesel) foi dimensionado um arranjo com 24 módulos fotovoltaicos. Já na segunda configuração esse número aumentou para 36 módulos de maneira a compensar a ausência da energia de *backup* proporcionada pelo grupo gerador e desta forma garantir um maior tempo de continuidade do serviço devido ao aumento de carga armazenada nas baterias.

No subsistema eólico foram dimensionados dois aerogeradores de 6 kW cada, os quais serão instalados no ponto mais alto da comunidade (390 m de altitude). Como este ponto possui 36 m a mais do que o ponto onde se mediu a velocidade do vento (na sede do município), os aerogeradores são sustentados por estruturas metálicas de 45 m de altura. Desta forma há o aproveitamento do vento que circula em torno de 80 m de altitude.

O aerogerador usado no projeto produz energia elétrica em corrente alternada, a qual é requerida pelos aparelhos elétricos instalados nas residências. Nessa condição a energia gerada é consumida instantaneamente, não podendo desta forma ser armazenada no banco de baterias, situação na qual exigiria o uso de conversores de corrente AC/DC.

Quando se opta pela configuração com uso do grupo gerador a diesel, este é instalado no mesmo ambiente fechado no qual se encontram as baterias. A comunidade Roça de baixo possui vias de acesso que facilitam à logística de abastecimento do combustível usado no gerador.

Quando o gerador entra em operação, condição em que não há suprimento de nenhuma outra fonte, há uma modulação de cargas para que somente cargas emergenciais da residência sejam atendidas (geladeira e uma tomada). Tal medida reduzirá o custo com combustível consumido pelo gerador.

Para atendimento da comunidade uma micro rede de abastecimento de energia deve ser instalada. A mesma deve partir do centro de geração do sistema híbrido de energia e deve seguir através de postes e condutores até cada uma das 12 residências e deve seguir os padrões de distribuição e proteção dos sistemas elétricos.

É numa pequena subestação que se dará o processo de modulação de cargas e automação do sistema. Equipamentos que evitam picos e afundamentos de tensões e correntes elétricas, disjuntores e chaves que desliguem o sistema ou parte dele em caso de contingências bem como boa parte dos dispositivos de proteção são instalados neste local, o qual pode ser monitorado remotamente.

Após a montagem do sistema híbrido, alguns moradores farão um treinamento básico de manutenção do mesmo, principalmente no que se refere à prevenção de defeitos e correções básicas de problemas na instalação. Esta capacitação evita que a comunidade fique várias horas sem abastecimento de energia devido a defeitos que na maioria das vezes podem ser reparados localmente.

A qualidade da energia produzida também será verificada através de indicadores de continuidade do fornecimento (DIC e FIC). No entanto, tais indicadores só podem ser mensurados a partir da entrada em operação do sistema híbrido.

A energia fornecida a cada unidade consumidora será medida e faturada através de um valor fixo que será anualmente reajustado segundo os mesmos índices percentuais de reajuste do fornecimento convencional de energia elétrica. O valor arrecadado na comunidade será utilizado na compra de combustível a ser usado no gerador diesel (quando houver) ou, na ausência deste, para a manutenção do sistema.

O sistema híbrido de energia proposto é projetado para funcionar por pelo menos vinte e cinco anos, uma vez que tanto o subsistema eólico quanto fotovoltaico, em média, possui este tempo de vida útil. Neste período, a manutenção com o subsistema eólico e fotovoltaico implica em pouco dispêndio de recursos financeiros. No entanto, neste período o banco de baterias precisar passar por nove substituições.

## **6.6 Análise econômica do sistema híbrido proposto**

A análise econômica tem como finalidade subsidiar a tomada de decisão por parte da concessionária de energia elétrica sobre qual o melhor empreendimento, do ponto de vista financeiro, a ser implementado na comunidade.

Para a caracterização da análise econômica do sistema híbrido proposto foi necessário comparar seu custo com o custo de implantação de um sistema convencional de abastecimento de energia elétrica para a eletrificação da comunidade Roça de Baixo. Para tanto utilizou-se três indicadores financeiros: o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o tempo de retorno do investimento.

Antes de qualquer análise de natureza econômica foi necessário que se fizesse um levantamento orçamentário do sistema convencional de fornecimento de energia elétrica e do sistema híbrido de energia para a comunidade em estudo.

No que se refere ao sistema convencional, a rede de distribuição de energia elétrica da Eletrobrás/PI está localizada a 5 km da comunidade Roça de Baixo. O departamento responsável pelo Programa Luz para Todos da concessionária nos forneceu três orçamentos de redes de distribuição (para 5 km, 10 km e 15 km de extensão). Os orçamentos incluem gastos com material, mão de obra, transporte e custos indiretos e foram dimensionados para o serviço completo, ou seja, de tal maneira que os consumidores já tivessem com suas ligações feitas. Nas tabelas 11, 12 e 13 mostram-se, respectivamente, as sínteses do orçamento para as extensões de 5 km, 10 km e 15 km de rede de distribuição. Os orçamentos detalhados estão disponíveis nos anexos A, B e C, respectivamente.

Tabela 11 – Resumo do orçamento para o abastecimento convencional de eletricidade (5 km de extensão).

<b>Descrição</b>	<b>Valor (R\$)</b>
Material	115.152,94
Mão de obra	32.987,80
Transporte	2.370,25
Custos indiretos (engenharia/supervisão/adm. geral)	14.780,18
<b>TOTAL GERAL</b>	<b>165.291,17</b>

Fonte: Eletrobrás/PI (2015).

Tabela 12 – Resumo do orçamento para o abastecimento convencional de eletricidade (10 km de extensão).

<b>Descrição</b>	<b>Valor (R\$)</b>
Material	204.741,27
Mão de obra	61.655,37
Transporte	4.262,35
Custos indiretos (engenharia/supervisão/adm. geral)	26.578,71
<b>TOTAL GERAL</b>	<b>297.237,70</b>

Fonte: Eletrobrás/PI (2015).

Tabela 13 – Resumo do orçamento para o abastecimento convencional de eletricidade (15 km de extensão).

<b>Descrição</b>	<b>Valor (R\$)</b>
Material	263.369,89
Mão de obra	87.821,02
Transporte	5.619,05
Custos indiretos (engenharia/supervisão/adm. geral)	35.038,74
<b>TOTAL GERAL</b>	<b>391.848,70</b>

Fonte: Eletrobrás/PI (2015).

No que se refere ao sistema híbrido de energia foram orçadas duas configurações (com e sem grupo gerador diesel). Nas tabelas 14 e 15 são apresentadas as sínteses dos orçamentos separados por subsistemas (eólico, fotovoltaico e grupo gerador diesel). Os orçamentos detalhados constam nos anexos D, E e F, respectivamente.

Tabela 14 – Resumo do orçamento para o sistema híbrido de energia (fotovoltaico-eólico-diesel).

<b>Descrição</b>	<b>Valor (R\$)</b>
Subsistema fotovoltaico (incluindo baterias)	104.926,44
Subsistema eólico	116.800,00
Grupo gerador a diesel	7.926,34
Construção de casa de apoio para abrigo das baterias, grupo gerador e comandos (15m <sup>2</sup> )	5.500,00
Mão de obra (fundações dos aerogeradores e postes)	3.000,00
Equipamentos subestação (modulação, proteção e automação)	5.000,00
Rede de distribuição BT (postes, fios, etc) e medição residencial	20.281,28
Mão de obra (parte elétrica)	18.000,00
<b>TOTAL GERAL</b>	<b>281.434,06</b>

Fonte: autor.

Tabela 15 – Resumo do orçamento para o sistema híbrido de energia (fotovoltaico-eólico).

<b>Descrição</b>	<b>Valor (R\$)</b>
Subsistema fotovoltaico (incluindo baterias)	148.078,02
Subsistema eólico	116.800,00
Construção de casa de apoio para abrigo das baterias e comandos (15m <sup>2</sup> )	5.500,00
Mão de obra (fundações dos aerogeradores e postes)	3.000,00
Equipamentos subestação (modulação, proteção e automação)	4.500,00
Rede de distribuição BT (postes, fios, etc) e medição residencial	20.281,28
Mão de obra (parte elétrica)	18.000,00
<b>TOTAL GERAL</b>	<b>316.159,30</b>

Fonte: autor.

Comparando-se a tabela 11 com os custos iniciais para a implantação dos sistemas híbridos de energia propostos mostrados nas tabelas 14 e 15, verifica-se que o fornecimento de energia à comunidade de forma convencional possui um menor investimento inicial. Com efeito, tanto o sistema híbrido puramente renovável quanto o que é integrado por gerador a diesel possuem elevados custos de implementação principalmente por serem compostos por tecnologias de alto valor agregado (subsistema eólico e fotovoltaico). Além disso, no que se refere aos painéis fotovoltaicos ainda pesam os custos devidos à importação dos mesmos.

Para o cálculo dos indicadores econômicos (VPL, TIR e tempo de retorno) é necessário que conheçamos, além do investimento inicial do empreendimento, quais os valores de entrada e saída de recursos financeiros ao longo de vinte e cinco anos. Na tabela 16 sintetiza-se os custos dos investimentos iniciais, além de receitas e despesas ao longo do tempo de vida útil do empreendimento, para cinco modalidades de sistema instalados na região de estudo: Sistema Convencional de Energia com extensão de 5 km (SCE-5); Sistema Convencional de Energia com extensão de 10 km (SCE-10); Sistema Convencional de Energia com extensão de 15 km (SCE-15); Sistema Híbrido de Energia Renovável+Diesel (SHE-R+D) e Sistema Híbrido de Energia Renovável (SHE-R).

Em todos os casos, as receitas se devem exclusivamente ao pagamento das tarifas de energia elétrica por parte das unidades consumidoras (considerando-se a taxa de variação das tarifas convencionais). Já as despesas existentes anualmente se referem aos custos com a manutenção (todos os sistemas), à troca de baterias a cada 2,5 anos (sistemas híbridos) e ao custo com combustível no sistema integrado pelo gerador a diesel.

Após a quantificação anual de receitas e despesas dos cinco empreendimentos, calculou-se o VPL, a TIR e o tempo de retorno dos investimentos dos mesmos, considerando-se uma TMA de 10%. Embora obtido anualmente, optou-se por apresentar, na tabela 17, os resultados em intervalos quinquenais.

Quando se observa os indicadores econômicos de cada projeto apresentados na tabela 17, verifica-se que, do ponto de vista do investidor, nenhum deles possui atratividade, uma vez que apresentam VPLs negativos e conseqüentemente TIRs nulas além de investimentos que não se pagam. No entanto, quando se analisa este cenário sob a perspectiva de que a concessionária de energia deve universalizar o acesso ao seu uso (Decreto nº 4873 de 11/11/2003 - Institui o Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica - Luz para Todos), conclui-se que a mesma não tem como se omitir desta responsabilidade e deve criar os meios para tornar viável o abastecimento.

Tabela 16 – Custos anuais para a implantação e manutenção de cinco modalidades de empreendimento ao longo de vinte e cinco anos.

	SCE-5		SCE-10		SCE-15		SHE-R+D		SHE-R	
Investimento inicial (R\$)	165.291,17	297.237,70	391.848,70	281.434,06	316.159,30					
	Receita (R\$)	Despesa (R\$)								
Ano 1	3545,00	7953,44	3545,00	13222,39	3545,00	21076,98	2880,00	4074,34	2880,00	3161,59
Ano 2	3722,25	8748,78	3722,25	14544,63	3722,25	23184,68	3024,00	4400,29	3024,00	3414,52
Ano 3	4094,48	9623,66	4094,48	15999,09	4094,48	25503,15	3175,20	35521,51	3175,20	49841,06
Ano 4	4299,20	10586,03	4299,20	17599,00	4299,20	28053,46	3333,96	5132,49	3333,96	3982,69
Ano 5	4514,16	12703,23	4514,16	21118,80	4514,16	33664,15	3500,66	36312,29	3500,66	50454,69
Ano 6	4739,87	12809,09	4739,87	21294,79	4739,87	33944,69	3675,69	5986,54	3675,69	4645,41
Ano 7	4976,86	14090,00	4976,86	23424,27	4976,86	37339,16	3859,48	6465,47	3859,48	5017,05
Ano 8	5225,70	15499,00	5225,70	25766,70	5225,70	41073,07	4052,45	37751,90	4052,45	51571,79
Ano 9	5486,99	17048,90	5486,99	28343,37	5486,99	45180,38	4255,07	7541,32	4255,07	5851,88
Ano 10	5761,34	20458,69	5761,34	34012,04	5761,34	54216,45	4467,83	38913,82	4467,83	52473,41
Ano 11	6049,40	20629,18	6049,40	34295,47	6049,40	54668,26	4691,22	8796,19	4691,22	6825,64
Ano 12	6351,87	22692,09	6351,87	37725,02	6351,87	60135,08	4925,78	9499,89	4925,78	7371,69
Ano 13	6669,47	24961,30	6669,47	41497,52	6669,47	66148,59	5172,07	41029,08	5172,07	54114,80
Ano 14	7002,94	27457,43	7002,94	45647,28	7002,94	72763,45	5430,67	11080,67	5430,67	8598,34
Ano 15	7353,09	32948,92	7353,09	54776,73	7353,09	87316,14	5702,20	42736,33	5702,20	55439,58
Ano 16	7720,74	33223,49	7720,74	55233,20	7720,74	88043,78	5987,31	12924,50	5987,31	10029,10
Ano 17	8106,78	36545,84	8106,78	60756,52	8106,78	96848,15	6286,68	13958,46	6286,68	10831,43
Ano 18	8512,12	40200,43	8512,12	66832,18	8512,12	106532,97	6601,01	45844,33	6601,01	57851,32
Ano 19	8937,73	44220,47	8937,73	73515,39	8937,73	117186,27	6931,06	16281,14	6931,06	12633,78
Ano 20	9384,61	53064,56	9384,61	88218,47	9384,61	140623,52	7277,62	48352,83	7277,62	59797,86
Ano 21	9853,84	53506,77	9853,84	88953,63	9853,84	141795,38	7641,50	18990,32	7641,50	14736,04
Ano 22	10346,53	58857,44	10346,53	97848,99	10346,53	155974,92	8023,57	20509,55	8023,57	15914,92
Ano 23	10863,86	64743,19	10863,86	107633,89	10863,86	171572,41	8424,75	52919,51	8424,75	63341,49
Ano 24	11407,05	71217,51	11407,05	118397,28	11407,05	188729,65	8845,99	23922,34	8845,99	18563,16
Ano 25	11977,41	85461,01	11977,41	142076,73	11977,41	226475,58	9288,29	25836,13	9288,29	20048,21

Fonte: autor.

Tabela 17 – VPL, TIR e Payback de cinco modalidades de empreendimento ao longo de vinte e cinco anos.

	<b>SCE-5</b>	<b>SCE-10</b>	<b>SCE-15</b>	<b>SHE-R+D</b>	<b>SHE-R</b>
<b>Investimento inicial (R\$)</b>	- <b>165.291,17</b>	<b>-297.237,70</b>	<b>-391.848,70</b>	<b>-281.434,06</b>	<b>-316.159,30</b>
Despesas Ano 5 (R\$)	-8.394,26	-16604,64	-29149,99	<b>-32811,64</b>	<b>-46954,03</b>
Despesas Ano 10 (R\$)	-14.959,23	-28250,70	-48455,11	<b>-34446,00</b>	<b>-48005,59</b>
Despesas Ano 15 (R\$)	-25.930,06	-47423,64	-79963,05	<b>-37034,12</b>	<b>-49737,38</b>
Despesas Ano 20 (R\$)	-44.106,52	-78833,86	-131238,91	<b>-41075,22</b>	<b>-52520,24</b>
Despesas Ano 25 (R\$)	-74.028,03	-130099,32	-214498,17	<b>-16547,84</b>	<b>-10759,93</b>
<b>VPL (R\$)</b>	<b>-300.597,30</b>	<b>-552.448,91</b>	<b>-828.819,03</b>	<b>-415.049,10</b>	<b>-482.113,45</b>
<b>TIR (%)</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Payback (anos)</b>	-	-	-	-	-

Fonte: autor.

Partindo do pressuposto acima, a tomada de decisão por parte da concessionária, deve levar em consideração alguns critérios. No que tange ao critério econômico, a concessionária terá custos iniciais e anuais em qualquer que seja a opção adotada. No presente trabalho, considerando-se os dados expostos na tabela 17, a melhor opção para a concessionária seria aquela que tivesse o VPL menos negativo, comparando-se o SCE-5 com o SHE-R+D e o SHE-R. A primeira opção seria então pelo SCE-5, seguido do SHE-R+D e do SHE-R.

Um olhar puramente econômico nos leva à rejeição dos sistemas híbridos para o abastecimento da comunidade em estudo, por conta da elevada diferença no VPL de cerca de R\$ 115 mil (comparando-se o SCE-5 com o SHE-R+D) e de R\$ 182 mil (comparando-se o SCE-5 com o SHE-R). No entanto, na medida em que se aumenta a distância da comunidade para o ponto onde deverá ser feita a conexão com a rede convencional de energia (10 km e 15 km, por exemplo), as melhores opções são dadas pelo SHE-R+D e pelo SHE-R, nesta ordem.

Há ainda que se considerar que a estimativa de custos anuais dos sistemas híbridos pode ser reduzida e os fatores que podem desencadear esta redução estão em fase de tramitação na Câmara Federal. Podemos citar, como exemplos, a desoneração de PIS e Cofins, pelo Governo Federal, de equipamentos relacionados à produção de energia renovável; redução do ICMS, pelos estados, destes mesmos equipamentos; produção nacional dos módulos fotovoltaicos; possibilidade de se “injetar” na rede da concessionária a energia excedente; dentre outros.

Pesquisas que levem ao aumento da eficiência dos módulos fotovoltaicos e aerogeradores bem como a redução dos custos dos sistemas renováveis na medida em que

tiverem seu uso amplamente difundido no país também contribuirão para o amortecimento dos custos anuais.

Se admitirmos que a energia elétrica é um recurso que contribui para o desenvolvimento da comunidade e que a chegada deste recurso se dê através de fontes renováveis de energia, inequivocadamente estaremos diante de uma situação, na qual, de fato, experimentou-se o desenvolvimento sustentável no que se refere ao recurso energético. Certamente, tal desenvolvimento da comunidade como um todo não se limita a esta única condição, sendo necessário que outros aspectos sejam incorporados, como por exemplo, as condições sociais da população e como a mesma faz uso do solo (agricultura e resíduos) e dos recursos hídricos.

A opção pelo SHE-R+D, se por um lado aumenta a confiabilidade do sistema por conta da entrada em operação do gerador diesel em caso de contingências, por outro diminui o caráter sustentável do projeto, uma vez que o combustível usado no gerador causa a poluição da atmosfera podendo inclusive, dependendo da frequência do uso, ser um vetor de doenças de ordem respiratórias.

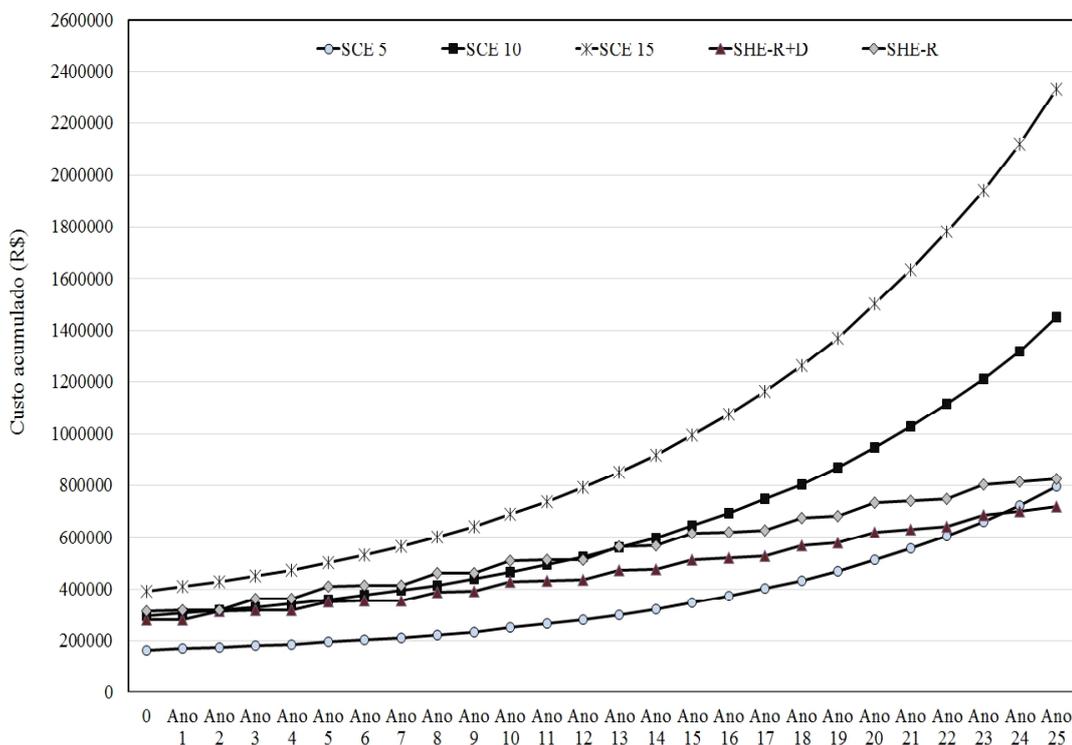
Diferentemente do que ocorre com um investidor, a concessionária se preocupa em levar o abastecimento de energia elétrica não com a finalidade única de obter lucros, mas sim porque essa é uma diretriz norteadada pelo já citado decreto de universalização do uso da energia elétrica. Nesse caso, sempre haverá “perda” de recursos, a qual é ainda maior se o serviço a ser disponibilizado é para atendimento de poucos usuários. Estes custos são compensados pelos grandes centros urbanos, locais onde a concessionária atende um grande número de consumidores.

Nesta perspectiva, o abastecimento de energia elétrica por parte da concessionária em regiões rurais a partir de sistemas híbridos de energia deve ser vista como uma contribuição social, econômica e ambiental às comunidades atendidas. O que a concessionária precisa deliberar é como executar esta tarefa com os recursos tecnológicos disponíveis e de tal maneira que os custos sejam minimizados.

O custo acumulado de cada empreendimento ao longo dos vinte e cinco anos também foi calculado. Na figura 43 apresenta-se a comparação da evolução destes custos, considerando que nenhuma medida para a redução dos mesmos foi adotada ao longo da vida útil das instalações.

Quando se compara o custo total acumulado anualmente dos cinco empreendimentos, conforme mostrado na figura 38, constata-se que, além do investimento inicial para instalação do SCE-5, os custos anuais deste sistema são menores que ambos os sistemas híbridos.

Figura 43 – Comparação do custo acumulado (R\$) de cada empreendimento ao longo de vinte e cinco anos.



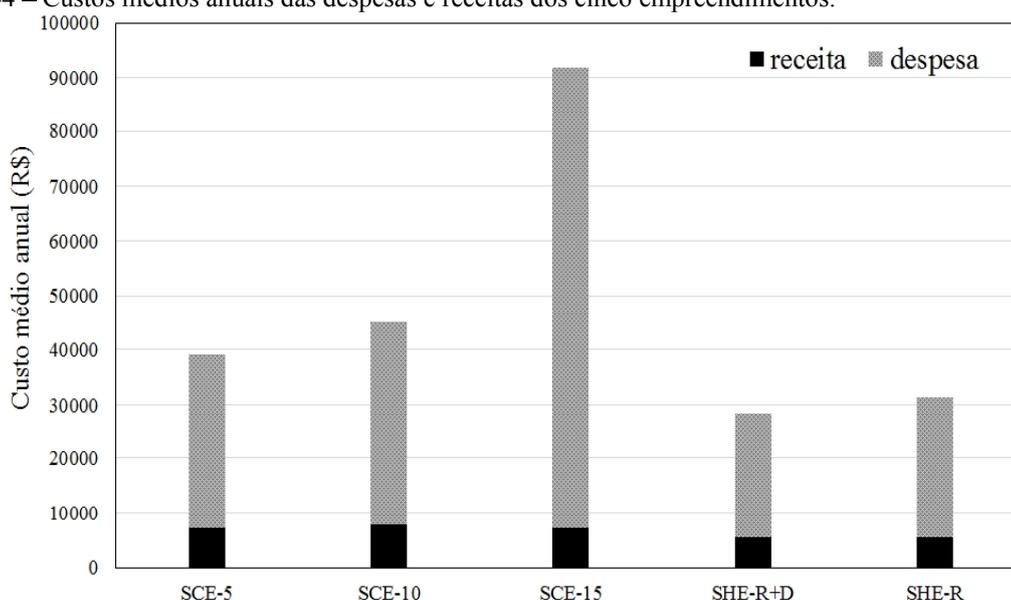
Fonte: autor.

A curva referente aos custos do SHE-R superestima a curva do SCE-5 em todo o período de vida útil do projeto e a curva referente ao SHE-R+D também apresenta praticamente o mesmo perfil até o 24º ano de operação do sistema. A causa principal deste “comportamento” das curvas se deve ao fato de que os sistemas híbridos de energia demandam trocas de baterias a cada 2,5 anos, o que onera sobremaneira as despesas.

Se os investimentos iniciais dos empreendimentos não forem considerados no cálculo dos custos finais dos mesmos, podemos estimar qual deve ser o valor da tarifa de energia elétrica a ser paga pelas unidades consumidoras de tal maneira que o sistema tenha condições de “se pagar” durante sua vida útil. Assim, dada a sua função social (levar energia para o desenvolvimento), o investimento inicial de cada empreendimento seria a fundo perdido. Na figura 44 é mostrada uma média anual das despesas e receitas de cada empreendimento. Já na tabela 18 estima-se o valor da tarifa de energia a ser paga por unidade consumidora para que as despesas sejam sanadas.

Uma análise da tabela 18 nos permite inferir que para que o sistema seja autossustentável financeiramente (desprezando-se os investimentos iniciais) as opções mais atrativas para os consumidores são os baseados nos sistemas híbridos, com exceção dos anos nos quais é feita a troca de baterias.

Figura 44 – Custos médios anuais das despesas e receitas dos cinco empreendimentos.



Fonte: autor.

Tabela 18 – Custo<sup>7</sup> da tarifa de energia elétrica fornecida por cinco empreendimentos para que as despesas sejam quitadas.

	SCE-5		SCE-10		SCE-15		SHE-R+D		SHE-R	
	Tarifa média por UC (R\$/mês)	Custo por kWh (R\$)	Tarifa média por UC (R\$/mês)	Custo por kWh (R\$)	Tarifa média por UC (R\$/mês)	Custo por kWh (R\$)	Tarifa média por UC (R\$/mês)	Custo por kWh (R\$)	Tarifa média por UC (R\$/mês)	Custo por kWh (R\$)
Ano 1	55,23	0,49	91,82	0,82	146,37	1,31	28,29	0,25	21,96	0,20
Ano 2	60,76	0,54	101,00	0,90	161,00	1,44	30,56	0,27	23,71	0,21
Ano 3	66,83	0,60	111,10	0,99	177,11	1,58	246,68	2,20	346,12	3,09
Ano 4	73,51	0,66	122,22	1,09	194,82	1,74	35,64	0,32	27,66	0,25
Ano 5	88,22	0,79	146,66	1,31	233,78	2,09	252,17	2,25	350,38	3,13
Ano 6	88,95	0,79	147,88	1,32	235,73	2,10	41,57	0,37	32,26	0,29
Ano 7	97,85	0,87	162,67	1,45	259,30	2,32	44,90	0,40	34,84	0,31
Ano 8	107,63	0,96	178,94	1,60	285,23	2,55	262,17	2,34	358,14	3,20
Ano 9	118,40	1,06	196,83	1,76	313,75	2,80	52,37	0,47	40,64	0,36
Ano 10	142,07	1,27	236,19	2,11	376,50	3,36	270,23	2,41	364,40	3,25
Ano 11	143,26	1,28	238,16	2,13	379,64	3,39	61,08	0,55	47,40	0,42
Ano 12	157,58	1,41	261,98	2,34	417,60	3,73	65,97	0,59	51,19	0,46
Ano 13	173,34	1,55	288,18	2,57	459,37	4,10	284,92	2,54	375,80	3,36
Ano 14	190,68	1,70	317,00	2,83	505,30	4,51	76,95	0,69	59,71	0,53
Ano 15	228,81	2,04	380,39	3,40	606,36	5,41	296,78	2,65	385,00	3,44
Ano 16	230,72	2,06	383,56	3,42	611,42	5,46	89,75	0,80	69,65	0,62
Ano 17	253,79	2,27	421,92	3,77	672,56	6,00	96,93	0,87	75,22	0,67
Ano 18	279,17	2,49	464,11	4,14	739,81	6,61	318,36	2,84	401,75	3,59
Ano 19	307,09	2,74	510,52	4,56	813,79	7,27	113,06	1,01	87,73	0,78
Ano 20	368,50	3,29	612,63	5,47	976,55	8,72	335,78	3,00	415,26	3,71
Ano 21	371,57	3,32	617,73	5,52	984,69	8,79	131,88	1,18	102,33	0,91
Ano 22	408,73	3,65	679,51	6,07	1083,16	9,67	142,43	1,27	110,52	0,99
Ano 23	449,61	4,01	747,46	6,67	1191,48	10,64	367,50	3,28	439,87	3,93
Ano 24	494,57	4,42	822,20	7,34	1310,62	11,70	166,13	1,48	128,91	1,15
Ano 25	593,48	5,30	986,64	8,81	1572,75	14,04	179,42	1,60	139,22	1,24

Fonte: autor.

<sup>7</sup> Valores sem incidência de impostos.

Se considerarmos que o kWh de energia elétrica de um consumidor rural custa hoje (após o reajuste de 2015) R\$ 0,23, concluiremos que o SHE-R+D e o SHE-R são os que possuem custos por kWh muito próximos dos valores praticados pela concessionária, R\$ 0,25 e R\$ 0,20, respectivamente, no primeiro ano de operação.

## 7 CONCLUSÃO

Energia tem sido um tema recorrentemente debatido em várias dimensões da sociedade. A oferta adequada de serviços de energia tornou-se especialmente importante para o desenvolvimento econômico desde a Revolução Industrial. Nas últimas décadas, questões energéticas têm sido um componente essencial das discussões conceituais e estratégicas que fundamentam o desenvolvimento sustentável a partir do seu uso.

O Brasil possui um elevado percentual de produção de energia renovável em sua matriz. Sobretudo sob o aspecto da sustentabilidade, o país reúne condições para se tornar autossuficiente no atendimento de suas demandas. Além das condições naturais favoráveis, as condições sociais exigem uma opção clara sobre de que maneira o abastecimento de milhares de famílias, ainda sem acesso à energia elétrica, será efetivado.

A energia solar térmica e solar fotovoltaica ainda tem participação pouco expressiva no estado do Piauí. Enquanto a primeira tem sido utilizada mais recentemente em empreendimentos do programa Minha Casa Minha Vida, aplicação equivocada, a nosso ver, devido às condições climáticas piauienses, a segunda busca seu espaço principalmente devido aos projetos submetidos aos leilões de energia e à real possibilidade de conexão da energia produzida à rede da concessionária e consequente redução dos custos das tarifas de energia elétrica.

Diante destes cenários e da necessidade de suprimento de energia das regiões mais isoladas do estado, este trabalho se propôs a verificar a viabilidade técnica e econômica de prover este importante recurso, sobretudo para populações rurais, a partir da implementação de sistemas híbridos de energia que fossem integrados por fontes renováveis na perspectiva de uma alternativa sustentável ao sistema convencional de abastecimento.

Inicialmente, ao quantificarmos os recursos solar e eólico do estado, acreditamos que, além da contribuição científica, o trabalho pode subsidiar a tomada de decisões através de políticas públicas voltadas para as dimensões social, energética e ambiental. O mapa, produzido ao longo da pesquisa, de velocidade média do vento, revelou um grande potencial para uso da energia eólica no sudeste do estado, o que desconstrói a ideia de que o aproveitamento da mesma só é favorável na região litorânea. Na região de estudo, os ventos chegam a atingir uma velocidade média de 6,5 m/s na estação seca.

Já o mapa de radiação solar confirmou que o estado possui índices elevados em toda a sua extensão territorial graças a sua localização geográfica, em pleno semiárido brasileiro. Os menores valores de radiação solar quantificados no Piauí superam os maiores valores

registrados na Alemanha, país de maior produção de energia solar fotovoltaica do mundo. Para a região de estudo, verificou-se, no mês de agosto, valores máximos de radiação da ordem de 7,5 kWh/m<sup>2</sup>/dia.

Antes do dimensionamento do sistema híbrido, além de conhecer as condições de radiação e velocidade de vento, foi necessário conhecer o perfil de demanda energética a ser atendida na comunidade, a qual é composta por 12 residências unifamiliares. A “cesta” de equipamentos de cada unidade consumidora foi estimada com base na experiência de uma comunidade vizinha que possui abastecimento de energia elétrica.

Além de atender necessidades primárias, o consumo de energia estimada para cada unidade consumidora incluiu o uso de algum equipamento (com potência de até 1000 W) que seja utilizada por aquela família como fonte de renda. Desta forma, a energia, que leva ao desenvolvimento, cumpre seu papel social.

Dois sistemas híbridos de energia foram propostos para verificação de viabilidade. Um contendo somente fontes renováveis de energia e o outro com integração de um gerador a diesel às fontes renováveis. Em ambos há previsão de uso de baterias estacionárias para acúmulo de cargas.

Do ponto de vista da análise técnica, ambos os sistemas propostos se mostram viáveis. Para o caso do uso de gerador a diesel, existe logística de abastecimento de combustível, a qual é garantida pela facilidade das vias de acesso à rede de postos localizada no município de Paulistana, apesar dos 30 km que separam a comunidade da sede municipal. O dimensionamento dos subsistemas eólico, fotovoltaico e gerador a diesel são feitas de tal maneira que a comunidade não fique sem abastecimento de energia.

As baterias exigem especial cuidado quanto ao seu alojamento. Para tanto projetou-se a construção de uma “casa” de baterias, local protegido do sol e da chuva e que abriga também o grupo gerador e a estrutura de comandos dos sistemas propostos. As baterias foram dimensionadas para operarem por 2,5 anos em média, quando é feita a substituição. Cada unidade consumidora terá seu próprio medidor de energia para que seja quantificada a geração mensal do sistema.

No que tange à análise econômica, os resultados não se mostraram favoráveis ao uso dos sistemas híbridos de energia na comunidade Roça de Baixo, sendo a opção de abastecimento convencional a mais atrativa. Porém, estes mesmos resultados revelaram que a atratividade econômica dos sistemas híbridos é maior quanto maior for a distância da rede de abastecimento até a comunidade a ser atendida pela concessionária. As análises feitas para as

duas situações hipotéticas (distâncias de 10 km e 15 km) comprovaram a viabilidade econômica destes sistemas.

Ambientalmente falando, não resta dúvida de que a opção pelos sistemas híbridos de energia para abastecimento de comunidades isoladas sem acesso a este recurso, preferencialmente os que não utilizam o gerador a diesel em sua configuração, são os que impactam menos o meio onde estão inseridos. Por outro lado, há que se pensar numa logística adequada para o descarte das baterias. Neste caso, um programa de reciclagem seria uma boa alternativa.

A produção de energia elétrica, qualquer que seja a fonte, envolve um custo ambiental. Notadamente no que se refere ao cenário de mudanças climáticas, pelo qual o planeta vem passando, optar por tecnologias de produção de energia que emitam baixos volumes de CO<sub>2</sub> na atmosfera é uma contribuição relevante para o não agravamento deste cenário. Portanto, as fontes renováveis se configuram como alternativas não só para a mitigação da matriz energética, mas também por se configurarem como vetores de redução de emissão de CO<sub>2</sub> quando comparados às fontes convencionais.

Na fase de pós-instalação é necessário que sejam feitos treinamentos no sentido de capacitar alguns moradores sobre como resolver problemas simples que comumente surgem nos sistemas bem como fazer a manutenção preventiva de componentes. Esta participação da população local é decisiva para que se evite que a comunidade fique sem abastecimento de energia por um problema relativamente de fácil solução. Nestes treinamentos também serão abordados conteúdos relacionados ao uso racional da energia elétrica.

Nos dias atuais, não há como justificar que o acesso à energia, sobretudo para as comunidades rurais isoladas, encontre barreiras tão excludentes. A universalização deste recurso precisa ter caráter prioritário nas políticas norteadoras de desenvolvimento social, visto que o acesso do homem contemporâneo à energia elétrica dá a ele uma condição a mais de exercício de cidadania, sem falar de um ganho na sua qualidade de vida e a possibilidade de estar conectado com os acontecimentos externos a sua realidade.

Para trabalhos futuros, sugerimos a verificação da viabilidade técnica e econômica de sistemas híbridos que integrem outros componentes de geração de energia além da eólica e da solar fotovoltaica, como por exemplo, o uso do biodigestor e de células a hidrogênio. Outra sugestão seria o estudo da viabilidade econômica dos sistemas híbridos a partir de uma análise de custo benefício.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (BRASIL). **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 3. ed. – Brasília : ANEEL, 2008.

AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (BRASIL). **Nota Técnica nº 0075/2011**. Proposta de abertura de Consulta Pública para o recebimento de dados e contribuições para análise dos impactos da aplicação do Decreto no 97.280, de 16 de dezembro de 1988. Disponível em <[http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/consulta\\_publica/documentos/Nota%20T%C3%A9cnica\\_0075\\_DANIEL\\_SRD.pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/consulta_publica/documentos/Nota%20T%C3%A9cnica_0075_DANIEL_SRD.pdf)>. Acesso em: 12 dez. 2014.

AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (BRASIL). **Resolução nº 395/2009**. Aprova os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional - PRODIST, e dá outras providências. Disponível em <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2009395.pdf>>. Acesso em: 12 dez. 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (BRASIL). **Resolução Normativa nº 166, de 10 de outubro de 2005**. Estabelece as disposições consolidadas relativas ao cálculo da tarifa de uso dos sistemas de distribuição (TUSD) e da tarifa de energia elétrica (TE). Disponível em <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/bren2005166.pdf>>. Acesso em: 15 mar. 2015.

AGUIAR, Robério Bôto de. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea, Estado do Piauí**: diagnóstico do município de Paulistana. Fortaleza: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2004.

AGUIAR, Wilson M. de. **O uso de fontes alternativas de energia como fator de desenvolvimento social para segmentos marginalizados da sociedade**. In: X CBE CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA, Rio de Janeiro, 2004.

ALCÂNTARA, C. R.; SOUZA, E. P. **Uma teoria termodinâmica para brisas**: testes utilizando simulações numéricas. Revista Brasileira de Meteorologia. v.23, n.1, p.1-1. 1, março, 2008.

AMORA, Dimmi. **Chuva abaixo da média faz governo manter termelétricas ligadas**. Folha de São Paulo, São Paulo, 24 de setembro de 2015. Disponível em <<http://www1.folha.uol.com.br/mercado/2015/09/1677033-chuva-abaixo-da-media-faz-governo-manter-termeletricas-ligadas.shtml>>. Acesso em: 25 set. 2015.

AMUTHAN, W. Margaret; RAJINI, V. **Techno-economic evaluation of various hybrid power systems for rural telecom**. Renewable and Sustainable Energy Reviews 43 (2015) 553–561.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA. **Propostas para inserção da energia solar fotovoltaica na matriz elétrica brasileira**. Disponível em <<http://www.abinee.org.br/informac/arquivos/profotov.pdf>>. Acesso em: 11 jan. 2015.

BARBOSA Claudomiro *et al.* **Solar/Wind/Diesel Hybrid Power Systems for Electrification of Isolated Communities in the Brazilian Amazon Region**: Present State and Future Developments. In: Sixth Latin-American Congress: Electricity Generation and Transmission, 2005, Mar del Plata. Sixth CLAGTEE, 2005.

BARBOSA, Claudomiro F. de O.; PINHO, João T. **Avaliação econômica de sistemas híbridos fotovoltaico-eólico-diesel para geração de eletricidade na Amazônia.** In: II CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR E III CONFERÊNCIA REGIONAL LATINO-AMERICANA DA ISES. FLORIANOPOLIS, 2008.

BARING-GOULD, E. I. *et al.* **Field performance of hybrid power systems.** In: AMERICAN WIND ENERGY ASSOCIATION'S WINDPOWER CONFERENCE, 2001. Conference Papers. Washington, D.C., 2001.

BENITO, Tomás Perales. **Práticas de energia solar fotovoltaica.** Porto (Portugal): Publindústia, edições técnicas, 2013.

BERMANN, Célio. **Crise Ambiental e as Energias Renováveis.** Revista Ciência e Cultura (SBPC), v. 60, p. 20-29, 2008.

BORGES NETO, M. R. *et al.* **Biogas/photovoltaic hybrid power system for decentralized energy supply of rural areas.** Energy Policy, vol. 38, p.4497-4506, 2010.

BRASIL. **Decreto nº 4873 de 11/11/2003.** Institui o Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica - Luz para Todos. Disponível em <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/2003/d4873.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2003/d4873.htm)>. Acesso em: 14 mar. 2015.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Anuário estatístico de Agroenergia 2012.** Brasília: MAPA/ACS, 2013.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Plano Nacional de Agroenergia 2006-2011.** 2. ed. rev. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2006.

BRASIL. **Medida Provisória nº 656, de 7/10/2014.** Reduz a zero as alíquotas da Contribuição para o PIS/PASEP, da COFINS, da Contribuição para o PIS/Pasep-Importação e da Cofins-Importação incidentes sobre a receita de vendas e na importação de partes utilizadas em aerogeradores. Disponível em [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2014/Mpv/mpv656.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2014/Mpv/mpv656.htm). Acesso em: 15 out. 2015.

CARVALHO, P. C. M.; RIFFEL, D. B.; FREIRE, C.; MONTENEGRO, F. F. D. **The Brazilian experience with a photovoltaic powered reverse osmosis plant.** Progress in Photovoltaics: Research and Application, Sydney, v. 12, n. 5, p. 373-385, 2004.

CASTRO, Rui M. G. **Energias Renováveis e Produção Descentralizada: introdução à energia eólica.** 3 ed. Lisboa, Universidade Técnica de Lisboa, 2007.

CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas Solarimétrico do Brasil: banco de dados solarimétricos.** Ed. Universitária da UFPE. Recife, 2000.

COMISSÃO EUROPEIA. **Comprender as políticas da União Europeia: Energia.** Bruxelas, Bélgica. Serviço das Publicações da União Europeia, 2015.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (BRASIL). **Mapa estratégico da indústria 2013-2022.** Brasília: CNI, 2013. 137 p. Disponível em <<http://www.unep.org/energy/About/tabid/131173/language/en-US/Default.aspx>>. Acesso em: 14 nov. 2014.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Sistema de Informação de Águas Subterrâneas – SIAGAS**. Disponível em <<http://siagas.cprm.gov.br>>. Acesso em: 8 abr. 2015.

CUSTÓDIO, Ronaldo. **Energia Eólica**. São Paulo: Eletrobrás, 2013.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE AQUECIMENTO SOLAR. **Cresce produção de coletores solares e reservatórios térmicos**. SolBrasil, v. 16, maio de 2013, pp. 6-7.

DI LASCIO, Marco Alfredo; BARRETO, Eduardo José Fagundes. **Energia e desenvolvimento sustentável para a Amazônia rural brasileira**: eletrificação de comunidades isoladas. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2009.

EHRlich, Pierre Jacques. **Engenharia econômica**: avaliação e seleção de projetos de investimento. 6 ed. São Paulo: Atlas, 2011.

ELETROBRÁS. CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS, MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. **Manual de estudos de efeitos ambientais dos sistemas elétricos**. Rio de Janeiro: ELETROBRAS, 1986.

ELETROBRÁS. CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS, MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. **A questão ambiental no setor elétrico: as opções de suprimento de energia elétrica e suas implicações socioambientais**. Rio de Janeiro: Mimeo, 1992.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Anuário estatístico de energia elétrica 2013**. Rio de Janeiro: EPE, 2013.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balço energético nacional 2014**: ano base 2013. Rio de Janeiro: EPE, 2014.

FADAEENEJADN, M.; RADZI, M.A.M.; ABKADIR, M.Z.A.; HIZAM, H. **Assessment of hybrid renewable power sources for rural electrification in Malaysia**. Renewable and Sustainable Energy Reviews 30 (2014) 299–305.

FUKS, Mauricio; SALAZAR, Esther. **Applying models for ordinal logistic regression to the analysis of household electricity consumption classes in Rio de Janeiro, Brazil**. Energy Economics, v. 30, n. 4, p. 1672-1692, Jul. 2008.

FURTADO, Ricardo Cavalcanti. **Custos ambientais da produção**. 1. ed. – Rio de Janeiro: Synergia, 2013.

GARCÍA, Pablo; TORREGLOSA, Juan P.; FERNÁNDEZ, Luis M.; JURADO, Francisco. **Improving long-term operation of power sources in off-grid hybrid systems based on renewable energy, hydrogen and battery**. Journal of Power Sources 265 (2014) 149-159

GIDDENS, Anthony. **A política da mudança climática**. 1 ed. Rio de Janeiro: Zahar, 2010.

GOLDEMBERG, José. **Energia e desenvolvimento sustentável**. 1 ed. São Paulo: Blucher, 2010.

HAAPALA, Karl R.; PREMPREEDA, Preedanood. **Comparative life cycle assessment of 2.0 MW wind turbines**. Int. J. Sustainable Manufacturing, Vol. 3, Nº. 2, 2014

HESSAMIN, Mir-Akbar; CAMPBELL, Hugh; SANGUINETTI, Christopher **A feasibility study of hybrid wind power systems for remote communities**. Energy Policy 39 (2011) 877–886.

HINRICHS, Roger A; KLEINBACH, Merlin. **Energia e meio ambiente**. Tradução técnica: Lineu Belico dos Reis, Flávio Maron Vichi, Leonardo Freire de Mello. 4 ed. São Paulo: Cengage Learning, 2010.

HUANG, Qunwu; SHI, Yejiang; WANG, Yiping; LU, Linping; CUI, Yong. **Multi-turbine wind-solar hybrid system**. Renewable Energy 76 (2015) 401-407.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (BRASIL). **Dados de radiação solar global medidos nas estações automáticas do estado do Piauí**: ano 2010. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>>. Acesso em 12 junho 2012.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (BRASIL). **La Niña ganha força e influencia clima no Brasil**. Boletim informativo do instituto nacional de meteorologia/MAPA. Ano 4, nº 21, setembro e outubro de 2010.

JENNINGS, Stephanie; HEALEY, John. **Appropriate renewable hybrid power systems for the remote aboriginal communities**. Renewable Energy, vol. 22, p.327-333, 2001.

KATZENBACH, R.; CLAUSS, F.; ZHENG, J. **Efficiency for Sustainability - Smart Energy Management in Social Housing**. Journal of Power and Energy Engineering, v. 2, p. 1-6, 2014.

LIRA, Marcos A. T.; MOITA NETO, José M. **Energia para o desenvolvimento: o cenário piauiense**. Revista de desenvolvimento econômico. Ano XV Nº 27 Junho de 2013 Salvador, BA.

LIRA, Marcos A. T.; SILVA, Emerson M.; ALVES, José Maria Brabo; VERAS, Gielson Vitor Oliveira. **Estimation of wind resources in the coast of Ceará, Brazil, using the linear regression theory**. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 39 (2014) 509–529

LIRA, Marcos A. T.; SILVA, Emerson M. **Estimativa de Recursos Eólicos: método da regressão linear**. 1. ed. Novas Edições Acadêmicas, 2015. v. 1. 88p.

LYRA, Gustavo Bastos; PEREIRA, Antonio Roberto. **Parâmetros de rugosidade aerodinâmica sobre vegetação esparsa em região semiárida**. Rev. bras. meteorol. [online]. 2007, vol.22, n.2, pp. 262-272.

LÓPES, José María Escudero. **Manual de Energía Eólica**. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid e México, 2ª ed,2011.

LIMA, F. J. L.; CAVALCANTI, E. P.; SOUZA, E. P.; SILVA, E. M. **Evaluation of the Wind Power in the State of Paraíba Using the Mesoscale Atmospheric Model Brazilian Developments on the Regional Atmospheric Modelling System**. ISRN Renewable Energy, v. 2012, p. 1-16, 2012.

MARTINS, Fernando R.; GUARNIERI, Ricardo A.; PEREIRA, Enio B. **O aproveitamento da energia eólica**. Revista Brasileira de Ensino de Física, São Paulo, v. 30, n. 1, março, 2008.

MELLO, J. C. C. B. S.; L. MEZA, Ângulo; GOMES, E. G.; FERNANDES, A. J. S.; BIONDI NETO L. **Estudo não paramétrico da relação entre consumo de energia, renda e temperatura**. IEEE LATIN AMERICA TRANSACTIONS, VOL. 6, N<sup>o</sup>. 2, JUNE 2008.

MENDEZ, Osvaldo R. S. **Projeto sistema híbrido de geração elétrica sustentável para a Ilha de Lençóis, Município de Cururupu - MA**. Relatório técnico. Disponível em <[http://www.dee.ufma.br/~gomes/projeto%20lencois\\_relatorio%20tecnico\\_novembro-008\\_versao%202.pdf](http://www.dee.ufma.br/~gomes/projeto%20lencois_relatorio%20tecnico_novembro-008_versao%202.pdf)>. Acesso em 2 setembro 2014.

MENDONÇA, Luciana. **A Força das águas**. Revista O Setor Elétrico, vol. 7, n. 20, p. 62-67, 2012.

MERAZ, Raúl Castillo; MONTEJANO, Roberto Carlos Martínez; ARANDA, Finees Delgado; CANTÓN, Isaac Campos. **Sistema híbrido fotovoltaico-eólico para la generación de Energía eléctrica**. Revista Académica de Investigación, No. 13 – Agosto, 2013, España.

MICHELLIS JÚNIOR, Décio. **Geração de emprego, renda e impostos por parte do setor elétrico**. Disponível em <<http://www.redenergia.com/imprensa/geracao-de-emprego-renda-e-impostos-por-parte-do-setor-eletrico-6>>. Acesso em 10 de jan. 2015.

MISTAYA ENGINEERING INC. FEATURES. **Windographer 2014**. Disponível em <<https://www.windographer.com/features>>. Acesso em 14 maio 2015.

MORAES, Albemerc M. **Aplicações da tecnologia solar fotovoltaica no Estado do Piauí: barreiras e potencialidades**. Teresina, Edufpi, 2013.

NGUYEN, Khanh Quang. **Alternatives to grid extension for rural electrification: Decentralized renewable energy technologies in Vietnam**. Energy Policy, v.35, n.4, p.2579-89, abr. 2007.

OLIVEIRA, Denisson Q. *et al.* **Confiabilidade de Sistemas Isolados Baseados em Energias Renováveis: requisitos, soluções e resultados**. In: III SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SISTEMAS ELÉTRICOS. Belém, 2010.

OLIVEIRA, Juliana Lima; COSTA, Alexandre Araújo. **Estudo de variabilidade do vento em escala sazonal sobre o nordeste brasileiro utilizando o RAMS: os casos de 1973-1974 e 1982-1983**. Revista Brasileira de Meteorologia. Mar 2011, vol.26, no.1, p.95-108.

OMETTO, José Carlos. **Bioclimatologia Vegetal**. São Paulo, SP. Agronômica “Ceres”. 1981.

PEREIRA, A. **Sistemas Híbridos**. Revista Energia na Agricultura, Botucatu, vol. 22, n.2, 2007, p.38-50.

PEREIRA, Enio Bueno; MARTINS, Fernando Ramos; ABREU, Samuel Luna; RUTHER, Ricardo. **instituto brasileiro de energia solar**. São José dos Campos: INPE, 2006.

PIAUI. **Lei Ordinária N° 5.936 de 30/11/2009**. Institui a Política Estadual de Incentivo ao Aproveitamento da Energia Solar e dá outras providências. Disponível em <http://legislacao.pi.gov.br/legislacao/default/ato/14540> . Acesso em: 15 fev. 2015.

PINHO, João T.; BARBOSA, Claudomiro F. O.; PEREIRA, Edinaldo J. S.; SOUZA, Hallan M. S.; BLASQUES, Luis C. M.; GALHARDO, Marcos A. B.; MACEDO, Wilson N.

**Sistemas híbridos:** soluções energéticas para a Amazônia. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2008.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos.** Rio de Janeiro. CEPEL – CRESESB. Edição Revisada e Atualizada, 2014.

PINTO, Milton de Oliveira. **Fundamentos da Energia Eólica.** Rio de Janeiro, LTC, 2013.

PRATS, Deivis Ávila; GARCIA, Ramón Alesanco; ALONSO, Juan Veliz. **Sistemas híbridos con base en las energías renovables para el suministro de energía a plantas desaladoras.** Ingeniería Mecánica. Vol. 14. No. 1, enero-abril, 2011, p. 22-30.

REIS, Lineu Belisco dos; SILVEIRA, Semida. **Energia Elétrica para o Desenvolvimento Sustentável:** introdução de uma visão disciplinar. 2 ed.. São Paulo: Editora Universidade de São Paulo, 2012.

ROSA, Aldo Vieira da. **Processos de energias renováveis.** Rio de Janeiro, Elsevier, 2015.

RÜTHER, Ricardo. **Potencial da energia solar fotovoltaica no Brasil e projetos vitrine Estádios Solares e Aeroportos Solares.** Disponível em<[http://www.senado.leg.br/comissoes/cma/ap/AP20100316\\_UFSC\\_Ruther.pdf](http://www.senado.leg.br/comissoes/cma/ap/AP20100316_UFSC_Ruther.pdf)>. Acesso em: 12 jan. 2105.

SANTIAGO DE MARIA, Paulo Henrique; COSTA, Alexandre Araújo; SOMBRA, Sérgio Sousa. **Modelagem numérica em alta resolução para previsão de geração de energia eólica no Ceará.** Revista Brasileira de Meteorologia. Dez 2008, vol.23, no.4, p.477-489.

SECCO, Alexandre. **O momento de fazer boas escolhas.** Análise Energia, São Paulo, edição especial, 2014.

SENJYU, Tomonobu; NAKAJI, Toshiaki; UEZATO, Katsumi; FUNABASHI Toshihisa. **A Hybrid Power System Using Alternative Energy Facilities in Isolated Island.** IEEE Transactions on energy Conversion, vol. 20 n. 2, p.406-414, 2005.

SHAAHID, S. M.; ELHADIDY, M. A. **Economic analysis of hybrid photovoltaic-diesel-battery power systems for residential loads in hot regions: a step to clean future.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 12, p.488-503, 2008.

SILVA, Gustavo Rodrigues. **Panorama do potencial eólico no Brasil.** Ed. rev. Brasília: Dupligráfica, 2003.

SILVA, Lorena de Oliveira. **Dossiê Técnico: Energia eólica.** Centro de Apoio ao desenvolvimento Tecnológico CDT/UnB. Fevereiro, 2012.

SILVA, Marcelo Gomes; GUIMARÃES, Leonam dos Santos. **Uso do Índice de Desenvolvimento Humano como Instrumento de Projeção de Demanda de Energia Elétrica.** Economia e Energia Nº 86: Julho/Setembro de 2012.

SIQUEIRA, Jair A. C. SERAPHIM, Odivaldo J. **Comportamento da energia solar e eólica em um sistema híbrido de pequeno porte para energização rural.** Revista Energia na Agricultura, Botucatu, vol. 22, n.2, p.38-50, 2007.

SREERAJ, E. S.; CHATTERJEE, Kishore; BANDYOPADHYAY, Santanu. **Design of isolated renewable hybrid power systems**. Solar Energy, vol. 84, p.1124-1136, 2010.

STULL, R.B. **An introduction to Boundary Layer Meteorology**. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1988.

TEIXEIRA, Wesley F.; CAMELO, Henrique do N. **Análise da densidade de potência eólica em regiões de serra e litoral do estado do Ceará**. Revista Ciência e Natura, Santa Maria, edição Esp. Dez. 2013. p. 396 – 399.

U.S. Energy Information Administration. **Annual Energy Outlook 2013**. Washington, DC: EIA, 2013.

VANNI, Silvia R. **Estudo de viabilidade econômica de fontes alternativas de energia de uma comunidade típica da região Nordeste do Brasil**. In: XII CBE CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA, Rio de Janeiro, 2008.

VAREJÃO-SILVA, Mário Adelmo. **Meteorologia e Climatologia**. Versão Digital 2. Recife, PE. 2006. Disponível em <<http://www.agritempo.gov.br>>. Acesso em 13 março 2015.

WHITTON, Jonh; PARRY, Mihangel Ioan; AKIYOSHI, Mito; LAWLESS, William. **Conceptualizing a social sustainability framework for energy infrastructure decisions**. Energy Research & Social Science, 8: 127-138, 2015.

ZHOU, Wei; LOU, Chengzhi; LI, Zhongshi; LU, Lin; YANG, Hongxing. **Current status of research on optimum sizing of stand-alone hybrid solar–wind power generation systems**. Applied Energy, 87(2): 380-389, 2010.

**ANEXOS**

## ANEXO A - Orçamento: rede de distribuição de energia elétrica de 5 km de extensão.

## PLANILHA ORÇAMENTÁRIA - MONTAGEM ELETROMECAÂNICA

OBRA: EXTENSÃO PRIMÁRIA 13,8 KV E SECUNDÁRIA EM 380/220 V

LOCAL:

EXT. AT TRIF.: (km)

5,200

EXT. BT S4.-(KM)

3,14

## Estruturas

Código	Descrição	Unid	Quant	PREÇO(1)
E00001	ESTAI SIMPLES	UNID	9,00	212,26
E00020	N1 TRIFÁSICA 13,8KV	UNID	42,00	244,88
E00022	N3 TRIFÁSICA 13,8KV	UNID	1,00	330,00
E00023	N3N3 TRIFÁSICA 13,8KV	UNID	1,00	775,51
E00024	N4 TRIFÁSICA 13,8KV	UNID	2,00	545,49
E00027	DN3F TRIFÁSICA 13,8KV	UNID	1,00	1.170,88
E00058	S1P	UNID	44,00	29,90
E00059	S1A	UNID	34,00	30,50
E00063	KIT INTERNO (CEPISA)	UNID	12,00	160,95
E00085	ATERRAMENTO DE BT	UNID	20,00	80,41
E00065	RAMAL MONOFÁSICO RME	UNID	12,00	33,26
E00073	TC3 TRIFÁSICA 13,8KV	UNID	2,00	2.367,84
<b>SUB-TOTAL (R\$)</b>				<b>26.589,72</b>

## Materiais

Código	Descrição	Unid	Quant	PREÇO(1)
5975 / 170574	ALÇA PREFORMADA DE SERVIÇO PARA CABO MULTIPLEXADO 25 MM2	UNID	34,00	2,29
5975 / 130247	ALÇA PRE-FORMADA DISTRIBUICAO;4 AWG;LARANJA	UNID	24,00	2,29
5975 / 130246	ALÇA PRE-FORMADA ESTAI; CORDOALHA DE AÇO; 6,4 MM(1/4 IN); AMARELO;	UNID	18,00	4,86
5680 / 130121	ANCORA CONCRETO ARMADO PARA ESTAI; 1000X200X100 MM	UNID	9,00	44,17
5975 / 170102	ARMAÇAO SECUNDARIA; AÇO CARBONO; 1; 110 MM;	UNID	78,00	14,00
5310 / 130026	ARRUELA LISA QUADRADA;AÇO CARBONO;100MM;6MM;18MM	UNID	9,00	5,62
5310 / 170011	ARRUELA LISA QUADRADA;AÇO CARBONO;50MM;3MM;18MM	UNID	334,00	0,44
5310 / 170134	ARRUELA LISA;REDONDA SEM CHANFRO;18MM;35MM;3MM	UNID	137,00	0,99
6250 / 60008	BOCAL 5/CHAVE P/LAMP.-E-27	UNID	36,00	3,09
6145 / 170860	CABO ALUMINIO QUADRUPLEX 3X1X25+25MM <sup>2</sup> , CONDUTORES FASE ISOLADO EM XLPE 0,6	MT	1.259,60	7,49
4010 / 170878	CABO DE AÇO GALVANIZADO A QUENTE IPS 1X7, DIÂMETRO NOMINAL 6,35 MM, RUPTURA	MT	117,00	2,94
6145 / 171118	CABO ELETRICO ISOLADO;COBRE;25 MM2;MOLE;750 V	MT	8,00	9,96
6145 / 130130	CABO ELETRICO NU CAA;4 AWG;SWAN	KG	467,29	18,05
6145 / 171094	CABO ELETRICO NU COBRE;35 MM2;MOLE	KG	23,00	33,11
5975 / 130013	CHAPA ESTAI;76MM;8MM;18MM(26X36MM)	UNID	9,00	8,34
6110 / 170911	CHAVE FUSIVEL DISTRIBUICAO; 15KV;; 100 A;; 10000A;; BASE TIPO "C";	UNID	9,00	212,82
5970 / 60104	CLEATS; PLASTICO	UNID	480,00	0,25
5935 / 170586	CONECTOR ATERRAMENTO;CABO A HASTE;1 CABO CU 16-70 MM2	UNID	30,00	18,17
5935 / 170682	CONECTOR DERIVAÇÃO "C" CUNHA, LIGA DE COBRE, ESTANHADO, TIPO III, VERMELHA, AZU	UNID	2,00	6,21
5935 / 170979	CONECTOR DERIVACAO PERFURANTE; CA-CU 25-120MM2;CA-CU 25-120MM2	UNID	2,00	7,04
5935 / 170873	CONECTOR DERIVAÇÃO; "C" CUNHA; CA 4AWG; CA 4AWG; ALUMÍNIO	UNID	21,00	6,21
5935 / 170424	CONECTOR DERIVAÇÃO; CUNHA; L. ALUMIN; CAA 4-1/0 AWG; CU 16-35MM2	UNID	23,00	6,21
5935 / 170130	CONECTOR DERIVACAO;PARAFUSO ;CA-CU 50M;CA-CU 50M;SEM SEPAR	UNID	8,00	6,21
5935 / 171944	CONECTOR PERFURANTE, PRINCIPAL 10 - 70 MM2, DERIVACAO 1,5 - 10 MM2	UNID	12,00	7,04
4010 / 170089	CORDOALHA AÇO CARBONO;PARA-RAIOS;6 4 MM(1/4 IN);MR	MT	180,00	2,94
5680 / 170989	CRUZETA CONCRETO;T;1900MM;90X90MM (NAS EXTREMIDADES)	UNID	56,00	78,12
4730 / 100005	CURVA PVC SOLDAVEL 1 90 GRAUS	UNID	60,00	1,61
5920 / 170068	ELO FUSIVEL;DISTRIBUICAO;2A;5;500 MM	UNID	6,00	5,43
6145 / 170803	FIO ELÉTRICO ISOLADO; COBRE; 1,5MM2; 600V	MT	360,00	0,86
6145 / 171121	FIO ELETRICO ISOLADO; COBRE;2 5 MM2;750 V;PRETA	MT	600,00	0,99
6145 / 170414	FIO ELETRICO NU; COBRE; 16MM2 MEIO-DURO	KG	1,20	33,11
6145 / 170082	FIO ELETRICO NU;ALUMINIO;6 AWG	MT	130,00	1,26
6145 / 171128	FIO ELETRICO NU;COBRE;10 MM2;DURO	KG	1,80	33,66
6145 / 171096	FIO ELETRICO NU;COBRE;4 MM2;MEIO-DURO	KG	0,10	33,66
6145 / 170398	FIO PARALELO COBRE ISOLADO PENDENTE 2 X Ø 75MM 300 V	MT	60,00	0,92
6145 / 170058	FITA AMARRACAO;ALUMINIO;RECOZIDA;1MM;10MM	MT	130,00	0,99
5970 / 171953	FITA ISOLANTE ALTA FUSÃO;FILME DE ETILENO-PROPILENO;19MM;0,8MM;10M;PRETA	MT	36,00	0,54
5975 / 130015	HASTE ANCORA;16 MM;2400 MM	UNID	9,00	43,10
5975 / 170796	HASTE ATERRAMENTO;PADRAD;16 MM;3000 MM	UNID	30,00	29,61
5930 / 60164	INTERRUPTOR TIPO PERA 10-A/220V	UNID	36,00	3,34
5970 / 171011	ISOLADOR BASTÃO ANCORAGEM; POLIMERICO; ENGATE GARFO-OLHAL REDONDO; 15KV; 7	UNID	24,00	36,25
5970 / 130180	ISOLADOR PINO;PORCELANA VIDRADA;MONOCORPO;25 KV;25 MM	UNID	137,00	16,14
5970 / 170001	ISOLADOR ROLDANA;PORCELANA VIDRADA;MARRON;76MM;2	UNID	78,00	3,89
5975 / 171947	LACO PREFORMADO PARA CABO DE ALUMINIO MULTIPLEX 25MM2	UNID	44,00	2,29

Continua

## ANEXO A - Orçamento: rede de distribuição de energia elétrica de 5 km de extensão.

6240 / 60544	LAMPADA FLUORESCENTE, COMPACTA, 15W, 220V	UNID	36,00	10,76
5306 / 170458	PARAFUSO CABECA QUADRADA; ACO CARBONO;; 16MM;; 300MM;; TOTAL;	UNID	8,00	8,72
5920 / 170185	PARA-RAIOS DISTRIBUICAO;POLIMERICO;OXIDO DE ZINCO;12KV;10KA;	UNID	6,00	181,83
5975 / 130064	PINO ISOLADOR;ACO CARBONO;16MM ABAIXO/19MM ACI;150 MM;150 MM	UNID	137,00	17,48
5310 / 130038	PORCA OLHAL;ACO CARBONO;16MM	UNID	18,00	9,20
5680 / 130022	POSTE CONCRETO DUPLO T; 10 M; 300 DAN;	UNID	9,00	785,33
5680 / 130068	POSTE CONCRETO DUPLO T;10 M;150 DAN	UNID	35,00	584,62
5680 / 130039	POSTE CONCRETO DUPLO T;11 M;300 DAN	UNID	1,00	880,95
5680 / 170401	POSTE CONCRETO DUPLO T;9 M;150 DAN	UNID	32,00	511,89
5680 / 170402	POSTE CONCRETO DUPLO T;9 M;300 DAN	UNID	22,00	682,94
5315 / 130864	PREGO PARA FIXACAO	KG	1,20	8,47
5975 / 130036	SAPATILHA;ALCA PREFORMADA P/CABO DIAM. NOM. 9 5MM;20MM	UNID	42,00	1,74
5940 / 60165	TOMADA EXTERNA MONOFASICO 10 A X 220V	UNID	24,00	4,70
6120 / 170214	TRANSFORMADOR DISTRIBUICAO;TRIFASICO;30KVA;15KV;13800/13200/	UNID	2,00	5.825,94
<b>SUB-TOTAL (R\$)</b>				<b>111.362,14</b>

## Serviços

Código	Descrição	Unid	Quant	QTD. H/H
1016	ABERTURA DE FAIXA DE 10 METROS - CV	KM	5,30	39,34
9004	CADASTRO DE CONSUMIDOR - CV	UNID	12,00	0,10
1099	DISTRIBUIÇÃO DE POSTE - CV	CAVA	99,00	1,81
1065	ESCAVAÇÃO ACIMA DE 1-60M - CV	CAVA	1,00	2,08
1057	ESCAVAÇÃO ATE 1-60M - CV	CAVA	98,00	1,39
1115	IMPLANTAÇÃO DE POSTE ACIMA DE 10M - CV	UNID	1,00	4,04
1107	IMPLANTAÇÃO DE POSTE ATE 10M - CV	UNID	98,00	3,03
1164	INSTALAÇÃO DE ÂNCORA COM ESCAVAÇÃO - CV	CAVA	9,00	1,41
9043	INSTALAÇÃO DE ATERRAMENTO - CV	UNID	20,00	0,61
1214	INSTALAÇÃO DE CHAVE FUSIVEL - CV	UNID	9,00	0,81
9027	INSTALAÇÃO DE ELO FUSIVEL - CV	UNID	6,00	0,13
1610	INSTALAÇÃO DE ESTAI - CV	UNID	9,00	0,70
9003	INSTALAÇÃO DE KIT INTERNO - CV	UNID	12,00	1,81
1206	INSTALAÇÃO DE PÁRA-RAIO - CV	UNID	6,00	0,79
5173	INSTALAÇÃO DE TRANSFORMADOR ATE 30KVA - CV	UNID	2,00	5,36
1172A	LANÇ. E NIV. DE CABO DE ALUMÍNIO NU CAA, SEÇÃO 4 AWG - CV	KG	467,29	0,16
5165	LANÇ. E NIV. DE COND ACIMA 1/0,1-40M - CV	VÃO	85,00	0,73
1041	LOCAÇÃO DE POSTE COM INSTRUMENTO - CV	UNID	99,00	0,71
1156	MONTAGEM DE CADEIA DE ISOLADOR ATE 34-5KV - CV	CADEIA	24,00	0,29
1123	MONTAGEM DE CRUZETA ATE 2-64M - CV	UNID	56,00	0,88
1149	MONTAGEM DE ISOLADOR DE PINO - CV	UNID	137,00	0,21
5140	MONTAGEM DE ISOLADOR ROLDANA - CV	UNID	78,00	0,10
1255	NUMERAÇÃO DE POSTE INCLUINDO MATERIAL - CV	UNID	45,00	0,61
TOTAL DE H/H				1.232,91
VALOR UNITÁRIO (R\$)(1)				29,23
<b>SUB-TOTAL (R\$)</b>				<b>36.038,05</b>

## OUTROS CUSTOS

Código	Descrição	Unid	Quant	H/H
9045	TRANSPORTE - CV	REAIS	1,00	2.839,52
9046	LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO - CV	REAIS	1,00	1.739,90
9047	PROJETO ELÉTRICO - CV	REAIS	1,00	1.739,90
<b>SUB-TOTAL (R\$)</b>				<b>6.319,31</b>

## RESUMO GERAL

Descrição	Quant
MATERIAL	137.951,86
MÃO DE OBRA	39.517,85
TRANSPORTE	2.839,52
CUSTOS INDIRETOS (ENGENHARIA/SUPERVISÃO/ADM GERAL)	17.706,37
<b>TOTAL GERAL</b>	<b>198.015,58</b>

(1) preço médio de contratos do Prog. Luz para Todos (atualizado 12/2014)

Elaborado por:

Adaildo do Rego Andrade

Engenheiro de Produção

Dep. Luz Para Todos

Eletrobras Distribuição Piauí

Teresina. 30 de outubro de 2015.

Conclusão

## ANEXO B - Orçamento: rede de distribuição de energia elétrica de 10 km de extensão.

### PLANILHA ORÇAMENTÁRIA - MONTAGEM ELETROMECÂNICA

OBRA: EXTENSÃO PRIMÁRIA 13,8 KV E SECUNDÁRIA EM 380/220 V

LOCAL:

EXT. AT TRIF.: (km)

10,400

EXT. BT S4.:(KM)

3,14

#### Estruturas

Código	Descrição	Unid	Quant	PREÇO
E00001	ESTAI SIMPLES	UNID	18,00	212,26
E00020	N1 TRIFÁSICA 13,8KV	UNID	84,00	244,88
E00022	N3 TRIFÁSICA 13,8KV	UNID	2,00	330,00
E00023	N3N3 TRIFÁSICA 13,8KV	UNID	2,00	775,51
E00024	N4 TRIFÁSICA 13,8KV	UNID	4,00	545,49
E00027	DN3F TRIFÁSICA 13,8KV	UNID	2,00	1.170,88
E00058	S1P	UNID	44,00	29,90
E00059	S1A	UNID	34,00	30,50
E00063	KIT INTERNO (CEPISA)	UNID	12,00	160,95
E00085	ATERRAMENTO DE BT	UNID	20,00	80,41
E00065	RAMAL MONOFÁSICO RME	UNID	12,00	33,26
E00073	TC3 TRIFÁSICA 13,8KV	UNID	2,00	2.367,84
<b>SUB-TOTAL (R\$)</b>				<b>42.152,41</b>

#### Materiais

Código	Descrição	Unid	Quant	PREÇO
5975 / 170574	ALÇA PREFORMADA DE SERVIÇO PARA CABO MULTIPLEXADO 25 MM2	UNID	34,00	2,29
5975 / 130247	ALCA PRE-FORMADA DISTRIBUICAO;4 AWG;LARANJA	UNID	48,00	2,29
5975 / 130246	ALCA PRE-FORMADA ESTAI; CORDOALHA DE ACO; 6,4 MM(1/4 IN); AMARELO;	UNID	36,00	4,86
5680 / 130121	ANCORA CONCRETO ARMADO PARA ESTAI; 1000X200X100 MM	UNID	18,00	44,17
5975 / 170102	ARMACAO SECUNDARIA; AÇO CARBONO; 1; 110 MM;	UNID	78,00	14,00
5310 / 130026	ARRUELA LISA QUADRADA;ACO CARBONO;100MM;6MM;18MM	UNID	18,00	5,62
5310 / 170011	ARRUELA LISA QUADRADA;ACO CARBONO;50MM;3MM;18MM	UNID	668,00	0,44
5310 / 170134	ARRUELA LISA;REDONDA SEM CHANFRO;18MM;35MM;3MM	UNID	137,00	0,99
6250 / 60008	BOCAL S/CHAVE P/LAMP.-E-27	UNID	36,00	3,09
6145 / 170860	CABO ALUMINIO QUADRUPLEX 3X1X25+25MM², CONDUTORES FASE ISOLADO EM XLPE 0,6	MT	1.259,60	7,49
4010 / 170878	CABO DE AÇO GALVANIZADO A QUENTE IPS 1X7, DIÂMETRO NOMINAL 6,35 MM, RUPTURA	MT	234,00	2,94
6145 / 171118	CABO ELETRICO ISOLADO;COBRE;25 MM2;MOLE;750 V	MT	8,00	9,96
6145 / 130130	CABO ELETRICO NU CAA;4 AWG;SWAN	KG	934,58	18,05
6145 / 171094	CABO ELETRICO NU COBRE;35 MM2;MOLE	KG	23,00	33,11
5975 / 130013	CHAPA ESTAI;76MM;8MM;18MM(26X36MM)	UNID	18,00	8,34
6110 / 170911	CHAVE FUSIVEL DISTRIBUICAO; 15KV;; 100 A;; 10000A;; BASE TIPO "C";	UNID	18,00	212,82
5970 / 60104	CLEATS; PLASTICO	UNID	480,00	0,25
5935 / 170586	CONECTOR ATERRAMENTO;CABO A HASTE;1 CABO CU 16-70 MM2	UNID	30,00	18,17
5935 / 170682	CONECTOR DERIVAÇÃO "C" CUNHA, LIGA DE COBRE, ESTANHADO, TIPO III, VERMELHA, AZUL	UNID	4,00	6,21
5935 / 170979	CONECTOR DERIVACAO PERFORANTE; CA-CU 25-120MM2;CA-CU 25-120MM2	UNID	2,00	7,04
5935 / 170873	CONECTOR DERIVAÇÃO; "C" CUNHA; CA 4AWG; CA 4AWG; ALUMÍNIO	UNID	42,00	6,21
5935 / 170424	CONECTOR DERIVAÇÃO; CUNHA; L. ALUMIN; CAA 4-1/0 AWG; CU 16-35MM2	UNID	23,00	6,21
5935 / 170130	CONECTOR DERIVACAO;PARAFUSO ;CA-CU 50M;CA-CU 50M;SEM SEPAR	UNID	8,00	6,21
5935 / 171944	CONECTOR PERFORANTE, PRINCIPAL 10 - 70 MM2, DERIVACAO 1,5 - 10 MM2	UNID	12,00	7,04
4010 / 170089	CORDOALHA ACO CARBONO;PARA-RAIOS;6 4 MM(1/4 IN);MR	MT	360,00	2,94
5680 / 170989	CRUZETA CONCRETO;T;1900MM;90X90MM (NAS EXTREMIDADES)	UNID	112,00	78,12
4730 / 100005	CURVA PVC SOLDAVEL 1 90 GRAUS	UNID	60,00	1,61
5920 / 170068	ELO FUSIVEL;DISTRIBUICAO;2A;H;500 MM	UNID	12,00	5,43
6145 / 170803	FIO ELÉTRICO ISOLADO; COBRE; 1,5MM2; 600V	MT	360,00	0,86
6145 / 171121	FIO ELETRICO ISOLADO; COBRE;2 5 MM2;750 V;PRETA	MT	600,00	0,99
6145 / 170414	FIO ELETRICO NU; COBRE; 16MM2 MEIO-DURO	KG	1,20	33,11
6145 / 170082	FIO ELETRICO NU;ALUMINIO;6 AWG	MT	260,00	1,26
6145 / 171128	FIO ELETRICO NU;COBRE;10 MM2;DURO	KG	1,80	33,66
6145 / 171096	FIO ELETRICO NU;COBRE;4 MM2;MEIO-DURO	KG	0,10	33,66
6145 / 170398	FIO PARALELO COBRE ISOLADO PENDENTE 2 X 0 75MM 300 V	MT	60,00	0,92
6145 / 170058	FITA AMARRACAO;ALUMINIO;RECOZIDA;1MM;10MM	MT	260,00	0,99
5970 / 171953	FITA ISOLANTE ALTA FUSÃO;FILME DE ETILENO-PROPILENO;19MM;0,8MM;10M;PRETA	MT	36,00	0,54
5975 / 130015	HASTE ANCORA;16 MM;2400 MM	UNID	18,00	43,10
5975 / 170796	HASTE ATERRAMENTO;PADRAO;16 MM;3000 MM	UNID	30,00	29,61
5930 / 60164	INTERRUPTOR TIPO PERA 10-A/220V	UNID	36,00	3,34
5970 / 171011	ISOLADOR BASTÃO ANCORAGEM; POLIMERICO; ENGATE GARFO-OLHAL REDONDO; 15KV; 7	UNID	48,00	36,25
5970 / 130180	ISOLADOR PINO;PORCELANA VIDRADA;MONOCORPO;25 KV;25 MM	UNID	274,00	16,14
5970 / 170001	ISOLADOR ROLDANA;PORCELANA VIDRADA;MARRON;76MM;2	UNID	78,00	3,89
5975 / 171947	LACO PREFORMADO PARA CABO DE ALUMINIO MULTIPLEX 25MM2	UNID	44,00	2,29
6240 / 60544	LAMPADA FLUORESCENTE, COMPACTA, 15W, 220V	UNID	36,00	10,76
5306 / 170458	PARAFUSO CABECA QUADRADA; ACO CARBONO;; 16MM;; 300MM;; TOTAL;	UNID	8,00	8,72
5920 / 170185	PARA-RAIOS DISTRIBUICAO;POLIMERICO;OXIDO DE ZINCO;12KV;10KA;	UNID	6,00	181,83
5975 / 130064	PINO ISOLADOR;ACO CARBONO;16MM ABAIXO/19MM ACI;150 MM;150 MM	UNID	274,00	17,48
5310 / 130038	PORCA OLHAL;ACO CARBONO;16MM	UNID	18,00	9,20
5680 / 130022	POSTE CONCRETO DUPLO T; 10 M; 300 DAN;	UNID	18,00	785,33
5680 / 130068	POSTE CONCRETO DUPLO T;10 M;150 DAN	UNID	70,00	584,62
5680 / 130039	POSTE CONCRETO DUPLO T;11 M;300 DAN	UNID	2,00	880,95
5680 / 170401	POSTE CONCRETO DUPLO T;9 M;150 DAN	UNID	32,00	511,89
5680 / 170402	POSTE CONCRETO DUPLO T;9 M;300 DAN	UNID	22,00	682,94
5315 / 130864	PREGO PARA FIXACAO	KG	1,20	8,47

Continua

## ANEXO B - Orçamento: rede de distribuição de energia elétrica de 10 km de extensão.

5975 / 130036	SAPATILHA;ALCA PREFORMADA P/CABO DIAM. NOM. 9 5MM;20MM	UNID	84,00	1,74
5940 / 60165	TOMADA EXTERNA MONOFASICO 10 A X 220V	UNID	24,00	4,70
6120 / 170214	TRANSFORMADOR DISTRIBUICAO;TRIFASICO;30KVA;15KV;13800/13200/	UNID	2,00	5.825,94
<b>SUB-TOTAL (R\$)</b>			<b>162.588,86</b>	

### Serviços

Código	Descrição	Unid	Quant	QTD. H/H
1016	ABERTURA DE FAIXA DE 10 METROS - CV	KM	10,60	39,34
9004	CADASTRO DE CONSUMIDOR - CV	UNID	12,00	0,10
1099	DISTRIBUIÇÃO DE POSTE - CV	CAVA	144,00	1,81
1065	ESCAVAÇÃO ACIMA DE 1-60M - CV	CAVA	2,00	2,08
1057	ESCAVAÇÃO ATE 1-60M - CV	CAVA	142,00	1,39
1115	IMPLANTAÇÃO DE POSTE ACIMA DE 10M - CV	UNID	2,00	4,04
1107	IMPLANTAÇÃO DE POSTE ATE 10M - CV	UNID	142,00	3,03
1164	INSTALAÇÃO DE ÂNCORA COM ESCAVAÇÃO - CV	CAVA	18,00	1,41
9043	INSTALAÇÃO DE ATERRAMENTO - CV	UNID	20,00	0,61
1214	INSTALAÇÃO DE CHAVE FUSIVEL - CV	UNID	9,00	0,81
9027	INSTALAÇÃO DE ELO FUSIVEL - CV	UNID	6,00	0,13
1610	INSTALAÇÃO DE ESTAI - CV	UNID	18,00	0,70
9003	INSTALAÇÃO DE KIT INTERNO - CV	UNID	12,00	1,81
1206	INSTALAÇÃO DE PÁRA-RAIO - CV	UNID	6,00	0,79
5173	INSTALAÇÃO DE TRANSFORMADOR ATE 30KVA - CV	UNID	2,00	5,36
1172A	LANÇ. E NIV. DE CABO DE ALUMÍNIO NU CAA, SEÇÃO 4 AWG - CV	KG	934,58	0,16
5165	LANÇ. E NIV. DE COND ACIMA 1/0,1-40M - CV	VÃO	85,00	0,73
1041	LOCAÇÃO DE POSTE COM INSTRUMENTO - CV	UNID	99,00	0,71
1156	MONTAGEM DE CADEIA DE ISOLADOR ATE 34-5KV - CV	CADEIA	48,00	0,29
1123	MONTAGEM DE CRUZETA ATE 2-64M - CV	UNID	112,00	0,88
1149	MONTAGEM DE ISOLADOR DE PINO - CV	UNID	274,00	0,21
5140	MONTAGEM DE ISOLADOR ROLDANA - CV	UNID	78,00	0,10
1255	NUMERAÇÃO DE POSTE INCLUINDO MATERIAL - CV	UNID	90,00	0,61
			TOTAL DE H/H	1.930,62
			VALOR UNITÁRIO (R\$)	29,23
<b>SUB-TOTAL (R\$)</b>			<b>56.431,91</b>	

### OUTROS CUSTOS

Código	Descrição	Unid	Quant	H/H
9045	TRANSPORTE - CV	REAIS	1,00	4.262,35
9046	LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO - CV	REAIS	1,00	2.611,73
9047	PROJETO ELÉTRICO - CV	REAIS	1,00	2.611,73
<b>SUB-TOTAL (R\$)</b>			<b>9.485,81</b>	

### RESUMO GERAL

Descrição	Quant
MATERIAL	204.741,27
MÃO DE OBRA	61.655,37
TRANSPORTE	4.262,35
CUSTOS INDIRETOS (FNGFNHARIA/SUPFRVISÃO/ADM GFRAI)	26.578,71
<b>TOTAL GERAL</b>	<b>297.237,70</b>

(1) preço médio de contratos do Prog. Luz para Todos (atualizado 12/2014)

Elaborado por:

**Adaildo do Rego Andrade**

Engenheiro de Produção

Dep. Luz Para Todos

Eletrobras Distribuição Piauí

Teresina, 30 de outubro de 2015.

*Conclusão*

## ANEXO C - Orçamento: rede de distribuição de energia elétrica de 15 km de extensão.

## PLANILHA ORÇAMENTÁRIA - MONTAGEM ELETROMECÂNICA

OBRA: EXTENSÃO PRIMÁRIA 13,8 KV E SECUNDÁRIA EM 380V/220 V

LOCAL:

EXT. AT TRIF.: (km)

15,600

EXT. BT S4.: (KM)

3,14

## Estruturas

Código	Descrição	Unid	Quant	PREÇO
E00001	ESTAI SIMPLES	UNID	27,00	212,26
E00020	N1 TRIFÁSICA 13,8KV	UNID	126,00	244,88
E00022	N3 TRIFÁSICA 13,8KV	UNID	3,00	330,00
E00023	N3N3 TRIFÁSICA 13,8KV	UNID	3,00	775,51
E00024	N4 TRIFÁSICA 13,8KV	UNID	6,00	545,49
E00027	DN3F TRIFÁSICA 13,8KV	UNID	3,00	1.170,88
E00058	S1P	UNID	44,00	29,90
E00059	S1A	UNID	34,00	30,50
E00063	KIT INTERNO (CEPISA)	UNID	12,00	160,95
E00085	ATERRAMENTO DE BT	UNID	20,00	80,41
E00065	RAMAL MONOFÁSICO RME	UNID	12,00	33,26
E00073	TC3 TRIFÁSICA 13,8KV	UNID	2,00	2.367,84
<b>SUB-TOTAL (R\$)</b>				<b>57.715,10</b>

## Materiais

Código	Descrição	Unid	Quant	PREÇO
5975 / 170574	ALÇA PREFORMADA DE SERVIÇO PARA CABO MULTIPLEXADO 25 MM2	UNID	34,00	2,29
5975 / 130247	ALÇA PRE-FORMADA DISTRIBUICAO;4 AWG;LARANJA	UNID	72,00	2,29
5975 / 130246	ALÇA PRE-FORMADA ESTAI; CORDOALHA DE AÇO; 6,4 MM(1/4 IN); AMARELO;	UNID	54,00	4,86
5680 / 130121	ANCORA CONCRETO ARMADO PARA ESTAI; 1000X200X100 MM	UNID	27,00	44,17
5975 / 170102	ARMAÇAO SECUNDARIA; AÇO CARBONO; 1; 110 MM;	UNID	78,00	14,00
5310 / 130026	ARRUELA LISA QUADRADA;AÇO CARBONO;100MM;6MM;18MM	UNID	27,00	5,62
5310 / 170011	ARRUELA LISA QUADRADA;AÇO CARBONO;50MM;3MM;18MM	UNID	1.002,00	0,44
5310 / 170134	ARRUELA LISA;REDONDA SEM CHANFRO;18MM;35MM;3MM	UNID	137,00	0,99
6250 / 60008	BOCAL S/CHAVE P/LAMP.-E-27	UNID	36,00	3,09
6145 / 170860	CABO ALUMINIO QUADRUPLEX 3X1X25+25MM², CONDUTORES FASE ISOLADO EM XLPE 0,6	MT	1.259,60	7,49
4010 / 170878	CABO DE AÇO GALVANIZADO A QUENTE IPS 1X7, DIÂMETRO NOMINAL 6,35 MM, RUPTURA	MT	351,00	2,94
6145 / 171118	CABO ELETRICO ISOLADO;COBRE;25 MM2;MOLE;750 V	MT	8,00	9,96
6145 / 130130	CABO ELETRICO NU CAA;4 AWG;SWAN	KG	1.401,87	18,05
6145 / 171094	CABO ELETRICO NU COBRE;35 MM2;MOLE	KG	23,00	33,11
5975 / 130013	CHAPA ESTAI;76MM;8MM;18MM(26X36MM)	UNID	27,00	8,34
6110 / 170911	CHAVE FUSIVEL DISTRIBUICAO; 15KV;; 100 A;; 10000A;; BASE TIPO "C";	UNID	9,00	212,82
5970 / 60104	CLEATS; PLASTICO	UNID	480,00	0,25
5935 / 170586	CONECTOR ATERRAMENTO;CABO A HASTE;1 CABO CU 16-70 MM2	UNID	30,00	18,17
5935 / 170682	CONECTOR DERIVAÇÃO "C" CUNHA, LIGA DE COBRE, ESTANHADO, TIPO III, VERMELHA, AZUL	UNID	6,00	6,21
5935 / 170979	CONECTOR DERIVACAO PERFURANTE; CA-CU 25-120MM2;CA-CU 25-120MM2	UNID	2,00	7,04
5935 / 170873	CONECTOR DERIVAÇÃO; "C" CUNHA; CA 4AWG; CA 4AWG; ALUMÍNIO	UNID	63,00	6,21
5935 / 170424	CONECTOR DERIVAÇÃO; CUNHA; L. ALUMIN; CAA 4-1/0 AWG; CU 16-35MM2	UNID	69,00	6,21
5935 / 170130	CONECTOR DERIVACAO;PARAFUSO ;CA-CU 50M;CA-CU 50M;SEM SEPAR	UNID	24,00	6,21
5935 / 171944	CONECTOR PERFURANTE, PRINCIPAL 10 - 70 MM2, DERIVACAO 1,5 - 10 MM2	UNID	12,00	7,04
4010 / 170089	CORDOALHA AÇO CARBONO;PARA-RAIOS;6 4 MM(1/4 IN);MR	MT	540,00	2,94
5680 / 170989	CRUZETA CONCRETO;T;1900MM;90X90MM (NAS EXTREMIDADES)	UNID	168,00	78,12
4730 / 100005	CURVA PVC SOLDAVEL 1 90 GRAUS	UNID	60,00	1,61
5920 / 170068	ELO FUSIVEL;DISTRIBUICAO;2A;H;500 MM	UNID	6,00	5,43
6145 / 170803	FIO ELÉTRICO ISOLADO; COBRE; 1,5MM2; 600V	MT	360,00	0,86
6145 / 171121	FIO ELETRICO ISOLADO; COBRE;2 5 MM2;750 V;PRETA	MT	600,00	0,99
6145 / 170414	FIO ELETRICO NU; COBRE; 16MM2 MEIO-DURO	KG	1,20	33,11
6145 / 170082	FIO ELETRICO NU;ALUMINIO;6 AWG	MT	390,00	1,26
6145 / 171128	FIO ELETRICO NU;COBRE;10 MM2;DURO	KG	1,80	33,66
6145 / 171096	FIO ELETRICO NU;COBRE;4 MM2;MEIO-DURO	KG	0,10	33,66
6145 / 170398	FIO PARALELO COBRE ISOLADO PENDENTE 2 X 0 75MM 300 V	MT	60,00	0,92
6145 / 170058	FITA AMARRACAO;ALUMINIO;RECOZIDA;1MM;10MM	MT	390,00	0,99
5970 / 171953	FITA ISOLANTE ALTA FUSÃO;FILME DE ETILENO-PROPILENO;19MM;0,8MM;10M;PRETA	MT	36,00	0,54
5975 / 130015	HASTE ANCORA;16 MM;2400 MM	UNID	27,00	43,10
5975 / 170796	HASTE ATERRAMENTO;PADRAO;16 MM;3000 MM	UNID	30,00	29,61
5930 / 60164	INTERRUPTOR TIPO PERA 10-A/220V	UNID	36,00	3,34
5970 / 171011	ISOLADOR BASTÃO ANCORAGEM; POLIMÉRICO; ENGATE GARFO-OLHAL REDONDO; 15KV; 70	UNID	72,00	36,25
5970 / 130180	ISOLADOR PINO;PORCELANA VIDRADA;MONOCORPO;25 KV;25 MM	UNID	411,00	16,14
5970 / 170001	ISOLADOR ROLDANA;PORCELANA VIDRADA;MARRON;76MM;2	UNID	78,00	3,89
5975 / 171947	LACO PREFORMADO PARA CABO DE ALUMINIO MULTIPLEX 25MM2	UNID	44,00	2,29
6240 / 60544	LAMPADA FLUORESCENTE, COMPACTA, 15W, 220V	UNID	36,00	10,76
5306 / 170458	PARAFUSO CABECA QUADRADA; AÇO CARBONO;; 16MM;; 300MM;; TOTAL;	UNID	24,00	8,72

Continua

### ANEXO C - Orçamento: rede de distribuição de energia elétrica de 15 km de extensão.

5920 / 170185	PARA-RAIOS DISTRIBUICAO;POLIMERICO;OXIDO DE ZINCO;12KV;10KA;	UNID	6,00	181,83
5975 / 130064	PINO ISOLADOR;ACO CARBONO;16MM ABAIXO/19MM ACI;150 MM;150 MM	UNID	137,00	17,48
5310 / 130038	PORCA OLHAL;ACO CARBONO;16MM	UNID	18,00	9,20
5680 / 130022	POSTE CONCRETO DUPLO T; 10 M; 300 DAN;	UNID	27,00	785,33
5680 / 130068	POSTE CONCRETO DUPLO T;10 M;150 DAN	UNID	105,00	584,62
5680 / 130039	POSTE CONCRETO DUPLO T;11 M;300 DAN	UNID	3,00	880,95
5680 / 170401	POSTE CONCRETO DUPLO T;9 M;150 DAN	UNID	32,00	511,89
5680 / 170402	POSTE CONCRETO DUPLO T;9 M;300 DAN	UNID	22,00	682,94
5315 / 130864	PREGO PARA FIXACAO	KG	1,20	8,47
5975 / 130036	SAPATILHA;ALCA PREFORMADA P/CABO DIAM. NOM. 9 5MM;20MM	UNID	126,00	1,74
5940 / 60165	TOMADA EXTERNA MONOFASICO 10 A X 220V	UNID	24,00	4,70
6120 / 170214	TRANSFORMADOR DISTRIBUICAO;TRIFASICO;30KVA;15KV;13800/13200/	UNID	2,00	5.825,94
<b>SUB-TOTAL (R\$)</b>				<b>205.654,79</b>

#### Serviços

Código	Descrição	Unid	Quant	QTD. H/H
1016	ABERTURA DE FAIXA DE 10 METROS - CV	KM	15,90	39,34
9004	CADASTRO DE CONSUMIDOR - CV	UNID	12,00	0,10
1099	DISTRIBUIÇÃO DE POSTE - CV	CAVA	189,00	1,81
1065	ESCAVAÇÃO ACIMA DE 1-60M - CV	CAVA	3,00	2,08
1057	ESCAVAÇÃO ATE 1-60M - CV	CAVA	186,00	1,39
1115	IMPLANTAÇÃO DE POSTE ACIMA DE 10M - CV	UNID	3,00	4,04
1107	IMPLANTAÇÃO DE POSTE ATE 10M - CV	UNID	186,00	3,03
1164	INSTALAÇÃO DE ÂNCORA COM ESCAVAÇÃO - CV	CAVA	27,00	1,41
9043	INSTALAÇÃO DE ATERRAMENTO - CV	UNID	20,00	0,61
1214	INSTALAÇÃO DE CHAVE FUSIVEL - CV	UNID	9,00	0,81
9027	INSTALAÇÃO DE ELO FUSIVEL - CV	UNID	6,00	0,13
1610	INSTALAÇÃO DE ESTAI - CV	UNID	27,00	0,70
9003	INSTALAÇÃO DE KIT INTERNO - CV	UNID	12,00	1,81
1206	INSTALAÇÃO DE PÁRA-RAIO - CV	UNID	6,00	0,79
5173	INSTALAÇÃO DE TRANSFORMADOR ATE 30KVA - CV	UNID	2,00	5,36
1172A	LANÇ. E NIV. DE CABO DE ALUMÍNIO NU CAA, SEÇÃO 4 AWG - CV	KG	1.401,87	0,16
5165	LANÇ. E NIV. DE COND ACIMA 1/0,1-40M - CV	VÃO	85,00	0,73
1041	LOCAÇÃO DE POSTE COM INSTRUMENTO - CV	UNID	297,00	0,71
1156	MONTAGEM DE CADEIA DE ISOLADOR ATE 34-5KV - CV	CADEIA	72,00	0,29
1123	MONTAGEM DE CRUZETA ATE 2-64M - CV	UNID	168,00	0,88
1149	MONTAGEM DE ISOLADOR DE PINO - CV	UNID	411,00	0,21
5140	MONTAGEM DE ISOLADOR ROLDANA - CV	UNID	78,00	0,10
1255	NUMERAÇÃO DE POSTE INCLUINDO MATERIAL - CV	UNID	135,00	0,61
TOTAL DE H/H				2.768,90
VALOR UNITÁRIO (R\$)				29,23
<b>SUB-TOTAL (R\$)</b>				<b>80.934,92</b>

#### OUTROS CUSTOS

Código	Descrição	Unid	Quant	H/H
9045	TRANSPORTE - CV	REAIS	1,00	5.619,05
9046	LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO - CV	REAIS	1,00	3.443,05
9047	PROJETO ELÉTRICO - CV	REAIS	1,00	3.443,05
<b>SUB-TOTAL (R\$)</b>				<b>12.505,15</b>

#### RESUMO GERAL

Descrição	Quant
MATERIAL	263.369,89
MÃO DE OBRA	87.821,02
TRANSPORTE	5.619,05
CUSTOS INDIRETOS (ENGENHARIA/SUPERVISÃO/ADM GERAL)	35.038,74
<b>TOTAL GERAL</b>	<b>391.848,70</b>

(1) preço médio de contratos do Prog. Luz para Todos (atualizado 12/2014)

Elaborado por:

**Adaildo do Rego Andrade**

Engenheiro de Produção

Dep. Luz Para Todos

Eletrobras Distribuição Piauí

Teresina, 30 de outubro de 2015.

Conclusão

## ANEXO D - Orçamento: subsistema fotovoltaico.

### Subsistema com uso de gerador a diesel



Av. Presidente Kennedy, 1585 - Horto Florestal - Lojas D5/D6 - Teresina-PI - CEP: 64.052.675  
 www.estacaosolar.eco.br / estacaosolar@estacaosolar.eco.br - Tele: (86) 3305.1509 / 3305.1512

### Proposta comercial

#### Sistema autônomo para 12 residências rurais

Qt.	Descrição	Valor Unit.	Valor Total
24	Módulos Solares Fotovoltaicos 140W Yingli	1.228,95	29.494,80
24	Bateria Estacionária 170 Ah	1.282,05	30.769,20
12	Inversor ivolt 400W 12/220 V Unitron	478,87	5.746,44
12	Controlador de Carga e Descarga 40A	1.073,00	12.876,00
1	Equipamentos de proteção		3.840,00
1	Cabos e Conectores		4.200,00
1	Mão de obra		18.000,00
	<b>TOTAL</b>		<b>104.926,44</b>

Validade da proposta: 10 dias.

Teresina, 04 de novembro de 2015.

Responsável técnico: Eng. Eletricista Paulo de Tarso de N. Castro.

*Continua*

## ANEXO D - Orçamento: subsistema fotovoltaico.

### Subsistema sem uso de gerador a diesel



Av. Presidente Kennedy, 1585 - Horto Florestal - Lojas D5/D6 - Teresina-PI - CEP: 64.052.675  
 www.estacaosolar.eco.br / estacaosolar@estacaosolar.eco.br - Tele: (86) 3305.1509 / 3305.1512

### Proposta comercial

#### Sistema autônomo para 12 residências rurais

Qt.	Descrição	Valor Unit.	Valor Total
36	Módulos Solares Fotovoltaicos 140W Yingli	1.228,95	44.242,20
36	Bateria Estacionária 170 Ah	1.282,05	46.153,38
12	Inversor ivolt 400W 12/220 V Unitron	478,87	5.746,44
12	Controlador de Carga e Descarga 40A	1.073,00	12.876,00
1	Equipamentos de proteção		5.760,00
1	Cabos e Conectores		6.300,00
1	Mão de obra		27.000,00
	<b>TOTAL</b>		<b>148.078,02</b>

Validade da proposta: 10 dias.

Teresina, 04 de novembro de 2015.

Responsável técnico: Eng. Eletricista Paulo de Tarso de N. Castro.

*Conclusão*

**ANEXO E - Orçamento: subsistema eólico.**

## **Gerais de Fornecimento**

# **Proposta Comercial**

  
**ENERSUD**


ENERSUD foi constituída em 2001 para pesquisar, desenvolver e distribuir soluções energéticas. A ENERSUD fabrica e comercializa equipamentos voltados para a geração de energia a partir de fontes renováveis. É o fabricante com o maior número de sistemas eólicos de pequeno porte instalados no país

**Cliente :** Marcos Lira  
**Contato:** marcoslira@ufpi.edu.br  
**Data:** 03/11/2015

**Responsável Comercial:**  
Thamires Carvalho

*Continua*

## ANEXO E - Orçamento: subsistema eólico.



## Especificações do Produto

A) Aerogerador VERNE 555 - 6 kW - 02 UNIDADES

## Orçamento

ENERSUD - ITEM	QTD	PREÇO UNIT. (R\$)	TOTAL (R\$)
Turbina Eólica Verne 555 Marinizada	2	36.000,00	72.000,00
Controlador + Resistência	2	1.900,00	3.800,00
Torre autoportante de 45 m	2	15.000,00	30.000,00
Kit Cabos Elétricos – 50 m	2	1.000,00	2.000,00
Frete		9.000,00	9.000,00
<b>TOTAL</b>		<b>62.900,00</b>	<b>116.800,00</b>

- A aceitação da Proposta / Confirmação de Pedido implicará na aceitação das condições gerais de fornecimento abaixo, as quais prevalecem sobre todas e quaisquer notificações, comunicações, informações, acordos, compromissos, condições de fornecimento e entendimentos firmados em datas anteriores, por escrito ou verbalmente.
- Estas condições de fornecimento somente poderão ser alteradas, enunciadas, dispensadas ou desobrigadas de cumprimento, mediante expresso aditamento.
- Prazo de entrega conforme destacado abaixo na Proposta ENERSUD.
- Validade da proposta: 10 dias.
- Incluso PIS / COFINS.
- Garantia: O prazo de garantia contra defeitos de fabricação é de 24 meses contados da data de entrega do produto.

*Conclusão*

### ANEXO F - Orçamento: subsistema grupo gerador a diesel.

M CARVALHO E CIA LTDA		ORCAMENTO N° 0800166						
AV JOAO XXIII, 1520 SAO CRISTOVAO TERESINA-PI CEP: 64045-380		Data : 22/10/2015						
Fone: (086) 3232-4090 CNPJ: 07.699.275/0006-19 I.E.: 19.456.950-0		Loja : 07						
Cliente : **CLIENTES DIVERSOS PIAUI	Codigo : 00029682	CNPJ/CPF :						
Endereco :	BAIRRO :	Insc.Est/Ident:						
Cidade : TERESINA-PI	CEP : 64049-360							
CdRed	Local	Und	Qtde	Descricao do Item	Refer.	Valor Unit.	Desc%	Valor Total
23267		UN	1,0	GERADOR BD6500CFES 7CV 22	90304453	7.426,34		7.426,34
XXXXx				Frete para Paulistana		500,00		500,00
Plano de Pagto: A VISTA		Prazo de Entrega: 22/10/2015		Horas:	Valor dos Itens		7.926,34	
		Validade .....: 22/11/2015			Desconto			
Entrada..... :					Acres. Financeiro			
Parcelas .....: x		Vendedor: ROBERTO			T O T A L		7.926,34	

\* OS PRECOS ESTAO SUJEITOS A ALTERACOES A QUALQUER MOMENTO.

## SOBRE O AUTOR



Teresinense e filho mais novo, dentre quatro irmãos, de pais oriundos de Miguel Alves (PI), os quais vieram para a capital em 1979 com o objetivo principal de proporcionar aos filhos o acesso à educação regular.

Em Teresina, sempre residiu no bairro Água Mineral, zona norte da capital.

### Formação acadêmica:

- Técnico em Eletrotécnica pelo Centro Federal de Educação Tecnológica do Piauí (CEFET – PI) – 1999.
- Graduado em Licenciatura em Física pela Universidade Estadual do Ceará (UECE) – 2007.  
Título do trabalho de final de curso: Potencial e perspectivas cearenses no cenário das fontes alternativas de energia.
- Graduado em Engenharia elétrica pela Universidade Federal do Ceará (UFC) – 2009.
- Mestre em Ciências Físicas Aplicadas pela Universidade Estadual do Ceará (UECE) - 2010.  
Título da dissertação: Estimativa dos Recursos Eólicos no Litoral Cearense Usando a Teoria da Regressão Linear

### Atuação profissional:

- Professor Assistente do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Piauí desde 2010. Ministra disciplinas de Eletromagnetismo I; Engenharia, Ética e Sociedade; Seminário de Introdução ao curso de Engenharia Elétrica; Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica; Fontes Alternativas de Energia e Tópicos Especiais em Engenharia Elétrica.
- Coordenou vários projetos de pesquisas (inclusive com financiamento do CNPq) e orientou 14 alunos de iniciação científica desde 2010.

### Contato:

- E-mail: marcoslira@ufpi.edu.br
- Lattes: <http://buscatextual.cnpq.br/buscatextual/visualizacv.do?id=K4201627H6>
- Telefone: (86) 99994 1399