



JORGE JOSÉ BARBOSA DA SILVA

**ANÁLISE TÉCNICA E ECONOMICA DE UM
SISTEMA FOTOVOLTAICO COMO FONTE DE
ENERGIA PARA AGRICULTURA FAMILIAR**

Lavras - MG

2014

JORGE JOSÉ BARBOSA DA SILVA

**ANÁLISE TÉCNICA E ECONOMICA DE UM SISTEMA
FOTOVOLTAICO COMO FONTE DE ENERGIA PARA
AGRICULTURA FAMILIAR**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Pós-Graduação *Lato Sensu* em Formas Alternativas de Energia, para obtenção do título de Especialista em Formas Alternativas de Energia.

Orientador

Prof. MSc. Carlos Alberto Alvarenga

LAVRAS – MG

2014

JORGE JOSÉ BARBOSA DA SILVA

**ANÁLISE TÉCNICA E ECONOMICA DE UM SISTEMA
FOTOVOLTAICO COMO FONTE DE ENERGIA PARA
AGRICULTURA FAMILIAR**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Pós-Graduação *Lato Sensu* em Formas Alternativas de Energia, para obtenção do título de Especialista em Formas Alternativas de Energia.

APROVADA em ____ de _____ de 2014

Prof. MSc. Carlos Alberto Alvarenga
Orientador

**LAVRAS – MG
2014**

JORGE JOSÉ BARBOSA DA SILVA

**ANÁLISE TÉCNICA E ECONOMICA DE UM SISTEMA
FOTOVOLTAICO COMO FONTE DE ENERGIA PARA
AGRICULTURA FAMILIAR**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Pós-Graduação *Lato Sensu* em Formas Alternativas de Energia, para obtenção do título de Especialista em Formas Alternativas de Energia.

**LAVRAS – MG
2014**

JORGE JOSÉ BARBOSA DA SILVA

**ANÁLISE TÉCNICA E ECONOMICA DE UM SISTEMA
FOTOVOLTAICO COMO FONTE DE ENERGIA PARA
AGRICULTURA FAMILIAR**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Pós-Graduação *Lato Sensu* em Formas Alternativas de Energia, para obtenção do título de Especialista em Formas Alternativas de Energia.

APROVADA em ____ de _____ de 2014

Professor: _____

Professor: _____

Professor: _____

Professor: _____

UFLA

Me.CARLOS A. ALVARENGA

(ORIENTADOR)

LAVRAS – MG

2014

DEDICATÓRIA

A Deus, pela oportunidade de estar cumprindo mais uma etapa em minha vida.

A minha esposa Keila Virginia e a nossa filha Virginia Mota, pelo amor, carinho, compreensão, incentivo e paciência nos momentos que me dediquei para a elaboração desse e outros estudos.

A minha mãe dona Nara Barbosa, pelo amor incondicional, confiança e incentivo que contribuíram para esta conquista.

AGRADECIMENTOS

A Deus por tudo que nos proporcionou;

À Universidade Federal de Lavras pelo curso oferecido.

Ao coordenador, o grande divulgador e representante do curso, Dr. Gilmar Tavares, pela disponibilidade e compromisso com o curso FAE.

Aos professores do curso de Pós-graduação em Formas Alternativas de Energia.

Aos colegas, companheiros e amigos de cursos.

Aos professores que se disponibilizaram a participar da banca examinadora.

Ao meu orientador Professor MSc. Carlos Alberto Alvarenga, pela orientação na elaboração deste trabalho.

Finalmente, pelas mulheres da minha vida Nara Barbosa, Keila Virginia e Virginia Mota;

RESUMO

Há ainda regiões no Brasil que não são atendidas pela energia elétrica por não terem acesso à linha de transmissão e distribuição. A energia solar fotovoltaica é a conversão direta de Radiação Solar em Energia Elétrica por geração de corrente contínua. Tem como vantagem o fato de ser autossustentável e ecologicamente correta. Essa tecnologia tem experimentado grande avanço com o desenvolvimento de materiais e equipamentos compatíveis, facilitando a alimentação de cargas remotas. Este trabalho contém informações básicas sobre a energia fotovoltaica e o sistema próprio para alimentar alguns equipamentos elétricos. Tendo as células fotovoltaicas como captadoras de energia, o controlador de carga dosa corretamente a carga das baterias que vão alimentar diretamente lâmpadas, TV, geladeira, chocadeira, bomba de água, e também inversores para converter a tensão e correntes elétricas contínua em alternada. Instalando este sistema irá favorecer uma possibilidade de rendas para as famílias locais e estimular a aplicação do sistema fotovoltaico para alimentar outros tipos de cargas.

Palavras-chave: Painéis fotovoltaicos, alimentação, cargas.

ABSTRACT

There are still regions in Brazil that are not served by electricity by not having access to the transmission and distribution line. Photovoltaic solar energy is the direct conversion of solar radiation into electric energy generation by dc . Its advantage is that it be self-sustaining and environmentally friendly . This technology has experienced great advance with the development of compatible materials and equipment , facilitating the supply of remote loads . This work contains basic information about the system itself and photovoltaics to power some electrical equipment . Having photovoltaic cells as obtainers energy , the charge controller properly dosing the batteries that will feed directly lamps , TV , refrigerator , incubator , water pump , and also inverters to convert the voltage and continues alternating electric currents . Installing this system will foster a possibility of income for local families and stimulate the application of PV system to power other types of loads .

Keywords : Photovoltaic panels feeding loads .

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
2 OBJETIVO.....	11
2.1 GERAL.....	11
2.2 ESPECIFICO.....	12
3 ENERGIA SOLAR.....	12
4 HISTÓRICO DA CONVERSÃO FOTOVOLTAICA.....	15
5 FUNDAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	17
5.1 TIPOS DE CÉLULAS.....	20
5.2 BATERIAS.....	22
5.3 CONTROLADORES DE CARGAS.....	24
5.4 INVERSORES CC/CA.....	25
5.5 CONVERSORES DE CORRENTE CONTINUA.....	26
5.6 TIPOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....	27
5.6.1 SISTEMA ISOLADO.....	26
5.6.2 SISTEMA HIBRIDOS.....	28
5.6.3 SISTEMA CONECTADO À REDE.....	29
5.7 SISTEMAS DE BOMBEAMENTO DE ÁGUA.....	30

5.8 CONFIGURAÇÕES DE SISTEMA FOTOVOLTAICO RESIDENCIAL RURAL.....	31
6. DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO ISOLADO.....	33
6.1 PARAMETROS BÁSICOS PARA DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	33
6.2 ETAPAS PARA O DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO SEGUNDO ALVARENGA (2006).....	35
6.3 TARIFAÇÕES DE ENERGIA ELÉTRICA.....	40
6.3.1 CLASSIFICAÇÃO DOS COSUMIDORES.....	40
6.3.1 MODALIDADE TARIFÁRIA E TARIFAÇÃO.....	44
7 CONCLUSÃO.....	40
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	48

LISTA DE FIGURAS E TABELAS

Figura 1	Componentes da radiação solar.....	13
Figura 2	Representação de ângulos nas técnicas solares	14
Figura 3	Crescimento da produção fotovoltaica.....	17
Figura 4	Sistema do painel fotovoltaico.....	17
Figura 5	Esquema da Célula solar.....	18
Figura 6	Corte de um módulo fotovoltaica.....	18
Figura 7	Célula de silício monocristalino.....	20
Figura 8	Célula de silício policristalino.....	21
Figura 9	Célula de silício amorfo.....	21
Figura 10	Relação entre profundidade média de descarga.....	23
Figura 11	Configuração básica de um inversor.....	26
Figura 12	Representa a configuração de um sistema do painel fotovoltaico isolado.....	27
Figura 13	Sistema fotovoltaico híbrido.....	28
Figura 14	Sistema fotovoltaico a rede elétrica.....	29
Figura 15	Modalidade tecnológica mais utilizada nos sistemas de bombeamento fotovoltaica.....	30
Figura 16	Exemplos de configuração de sistema de	

	bombeamento fotovoltaico.....	31
Figura 17	Propriedade rural com sistema fotovoltaico.....	32
Tabela 1	Levantamento do consumo.....	36

REFERENCIAL TEÓRICO

1. INTRODUÇÃO

O objetivo deste trabalho é identificar e analisar o uso da energia solar para alimentação de equipamentos elétricos, que irá facilitar a produção da agricultura familiar que não tem disponibilidade de energia elétrica.

Acrescenta-se a este interesse, questões relacionadas ao êxodo rural, causado pela seca e falta da energia, pois a energia elétrica proporciona irrigação, lazer (filmes, jogos, novelas e outros) e informações facilitando as várias formas de comunicação, minimizando assim, cada vez mais, os impactos ambientais gerados pela hidrelétrica.

As fontes de energia, hidráulica, biomassa, eólica, combustíveis fósseis e energia dos oceanos são formas indiretas de energia solar. No caso de radiação solar, a energia pode ser utilizada diretamente como fonte térmica, de aquecimento de fluidos e ambientes e para geração de potência mecânica ou elétrica. Pode ser ainda convertida em energia elétrica, através de efeitos sobre determinados materiais, entre os quais se destacam o termoelétrico e o fotovoltaico (ELETROPAULO, 2008) e (VIEIRA, 2008).

Segundo Gazzana (2007), p. 02, a “energia fotovoltaica (“photo” - produzido pela luz, “voltaico” - eletricidade produzida por uma reação química) é uma tecnologia que converte diretamente a energia solar em energia elétrica”.

De acordo com Castro (2002), p. 01, “A quantidade de energia que atinge a Terra em 10 dias é equivalente a todas as reservas de combustíveis conhecidos”.

A energia solar é a fonte de energia mais atraente para o futuro, possui características não poluentes com quantidade de energia disponível para conversão equivalente a várias vezes o atual consumo energético mundial. Esta ideia de aproveitar a energia solar para fins práticos em

benefício do homem não é recente. Nos últimos anos, a energia solar fotovoltaica tem fornecido energia elétrica para qualquer aplicação e em qualquer localização. O sol envia inesgotáveis radiações caloríficas que aproveitadas tecnicamente podem fornecer a energia necessária a manter o atual nível de vida (SOLARTERRA, 2008) e (JUNGES 2001). Além disto por conta das estiagens que vem ocorrendo sobre tudo no norte e nordeste tem favorecido alguns investimentos por parte do governo para as instalações de painéis.

A maior parte da energia elétrica produzida no Brasil é de origem hidráulica, oferecendo para a sociedade uma energia renovável e, do ponto de vista dos efeitos globais sobre o clima, uma energia limpa. Mas, a energia elétrica produzida por fonte hidráulica possui certa sazonalidade, pois depende do regime hídrico dos rios, das principais bacias, onde se situam os maiores aproveitamentos. Aproveitar outras fontes de energia, que sejam complementares a este regime sazonal, é uma alternativa bastante conveniente para o país, pois preserva recursos ambientais e econômicos.

Após o levantamento da literatura e da bibliografia disponível, os artigos obtidos foram submetidos a releituras, com a finalidade de realizar e proporcionar uma análise interpretativa direcionada para atender as comunidades rurais e indígenas as quais estão localizadas afastadas das redes elétricas o que encarece o atendimento por meios convencionais.

2. OBJETIVO

2.1. GERAL

Esta monografia apresenta o trabalho final do curso de Fontes Alternativas de Energia, turma do primeiro semestre de 2014, da Universidade Federal de Lavras. O objetivo geral do trabalho é analisar a viabilidade técnica de utilização de células fotovoltaicas na alimentação de energia elétrica de uma residência onde ha atividade agrícola, minimizando assim, impacto ambiental, inserido dentro de uma discussão mais ampla sobre preservação ambiental e sustentabilidade econômica.

2.2. ESPECÍFICO

Identificar a capacidade de utilização de células fotovoltaicas na alimentação de equipamentos elétricos com o intuito de gerar economia financeira, com o uso da energia elétrica possibilitando uma geração de renda para as famílias agrícola e abrir uma alternativa de alimentação elétrica, cujo impacto ambiental é mínimo e de alta confiabilidade.

3. A ENERGIA SOLAR

Segundo Araújo (2004), toda a vida na Terra depende da energia solar. A energia solar é a fonte de energia para a fotossíntese gerando todo o calor necessário para plantas e animais sobreviverem.

Conforme Castro 2002, o sol é uma fonte de vida sendo fisicamente uma estrela com diâmetro de aproximadamente 1,4 milhões de quilômetros, composta por vários gases diferentes, se encontrando distanciada do planeta Terra a aproximadamente 150 milhões de quilômetros. É um reator que transforma hidrogênio em hélio numa razão de quatro milhões de toneladas por segundo, sendo a sua temperatura à superfície, de cerca de 6000°C. É a fonte de energia mais abundante na Terra, sendo cinco mil vezes maior que o somatório dos outros tipos de energia como a nuclear e a geotérmica, por exemplo. O consumo anual de energia pela humanidade é avaliado em 1014 kWh, ou seja, 1/10000 da energia que o sol envia a Terra. Em menos de uma hora o sol envia a Terra a energia consumida pela humanidade no período de um ano.

Segundo Junges (2001), p. 06 “o sol irradia, anualmente, o equivalente a 10 mil vezes a energia consumida pela população mundial neste mesmo período”.

Segundo Bolibahiano (2004), embora a energia solar seja a maior fonte de energia recebida pela Terra, sua intensidade na superfície da Terra é na verdade muito baixa, devido à grande distância entre a Terra e o sol e ao fato de que a atmosfera da Terra absorve e difunde parte da radiação (fig. 1). Até mesmo em um dia claro a energia que alcança a superfície da Terra é de apenas 70% do seu valor nominal. Sua intensidade varia de acordo com a região do planeta, com a condição do tempo e com o horário do dia.

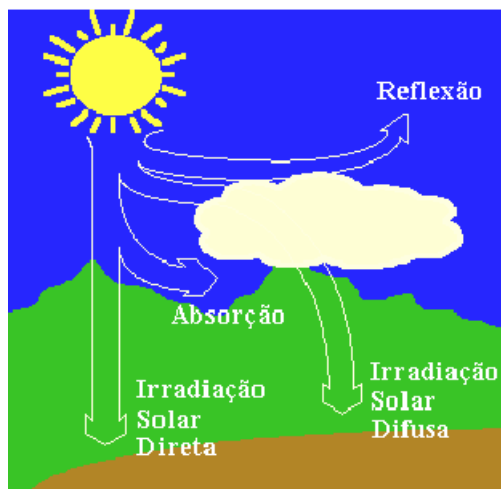


Figura 1: Componentes da radiação solar ao nível do solo
Fonte: (BOLIBAHIANO, 2004)

A atmosfera reduz a radiação solar através da reflexão, absorção (ozônio, vapor de água, oxigênio, dióxido de carbono) e dispersão (partículas de pó, poluição). O nível de irradiação na Terra atinge um total aproximado de 1.000 W/m² ao meio-dia, em boas condições do clima, independente da localização. Ao adicionar a quantidade total da radiação solar que incide na superfície terrestre durante o período de um ano, obtém-se a irradiação global anual, medida em kWh/m² (BOLIBAHIANO, 2004).

Para determinar os dados de radiação e a energia produzida pelas instalações solares, é necessário o conhecimento exato da localização do Sol. De acordo com a Figura 2, a localização do Sol pode ser definida em qualquer local, pela sua altura e pelo seu azimute. No campo da energia solar, o Sul é referido geralmente como $\gamma = 0^\circ$. O símbolo negativo é atribuído aos ângulos orientados a Leste (Leste: $\gamma = -90^\circ$) e o símbolo positivo aos ângulos orientados a Oeste (Oeste: $\gamma = 90^\circ$) (ANTUNES, 1999).

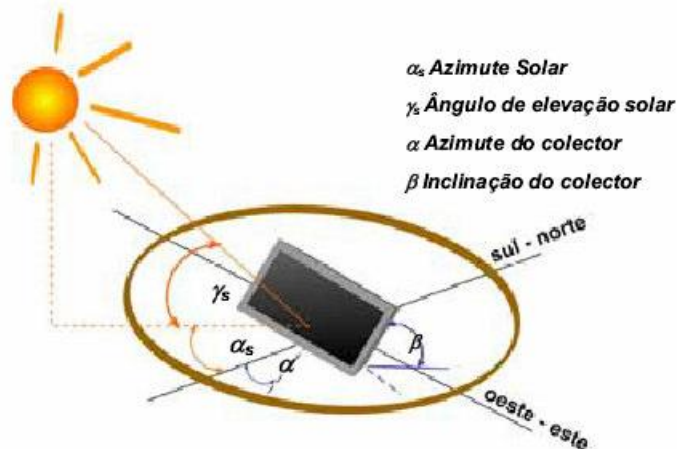


Figura 2: Representação de ângulos nas técnicas solares
Fonte: (BOLIBAHIANO, 2004)

Conforme Araújo (1999), entre todas as fontes alternativas cujas tecnologias estão avançando, a energia elétrica de origem fotovoltaica aparece como uma das principais formas de substituir os métodos conhecidos de geração de eletricidade.

A figura 3 mostra que a radiação solar diária abrange a região do nordeste e outros estados, sabemos que na região do nordeste existe varias comunidades desassistida da energia elétrica e onde tem sofrido bastante com a seca, isto favorece ao êxodo rural.



FIGURA 3 – RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL DIÁRIA – MÉDIA ANUAL TÍPICA
(Wh/m².dia)
FONTE: (ANEEL, 2006)

Segundo Gamboa (2001), a energia solar possui inúmeras vantagens, é limpa, em funcionamento não tem emissões poluentes, é modular, pode ser portátil, tem longa vida útil e requer manutenção. O custo da implantação do sistema encontra-se em redução, porém ainda é a maior desvantagem e a limitação existente na aplicação em larga escala dos sistemas fotovoltaico.

4. ÊXODO RURAL

O grande vilão do “êxodo rural” ainda continua sendo um grande problema econômico e social para muitos municípios de vocação agropecuária. Os nordestinos continuam sendo os grandes migrantes do País - 1,3 milhão de pessoas deixaram a região nos cinco anos anteriores ao Censo 2010. Embora o foco principal dos que saem do Nordeste ainda seja o Sudeste (828 mil pessoas), esta migração está sendo dividida com

outras regiões. Tanto que, além de São Paulo, Goiás e Santa Catarina apresentaram "ganho líquido" de população no período. Isto porque a econômico implantado no país favoreceu de sobremaneira os agricultores de médio e grande porte. Este fenômeno sempre teve relacionado à queda da produtividade do solo em terras agrícolas, à falta de políticas públicas e ações de desenvolvimento das zonas rurais (a figura 4 mostra as oportunidades de trabalho nos centros urbanos têm vencidos cada vez mais às poucas condições que o governo proporciona: linhas de crédito, educação direcionada, centros de saúde, geração de emprego no meio rural, bem como o próprio surgimento de melhores oportunidades de trabalho nos centros urbanos, dentre outros aspectos).

Um segundo ponto que é importante cita além deste é que estamos vivendo em todas as regiões do país mudanças climáticas as quais tem gerado período maiores de estiagem, isto sabemos que contribui diretamente para redução da produção agrícola sobre tudo para o pequeno agricultor.



Figura 4: Representação a população residente área urbana & rural

Fonte: IBGE.Censo 2010 (Folha de São Paulo,30/04/2011)

5. A ELETRIFICAÇÃO RURAL

Assim como a energização, é considerado, por lei, um serviço essencial, devendo ser disponibilizada pelo Poder Público ao homem do campo para dar plena capacitação para seu desenvolvimento e bem-estar.

Desde 1995 está em vigência no Brasil um programa de grande porte de caráter público PRODEEM (Programa de Desenvolvimento de Estados e Municípios, MME1). O Programa, baseado principalmente nos sistemas fotovoltaicos, destina-se a melhorar as condições de vida da população rural instalando de equipamentos de eletrificação rural, incluindo sistemas de bombeamento.

O Programa “Luz para Todos”, instituído através do Decreto n.º 4.873 de 11 de novembro de 2003, é uma iniciativa do governo federal que conta com a parceria dos governos estaduais e das distribuidoras de energia elétrica. O objetivo é levar eletricidade a mais de doze milhões de pessoas, em todo o território nacional, até 2008, com investimentos estimados em sete bilhões de reais.

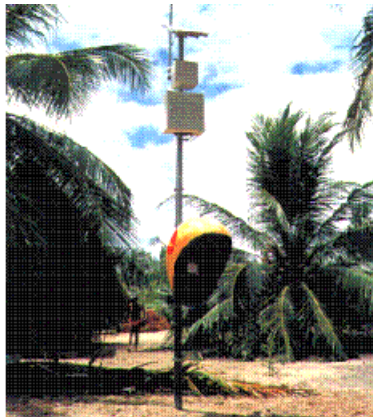


Figura 5: Representação Instalação de cabine telefônica celular fotovoltaica

Sabemos que a população rural tem direito por lei, temos visto que há vários programas do governo para atender e ou minimizar as diferenças entre as regiões conforme figura 5, no entanto, a velocidade dos programas é muito lenta favorecendo e forçando a migração para uma cidade industrializada em busca de sonhos, vida sócia informações e realizações.

6. HISTÓRIA DA CONVERSÃO FOTOVOLTAICA

Himalaya (2005), descreve o histórico da conversão fotovoltaica da energia solar iniciando em 1839 com Edmund Becquerel, físico experimental francês descobrindo o efeito fotovoltaico num eletrólito. Em 1873, Willoughby Smith, descobre o efeito fotovoltaico num material semicondutor, o Selênio. Em 1876, Adams e Day detectam igualmente o fenômeno no Selênio e constroem a primeira célula fotovoltaica com rendimento estimado de 1%. Em 1883, Charles Fritts, um inventor americano, descreve as primeiras células solares construídas a partir de camadas “wafers” - de Selênio. Em 1887 Heinrich Hertz, descobre a influência da radiação ultravioleta na descarga elétrica provocando uma faísca entre dois elétrodos de metal. Em 1904, Hallwachs, descobre uma combinação de metais sensíveis à luz. Em 1914, já se conhecia a existência de uma barreira de potencial em dispositivos fotovoltaicos. Em 1916, Millikan, fornece a prova experimental do efeito fotoelétrico. Em 1918, o cientista polaco Czochralski, desenvolve um processo de crescimento de cristais de Silício a partir de um único cristal. Em 1923, Albert Einstein, recebe o prêmio Nobel pelos trabalhos do efeito fotoelétrico e entre 1940/50 desenvolve o método Czochralski para obtenção de Silício de elevado grau de pureza, sob a forma de lingote monocristalino, para fins industriais. A partir de 1951, dá-se o desenvolvimento de uma junção Np permitindo a produção de células a partir de um único-cristal de Germânio. Em 1954, Pearson, Fuller e Chapin realizam a prática da primeira célula solar de Silício monocristalino e a descoberta do efeito fotovoltaico no Arsenieto de Gálio (GaAs), por Welker, e em cristais de Sulfureto de Cádmio (CdS), por Reynolds e Leies. Em 1956, acontecem as primeiras aplicações terrestres da conversão fotovoltaica (luzes de flash, bóias de navegação, telecomunicações). Em 1958 ocorrem as primeiras aplicações espaciais (satélite VANGUARD-1) que continuaram com o satélite EXPLORER-6, a nave espacial NIMBUS (1964) com um sistema de 470 Wp, o observatório ORBITING (1966) com 1 kWp e o satélite OVI-13 (1968), lançado com dois painéis de CdS. Em 1959, ocorre a realização das primeiras células de Silício multicristalino. Em 1963, no Japão, é instalado em um farol, um sistema com 242 Wp fotovoltaicos (a maior do mundo desse tempo). Em 1972, com tecnologia de células CdS, é instalado pela França, na cidade de Níger, um sistema que alimentava

uma televisão difundindo a Tele-escola. Em 1976, ocorre a fabricação das primeiras células de Silício períodos de permanência no espaço amorfo (Carlson e Wronski da RCA). No período compreendido entre 1981 e 1983, são instalados sistemas de demonstração, vocacionados para aplicações de eletrificação de edifícios, produção de água potável, etc. Em 1982, a produção mundial fotovoltaica ultrapassou 9,3 MW e, desde então não tem parado de crescer.

O desenvolvimento da tecnologia apoiou-se na busca de empresas do setor de telecomunicações e de fontes de energia para sistemas instalados em localidades remotas. O segundo agente impulsionador foi a "corrida espacial", onde a célula solar era o meio mais adequado em custo e peso para fornecer a quantidade de energia necessária para longos dias. Outro uso espacial que impulsionou o desenvolvimento das células solares foi à necessidade de energia para satélites (VIEIRA, 2008).

Segundo Rodrigo (2002), em 1970, a escassez de petróleo e gás natural foi o fator de estimulação dos EUA em obter, com a energia solar, uma fonte produtora de força realmente funcional. Em 1974, o Congresso norte-americano aprovou a lei sobre pesquisa e desenvolvimento da energia solar. A lei autorizava um programa nacional de pesquisa, a fim de desenvolver sistemas mais efetivos para captar, concentrar e armazenar a energia do Sol. Esses sistemas deveriam assegurar o uso econômico da energia solar na calefação e refrigeração das habitações e edifícios de escritórios e facilitar aos engenheiros a construção de usinas destinadas a converter a energia solar em eletricidade para uso industrial.

De acordo com Rodrigo (2002), no Brasil os primeiros aquecedores surgiram nos anos setenta, impulsionados pela crise do petróleo, porém, falta ainda uma política tornando esse potencial acessível à população.

A figura 6 mostra o crescimento no Brasil da produção de módulos fotovoltaicos no período de 1995 a 2008.



Figura 6: Crescimento da produção fotovoltaico
Fonte: (BOLIBAHIANO, 2004)

7. FUNCIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Segundo Vieira (2008), o sistema fotovoltaico ilustrado na figura 7, possui os seguintes elementos: módulos fotovoltaicos, com a função de captar a radiação solar e transformá-la em energia elétrica. Estes módulos são constituídos por células semicondutoras conseguindo gerar corrente elétrica; baterias, que guardam a energia, sendo armazenada de acordo com cálculo em função das necessidades; regulador de carga sendo este um sistema de impedimento de sobrecarga de bateria; inversores de corrente, transformando a corrente contínua produzida nos módulos fotovoltaicos em corrente alternada, de modo a adaptar as características da corrente gerada as da corrente necessária.

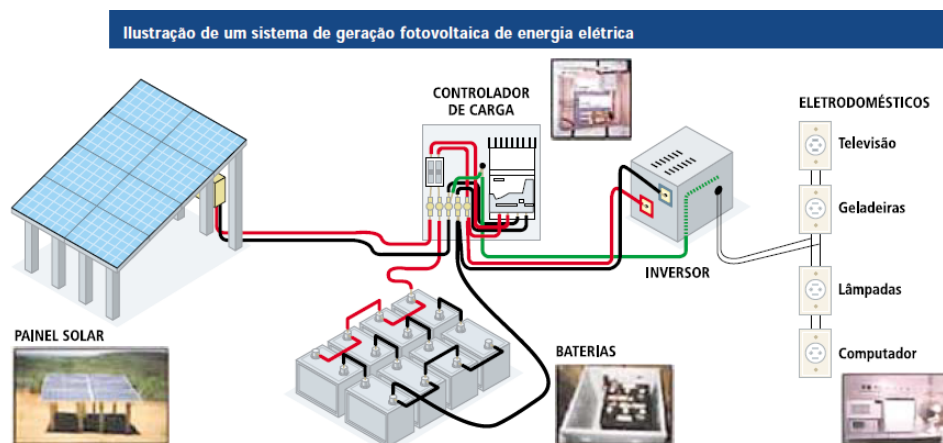


Figura 8: Sistema do painel fotovoltaico

Fonte: (VIEIRA, 2008, p. 03)

As placas de vidro e silício captam durante o dia raios de luminosidade que são armazenados em baterias para posterior uso. Diferente das placas colocadas sobre as casas onde coletores planos com canos de água para aquecimento visam à redução do custo de energia elétrica, o sistema fotovoltaico é ideal para localidades onde não exista energia elétrica ou rede disponível (CASTRO, 2002).

Segundo Amerlis (2001), nas placas são usados células de silício, pois são semicondutoras de eletricidade.

O silício apresenta-se normalmente como areia. Através de métodos adequados é obtido o silício em forma pura. O cristal de silício puro não possui elétrons livres sendo assim um mau condutor elétrico. Com isso altera-se, acrescentando-se porcentagens de outros elementos, denominando processo de dopagem. Mediante a dopagem do silício com o fósforo obtém-se um material com elétrons livres ou materiais com portadores de carga negativa (silício tipo N).

Realizando o mesmo processo, mas acrescentando Boro ao invés de fósforo, obtém-se um material com características inversas, ou seja, déficit de elétrons ou material com cargas positivas livres (silício tipo P) (AMERLIS, 2001).

Conforme Amerlis, (2001) cada célula solar é composta de uma camada fina de material tipo N e outra com maior espessura de material tipo P, como pode se visto na figura 9 e 10. Separadamente, ambas as

capas são eletricamente neutras. Mas ao serem unidas, exatamente na união P-N, gera-se um campo elétrico devido aos elétrons do silício tipo N que ocupam os vazios da estrutura do silício tipo P. Ao incidir a luz sobre a célula fotovoltaica, os fótons que a integram chocam-se com os elétrons da estrutura do silício dando-lhes energia e transformando-os em condutores. Devido ao campo elétrico gerado na união P-N, os elétrons são orientados e fluem da camada "P" para a camada "N". Por meio de um condutor externo, conecta-se a camada negativa à positiva gerando assim um fluxo de elétrons (corrente elétrica) na conexão. Enquanto a luz continuar a incidir na célula, o fluxo de elétrons mantém-se. A intensidade varia proporcionalmente conforme a intensidade da luz incidente, tornando-o inesgotável.

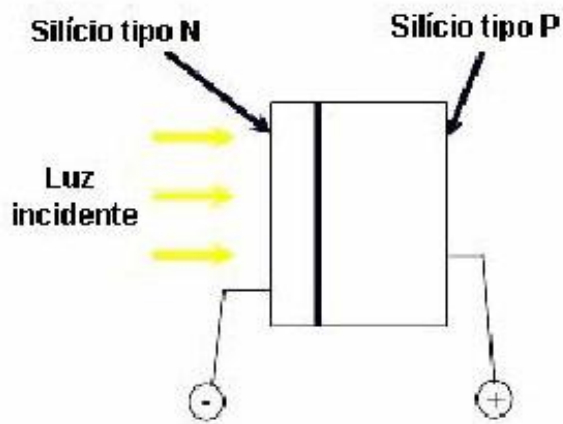


Figura 9: Esquema de célula solar.
Fonte: (ARMELIS, 2001).

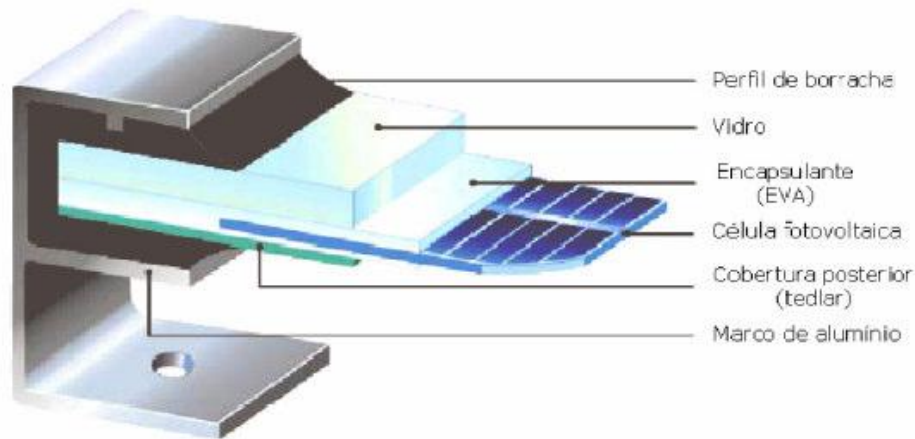


Figura 10: Corte de um módulo fotovoltaico.
Fonte: (PRIEB, 2002).

5.1. TIPOS DE CÉLULAS

Os painéis fotovoltaicos utilizados para pequenos sistemas são conjuntos de células fotovoltaicas, que na sua grande maioria, são fabricadas em silício e podem ser constituídas de cristais monocristalinos, policristalinos ou de silício amorfo (CRESESB, 2009).

- Silício monocristalino – a célula de silício monocristalino é historicamente a mais usada e comercializada como conversor direto de energia solar em eletricidade e a tecnologia para sua fabricação é um processo básico muito bem constituído. Entre as

células fotovoltaicas que utilizam o silício como material base, as monocristalinas são as que apresentam maiores eficiências.

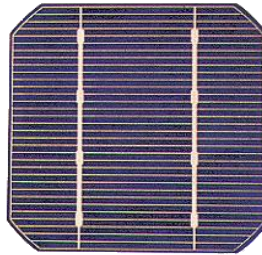


Figura 11 – Célula de silício monocristalino
Fonte: CRESESB, 2009

- Silício Policristalino – as células de silício policristalino são mais baratas que as de silício monocristalino por exigirem um processo de preparação das células menos rigoroso. A eficiência, no entanto, cai um pouco em comparação as células de silício monocristalino.

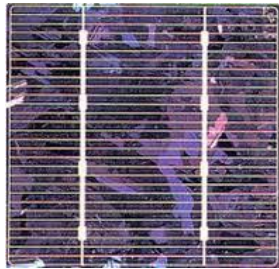


Figura 12 – Célula de silício policristalino
Fonte: CRESESB, 2009.

- Silício Amorfo – as células de silício policristalino são mais baratas que as de silício monocristalino por exigirem um processo de preparação das células menos rigoroso. A eficiência, no

entanto, cai um pouco em comparação as células de silício monocristalino.



Figura 13 – Célula de silício amorfo
Fonte: CRESESB, 2009.

5.2. BATERIAS

Segundo Rosa et. al. (2007), as baterias são empregadas para acumular energia que será utilizada nos equipamentos em horários sem a presença do sol ou quando a energia captada pelo painel e fornecida ao sistema for menor do que a necessária.

Cada bateria é composta por um conjunto de células eletroquímicas ligadas em série obtendo-se a tensão elétrica desejada. As baterias podem ser classificadas em duas categorias, primária e secundária.

As baterias primárias não podem ser recarregadas, ou seja, uma vez esgotados os reagentes que produzem energia elétrica, devem ser descartadas.

As secundárias podem ser recarregadas através da aplicação de uma corrente elétrica em seus terminais. Os sistemas fotovoltaicos utilizam acumuladores secundários, dentre as mais comuns, as chumbo-ácido e as níquel-cádmio.

BATERIA CHUMBO-ÁCIDO

Possue esta denominação, pois sua matéria ativa é o chumbo e seus compostos é uma solução aquosa de ácido sulfúrico. São formadas por elementos constituídos por duas placas de polaridades opostas, isoladas entre si e banhadas pela solução de ácido sulfúrico. Sua capacidade é medida pela quantidade de carga elétrica, expressa em Ampére - hora (Ah), isto é, o produto da corrente em Ampéres pelo tempo em horas corrigido para a temperatura de referência.

Um processo de descarga seguido de um processo de carga que restabeleça completamente a capacidade da bateria é denominado “ciclo”. A vida útil de uma bateria pode ser definida pelo número de ciclos que ela pode realizar.

A profundidade de descarga de uma bateria chumbo-ácido é um fator importante para sua escolha. Tal parâmetro define o percentual em relação a sua capacidade nominal que uma bateria pode fornecer sem que seja comprometida sua vida útil. As de baixa profundidade são empregadas principalmente em automóveis, já para os sistemas fotovoltaicos são indicadas as de alta profundidade de descarga.

Para aumentar a durabilidade destas baterias é preciso carregá-las adequadamente, conforme as recomendações dos fabricantes, antes que sua descarga alcance níveis superiores aos pré-estabelecidos para sua profundidade de descarga (ROSEMBACK, 2004).

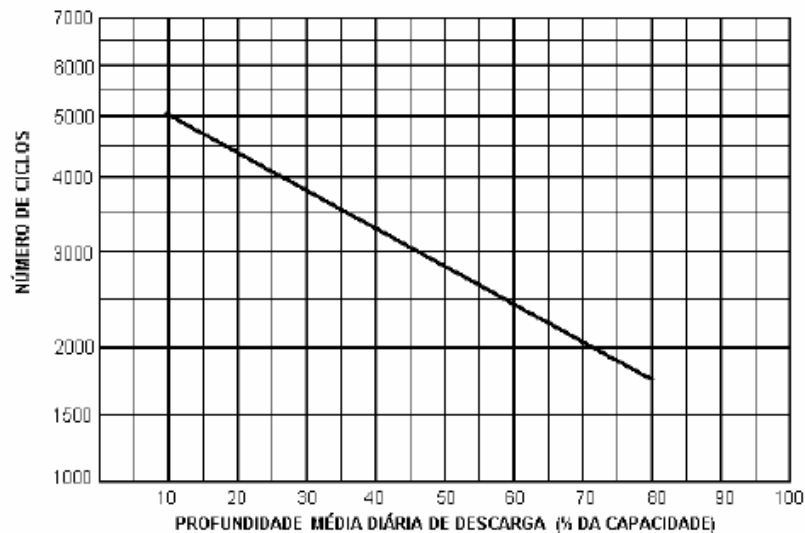


FIGURA 14 – GRÁFICA DA RELAÇÃO ENTRE A PROFUNDIDADE MÉDIA DE DESCARGA DURANTE UM CICLO E O NÚMERO DE CICLOS
 FONTE:(ROSEMBACK, 2004).

A figura 14 indica a relação entre a profundidade média diária de descarga durante um ciclo e o número de ciclos.

Deve-se evitar manter as baterias descarregadas por longos períodos de tempo, carregamentos parciais prolongados e a operação contínua em temperaturas acima de 45 graus Celsius (°C), pois diminuem sua vida útil. Nestas situações ocorre o processo de sulfatação com a formação de cristais de sulfato de chumbo nas placas dos elementos das baterias. Estes cristais formam uma barreira entre o eletrólito e o material ativo das placas.

As baterias chumbo-ácido são as mais utilizadas para armazenamento de energia em sistemas fotovoltaicos devido ao seu baixo custo e sua grande disponibilidade no mercado.

BATERIA NÍQUEL-CÁDMIO

A bateria da categoria secundária, utilizadas em sistemas de geração de energia elétrica fotovoltaica. Apresentam estrutura física semelhante à das baterias chumbo ácido, utilizando hidróxido de níquel

para as placas positivas, óxido de cádmio para as placas negativas e hidróxido de potássio para o eletrólito.

As baterias de níquel-cádmio, quando comparadas com as chumbo-ácido, são menos afetadas por sobrecargas e podem ser totalmente descarregadas, não estando sujeitas a sulfatação e ainda, seu carregamento não sofre influência da temperatura, porém, possuem um custo mais elevado que as chumbo-ácido.

5.3. CONTROLADORES DE CARGA

Os controladores de carga são componentes indispensáveis para o sistema fotovoltaico, pois permitem o controle do limite de carga que os módulos de baterias podem receber evitando desta forma a sua queima por sobrecarga e conseqüente aumento do ciclo de vida destes módulos.

São especificados pela tensão de trabalho dos módulos e da corrente. Sua capacidade deve superar a corrente total dos painéis a serem conectados. Caso a corrente supere o valor do controlador, deve ser considerada a possibilidade de divisão de instalação.

São compostos por um circuito de controle e outro de comutação. O circuito de controle monitora as grandezas do sistema, como tensão, corrente e temperatura na bateria, processando essas informações e gerando sinais de controle que são utilizados para comandar o circuito de comutação. O circuito de comutação é formado por chaves semicondutoras que controlam a tensão e/ou a corrente de carga ou de descarga das baterias.

As principais funções atribuídas aos controladores de carga das baterias são:

- providenciar o carregamento da bateria
- evitar sobrecarga na bateria
- bloquear corrente reversa entre a bateria e o painel
- prevenir descargas profundas (no caso de baterias chumbo-ácido)

Existem basicamente dois tipos de controladores, os que são conectados em paralelo e os que são conectados em série. Os controladores conectados em paralelo são constituídos de transistores que dissipam a potência gerada em excesso, quando a tensão nos polos da bateria atingir um determinado valor. A tensão de corte recomendada é de

2,35 V / elemento quando a temperatura for de 25°C. Neste caso, é conveniente instalar um diodo de bloqueio entre a bateria e o transistor para evitar dissipação da energia das baterias através dos transistores.

Os controladores conectados em série desconectam os painéis das baterias quando a tensão atinge um determinado valor pré-fixado. O interruptor utilizado pode ser um dispositivo eletromecânico, como um relé, ou estático, por exemplo, um transistor.

Para a proteção de sobrecarga, desconecta-se o gerador fotovoltaico da bateria quando a tensão em seus polos atinge cerca de 2,45 V / elemento, voltando a conectá-la quando a tensão cair para 2,2 V / elemento. Para a proteção de sobredescarga, desconecta-se a carga da bateria quando a tensão em seus polos atingir um valor determinado pela profundidade de descarga máxima estipulada para o subsistema de acumulação em questão. O controlador de carga volta a conectar a carga na bateria quando a tensão nos polos desta atingir cerca de 2,1 V / elemento. Estes valores de tensão podem variar segundo o tipo e o regime de trabalho dos acumuladores.

5.4. INVERSORES CC / CA

A tensão produzida pelos painéis fotovoltaicos durante o processo de conversão da energia solar em energia elétrica é do tipo contínua, fato que limita, em muitos casos, o consumo de energia e os usos finais, pois o mercado de equipamentos alimentados com este tipo de tensão é ainda limitado. Nos casos em que se deseja usar aparelhos em corrente alternada (ca), o sistema necessitará de possuir um inversor de corrente contínua em alternada. Os inversores para energia fotovoltaica apresentam a estrutura básica de acordo com a figura 15, onde o conversor cc eleva o nível cc (corrente contínua), que depois será convertida em ca através do chaveamento.

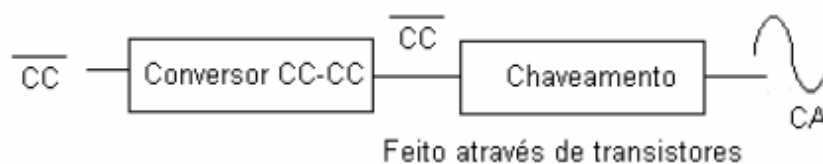


FIGURA 15 – CONFIGURAÇÃO BÁSICA DE UM INVERSOR
FONTE:(FILHO, 2003)

O inversor deverá garantir o fornecimento de energia elétrica com a qualidade necessária para que não se produza nenhuma degradação dos aparelhos ligados ao sistema ou prejudique o funcionamento.

O dimensionamento do inversor deve ser feito de acordo com a potência nominal, fator de demanda e característica de operação das diversas cargas.

Existem basicamente dois tipos de inversores atualmente no mercado: os que produzem onda senoidal modificada e os que produzem onda senoidal pura. A diferença entre eles é sutil, porém significativa quanto à forma de operar certas cargas. O inversor de onda senoidal modificada pode suprir de forma satisfatória a maioria dos equipamentos e eletrodomésticos de uma residência. Tem um custo menor, porém, pode apresentar problemas com alguns tipos de equipamentos de precisão como impressora a laser, relógios digitais e carregadores de bateria para equipamentos sem fio. O inversor de onda senoidal pura é projetado para fornecer energia de qualidade igual ou superior à fornecida pela concessionária.

5.5. CONVERSORES DE CORRENTE CONTÍNUA (CC-CC)

Diversos sistemas fotovoltaicos isolados, visando à redução de custos, dispensam a utilização de inversores. Nestes casos todos os equipamentos eletroeletrônicos devem ser alimentados somente com tensão contínua. Geralmente nestes sistemas a tensão gerada é de aproximadamente 12V, entretanto, principalmente no meio rural, diversos eletrodomésticos, tais como rádios, pequenos televisores, etc., funcionam com pilhas que utilizam tensões múltiplas de 1,5V.

Os conversores de corrente contínua (cc-cc), conhecidos também como conversores abaixadores executam a função de alimentação elétrica, dispensando a utilização destas pilhas. Estes conversores fornecem, a partir de uma tensão de entrada maior, valores de tensões inferiores.

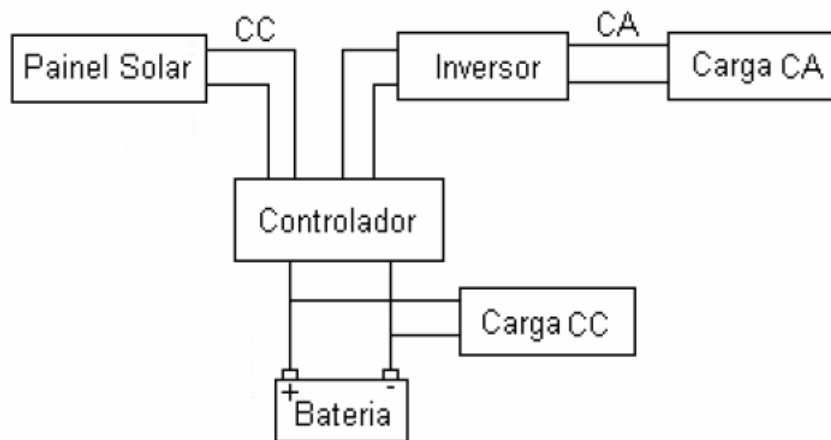
Os conversores cc-cc abaixadores se apresentam como uma das mais simples e confiáveis topologias, devido, basicamente, ao reduzido número de componentes.

5.6. TIPOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Os sistemas fotovoltaicos podem ser classificados em quatro categorias distintas: isolados, híbridos, conectados à rede e de bombeamento de água. O emprego de cada um dos sistemas depende diretamente da finalidade do uso final, da avaliação econômica, do nível de confiabilidade e de características específicas do projeto.

5.6.1. SISTEMAS ISOLADOS

Também conhecidos como autônomos, isto é, independentes da rede elétrica convencional, estes sistemas utilizam alguma forma de armazenamento de energia. Este armazenamento é obtido através de baterias, as quais são associadas a um dispositivo de controle de carga e de descarga.



A figura 16 representa a configuração básica de um sistema fotovoltaico isolado.

O painel solar, através dos módulos fotovoltaicos, carrega as baterias durante os períodos de insolação. Estas baterias fornecem energia elétrica ao sistema. As cargas cc podem ser alimentadas diretamente pela bateria. O inversor será necessário para a alimentação das cargas de corrente alternada (ca). O controlador de carga é responsável pela vida

útil da bateria, impedindo-a de carregar ou descarregar demasiadamente (ALVARENGA, 2001).

5.6.2. SISTEMAS HÍBRIDOS

Consistem na combinação de outros sistemas fotovoltaicos com outras fontes de energia que assegurem a carga das baterias na ausência de sol. As fontes de energia auxiliares podem ser geradores eólicos, diesel, gás, gasolina e outros combustíveis (figura 17).

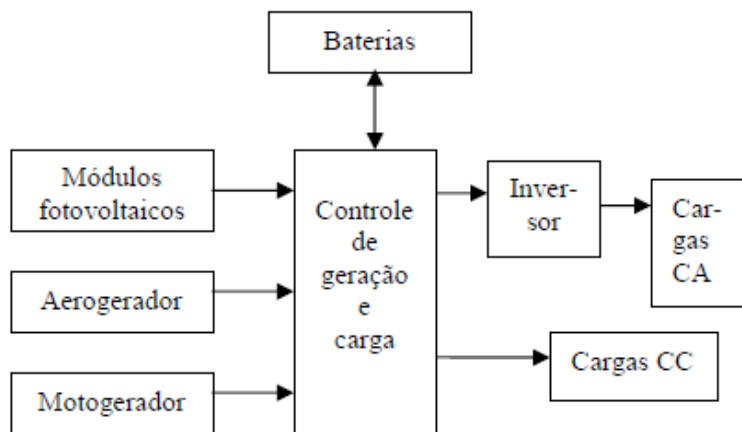


FIGURA 17 SISTEMA FOTOVOLTAICO HÍBRIDO PARA CARGAS DE CORRENTE ALTERNADA E CONTÍNUA
FONTE: (ALVARENGA, 2001)

Devem possuir sistemas de controle mais eficientes que os sistemas isolados de pequeno porte, pois são mais complexos devido à integração de várias formas de geração de energia elétrica.

São utilizados em sistemas de maior porte, com potência gerada na faixa de dezenas e centenas de quilowatt-hora-pico (kWp).

Devido a grande complexidade de arranjos e multiplicidade de opções, a forma de otimização do sistema torna-se um estudo particular para cada caso, exigindo ainda uma criteriosa análise econômica.

5.6.3.SISTEMAS CONECTADOS À REDE

Representam uma fonte complementar ao sistema elétrico de grande porte ao qual estão conectados. Normalmente não utilizam armazenamento de energia, pois toda a gerada é entregue diretamente à rede. Para a injeção de energia na rede são utilizados inversores especiais que devem satisfazer a severas exigências de qualidade e de segurança. A potência fotovoltaica instalada neste tipo de sistema é muito variável, podendo atingir centenas de kWp em centrais fotovoltaicas e dezenas de kWp para alimentação de cargas residenciais.

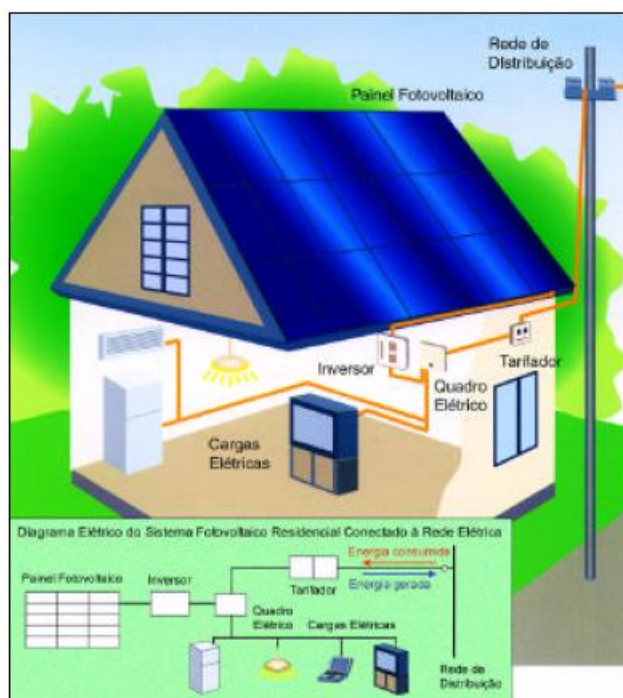


FIGURA 18 SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE ELÉTRICA
 FONTE: (CRESESB, 2006)

A figura 18 representa um sistema fotovoltaico residencial conectado à rede elétrica de distribuição, onde normalmente a energia é injetada na rede de baixa tensão e o medidor do usuário é bidirecional, efetuando um balanço entre a energia gerada e a consumida.

5.7. SISTEMAS DE BOMBEAMENTO D'ÁGUA

Este sistema representa uma variação de um sistema isolado com uma característica específica, dispensando o armazenamento de energia, pois a água é armazenada em reservatórios, através de bombeamento.

Um sistema de bombeamento fotovoltaico típico consiste basicamente de gerador fotovoltaico, sistema de acondicionamento de potência, conjunto motobomba e equipamentos complementares. A figura 19 representa as modalidades tecnológicas mais utilizadas nos sistemas de bombeamento fotovoltaico.

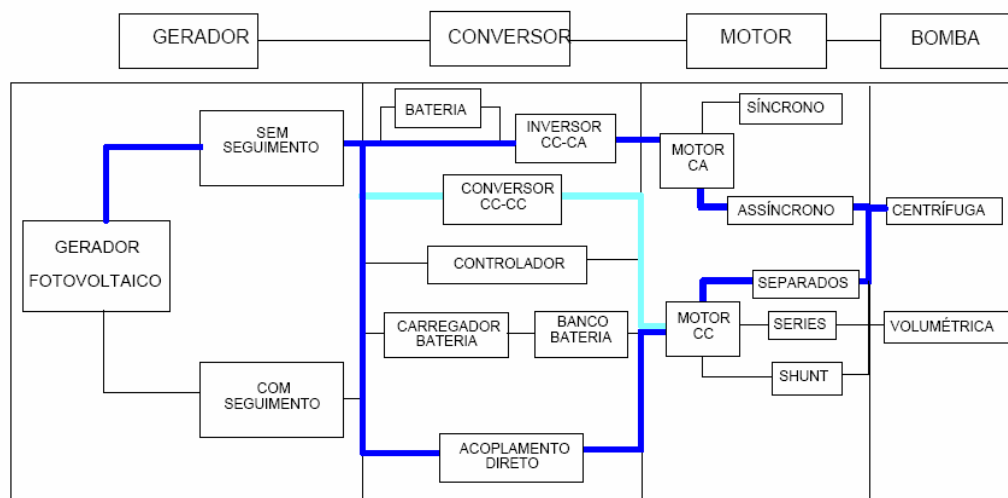


FIGURA 19 – MODALIDADES TECNOLÓGICAS MAIS UTILIZADAS NOS SISTEMAS DE BOMBEAMENTO FOTOVOLTAICO
FONTE: (FEDRIZZI, 1997)

A figura 20 ilustra algumas das possíveis configurações utilizadas neste tipo de sistema, sendo:

- Configuração A: grupo motobomba submersa
- Configuração B: bomba submersa e motor em superfície
- Configuração C: grupo motobomba flutuante
- Configuração D: grupo motobomba em superfície

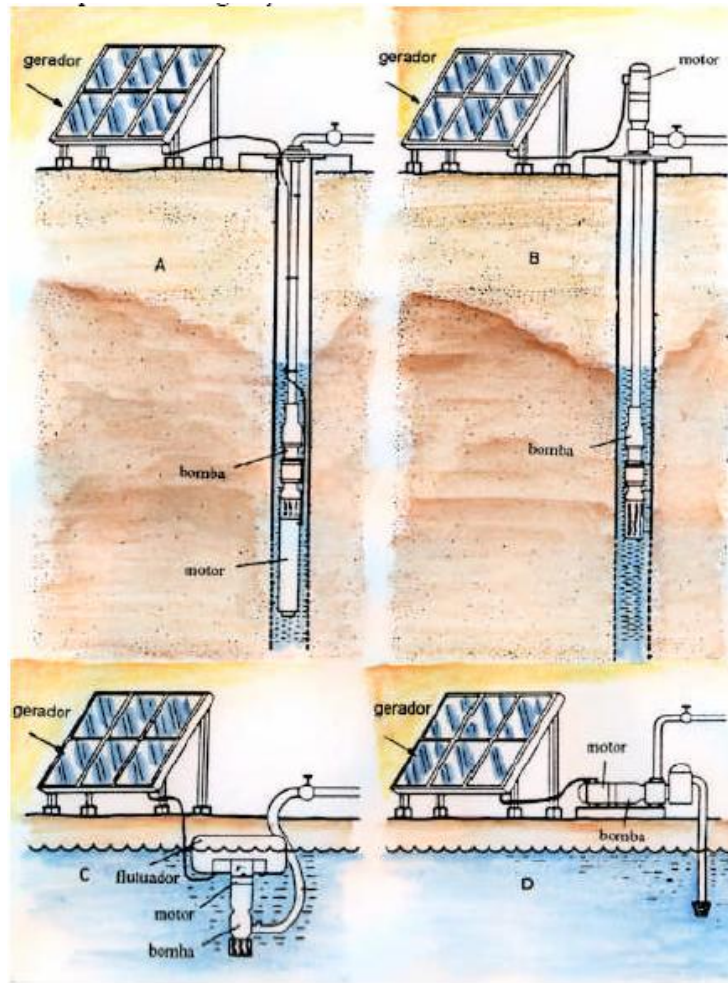


FIGURA 20 – EXEMPLOS DE CONFIGURAÇÃO DE SISTEMAS DE BOMBEAMENTO FOTOVOLTAICO
 FONTE: (FEDRIZZI, 1997)

5.8. CONFIGURAÇÕES DE SISTEMA FOTOVOLTAICO RESIDENCIAL RURAL

Em residências rurais isoladas (figura 21) geralmente são utilizados sistemas autônomos (isolados), de pequeno porte, voltados basicamente para o atendimento da demanda de iluminação.

São tipicamente instalações em corrente contínua, 12 V ou 24 V, constituídos por módulos fotovoltaicos, geralmente de 50 Watts – pico (Wp) de potência, uma bateria recarregável, três a cinco lâmpadas fluorescentes, uma tomada para a conexão de um rádio ou uma televisão em corrente contínua, um controlador de carga responsável pelo gerenciamento do fluxo de energia do sistema, além da estrutura de suporte e cabos condutores (OLIVEIRA, 2005).



FIGURA 21 – PROPRIEDADE RURAL COM SISTEMA FOTOVOLTAICO
FONTE: (SEINPE, 2006)

Os parâmetros básicos para o correto dimensionamento de um sistema fotovoltaico rural são:

- Quantidade de energia a ser produzida
- Quantidade de energia a ser consumida
- Autonomia do sistema em períodos prolongados sem insolação

A variável autonomia permite dimensionar o banco de baterias e as demais definem o dimensionamento dos módulos fotovoltaicos e conseqüentemente os demais equipamentos.

Segundo ALVARENGA (2001), os módulos fotovoltaicos deverão ser fixados em local livre de sombreamento entre duas horas após o nascer do sol e uma hora antes do pôr do Sol, em qualquer época do ano. Locais em que o crescimento da vegetação possa sombreá-los deverão ser evitados e as baterias devem ser instaladas á menor distância possível dos módulos.

Os módulos devem possuir inclinação em relação ao plano horizontal próxima à latitude do local de instalação, direcionados para o Norte geográfico, evitando ainda a sua instalação na posição horizontal, sem inclinação, para permitir o efeito de limpeza da chuva.

6. DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO ISOLADO

Segundo Alvarenga (2006), os sistemas fotovoltaicos trabalham com uma fonte limitada de energia, que é a energia solar incidente sobre os módulos. Essa fonte também é variável, pois sofre a influência de fatores meteorológicos de difícil previsão. Por outro lado, a energia elétrica é solicitada ao sistema de acordo com as necessidades de seus usuários. O dimensionamento do sistema deve procurar realizar uma compatibilização dessas duas condições dentro de determinados níveis de confiabilidade e custos.

6.1. PARÂMETROS BÁSICOS PARA DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Três definições são básicas para o projeto: o cálculo da quantidade de energia que chega ao sistema, a quantidade de energia que será consumida e a autonomia que se deseja para o sistema em casos de períodos prolongados sem insolação. Os dois primeiros parâmetros levam ao dimensionamento dos módulos fotovoltaicos e a autonomia permite

dimensionar o banco de baterias (ALVARENGA, 2006. FAE/DEN, 1992).

- **CÁLCULO DA RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE**

O objetivo básico é obter uma tabela com níveis médios de radiação solar, para cada mês do ano. Esses dados podem ser obtidos em mapas Solari métricos brasileiros e regionais (ALVARENGA, 2006).

Esses dados estão normalmente disponíveis em valores da quantidade média de energia solar que incide durante um dia em uma área de 1 m² situada em um plano horizontal na superfície da Terra. Esses valores são usualmente especificados em unidades de energia (kWh/m²/dia) ou unidades de potência (W/m²) (ALVARENGA, 2006).

- **DEFINIÇÃO DAS CARGAS**

O objetivo maior dessa etapa é definir o consumo médio diário de energia elétrica, ou seja, definir a curva de carga, tanto em termos diários quanto sazonais (ALVARENGA, 2006).

Com esses dados é possível visualizar as características previstas para o consumo de eletricidade, adequando-se o sistema para que o consumo e a produção sejam compatíveis ao longo do dia e ao longo do ano (ALVARENGA, 2006).

- **DEFINIÇÃO DA AUTONOMIA DO SISTEMA SEM INSOLAÇÃO**

Parâmetro importante que deve ser estabelecido é o tempo de autonomia que se quer para o sistema sem a presença da insolação, ou seja, por quanto tempo os usuários vão poder utilizar normalmente a iluminação e os aparelhos elétricos, sem que haja insolação suficiente para carregar as baterias (ALVARENGA, 2006).

6.2. ETAPAS PARA O DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO SEGUNDO ALVARENGA (2006).

- **LEVANTAMENTO DO CONSUMO – WH/DIA**

Item	Equipamento	Cômodo	Tensão (V)	Potência (W)		Uso (h/dia)	Consumo (Wh/dia)
				CC	CA		
1							
2							
3							
n							
CARGAS CC							
CARGAS CA							
PERDAS DO INVERSOR (Wh/dia)							
CONSUMO TOTAL (Wh/dia)							

Tabela 1 Levantamento do consumo

Fonte: Alvarenga, 2006.

O objetivo da tabela é determinar os dados básicos relativos às cargas que se que alimentares:

- EQUIPAMENTO - Enumerar os aparelhos elétricos que serão alimentados pelo sistema (TV, lâmpada, aparelho de som, DVD, antena parabólica, bomba d'água, refrigerador, etc.);
- CÔMODO - Anotar o cômodo ou local em que o aparelho será instalado (cozinha, quarto, banheiro, área externa, etc.);
- TENSÃO (V) - Definir a tensão elétrica do aparelho (12 VCC ou 220 VCA);
- POTÊNCIA (W) - Especificar a potência nominal do aparelho distinguindo ente CC e CA;
- USO (h/dia) - Determinar o número médio de horas diárias previstas para efetiva utilização do aparelho;
- CONSUMO (Wh/dia) - Calcular o consumo médio diário de energia elétrica do aparelho. Basta multiplicar a potência do aparelho pelo número de horas que ele ficará ligado por dia;
- CARGAS (CC e CA) - Calcular os totais separados de todas as cargas em corrente contínua e alternada.
- PERDAS DO INVERSOR (Wh/dia): Depende das características do inversor e da forma operativa. Considerar 20% do total dos consumos das cargas CA.
- CONSUMO TOTAL (Wh/dia): Somar os consumos das cargas em CC, CA e as perdas no inversor.

- **DIMENSIONAMENTO DO BANCO DE BATERIAS – AH**

Para calcular a capacidade do banco de baterias levando em conta o consumo e a confiabilidade requerida para o sistema. Esta capacidade

em Ah é calculada usando uma das duas expressões abaixo (considera-se a que resulta na maior capacidade):

$$CAP \text{ (Ah)} = \frac{CT \text{ (Wh/dia)} \times A \text{ (dias)}}{Vb \text{ (V)} \times Pfa \text{ (pu)}} \quad CAP \text{ (Ah)} = \frac{CT \text{ (Wh/dia)}}{Vb \text{ (V)} \times Pfn \text{ (pu/dia)}}$$

Onde:

- CT – Consumo Total (Wh/dia): retira-se da tabela 1 - LEVANTAMENTO DE CONSUMO.
- A – Autonomia (dias): Prever um período sem insolação de 3 a 5 dias de acordo com o clima local e a confiabilidade desejada. Normalmente em residências trabalha-se com 3 dias, em sistemas de telecomunicação com 5 dias.
- Vb - Tensão da bateria: 12 V (em sistemas muito grandes recomenda-se o uso de 24 V).
- Pfa - Profundidade da descarga no final da autonomia (pu): 0,6 (descargas mais profundas significam vida útil menor para a bateria, e menos profunda um investimento inicial maior). Quando usar baterias automotivas em vez de estacionárias (recomendada) considerar 0,5;
- Pfn - Profundidade da descarga no final de cada noite (pu/dia) – No máximo 0,20. Valores menores aumentam a vida útil da bateria: 0,15 (vida útil da bateria 5 anos) e 0,20 (vida útil da bateria 4 anos). Com baterias automotivas usar valores menores.

- **DIMENSIONAMENTO DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS – WP**

Para o dimensionamento dos painéis fotovoltaico deve-se usar a seguinte expressão:

$$PMPF (Wp) = \frac{CT (Wh/dia)}{HSP (h/dia) \times Fpp \times Fps}$$

Onde:

- PMPF - Potência mínima dos painéis fotovoltaicos (Wp): Potência mínima total do conjunto de módulos necessária para produzir a energia solicitada pela carga;
- CT – Consumo Total (Wh/dia): retira-se da tabela 1 - LEVANTAMENTO DE CONSUMO.
- HSP - Horas equivalentes de sol pleno (h/dia): Depende da latitude e nível de nebulosidade do local. Considera-se o nível médio do mês mais crítico no plano escolhido para instalar os módulos. O módulo deve ter uma inclinação que privilegie o pior mês. Considerar entre 3,5 e 5 h/dia de sol pleno para o pior mês de acordo com a localização escolhida. Para o sul do Brasil considera-se entre 3,5 e 4. Para o Nordeste entre 4 e 5.
- Fpp - Fator de perda de potência: Deve-se ao fato da tensão da bateria ser inferior à tensão de máxima potência do módulo a ser utilizado. Seu cálculo é realizado pela expressão: $Fpp = Vb/Vmp$.
- Fps - Fator de perdas e segurança: Para levar em conta a redução da geração do módulo devido à tolerância na fabricação,

temperatura de trabalho, poeira, degradação, sombras, desalinhamentos e também as perdas elétricas na bateria, no controlador, na instalação além de incertezas sobre os dados utilizados e o consumo previsto. Valor típico: 0,8.

- **DIMENSIONAMENTO DO CONTROLADOR DE CARGAS**
- **A**

Para o dimensionamento do controlador de carga verificar quais são as correntes máximas que ele deverá suportar tanto do lado dos módulos quanto do lado das cargas. Adota-se o maior valor encontrado (está incluída nas formulas um fator de 1,1 como uma folga de segurança).

- O cálculo da corrente do controlador de carga, do lado das cargas, pode ser obtido através da fórmula:

$$\text{Corrente do Controlador (A)} = \frac{\text{Potência das cargas (W)} \times 1,1}{\text{Tensão do banco de baterias (V)}}$$

- Para o cálculo da corrente do controlador de cargas, do lado dos módulos, usa-se a fórmula abaixo considerando a corrente de curto-circuito total do arranjo de séries de módulos utilizados:

$$\text{Corrente do Controlador (A)} = I_{cc} \text{ (A)} \times N^{\circ} \text{ de módulos em paralelo} \times 1,1$$

Onde:

- I_{cc} : Corrente de curto-circuito do painel fotovoltaico.

6.3. TARIFAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Segundo o Procel (2001), a compreensão da forma como é cobrada a energia elétrica e como são calculados os valores apresentados nas contas de luz é fundamental para a tomada de decisão em relação a projetos de eficiência energética.

Dadas as alternativas de enquadramento tarifário disponíveis para alguns consumidores, o conhecimento da formação da conta e dos hábitos de consumo permite escolher a forma de tarifação mais adequada e que resulta em menor despesa com a energia elétrica.

6.3.1. CLASSIFICAÇÃO DOS CONSUMIDORES

Os consumidores são classificados pelo nível de tensão em que são atendidos.

Os consumidores atendidos em baixa tensão, em geral em 127 ou 220 volts, como residências, lojas, agências bancárias, pequenas oficinas, edifícios residenciais e boa parte dos edifícios comerciais, são classificados no Grupo B.

O Grupo B é dividido em subgrupos, de acordo com a atividade do consumidor. Os consumidores residenciais, por exemplo, são classificados como B1, os rurais como B2, etc.,

Os consumidores atendidos em alta tensão, acima de 2300 volts, como indústrias, shopping centers e alguns edifícios comerciais, são classificados no Grupo A (PROCEL, 2001).

6.3.2 MODALIDADES TARIFÁRIAS E TARIFAÇÃO

De acordo com o Procel (2001), são duas as modalidades tarifárias:

- Os consumidores do Grupo B (baixa tensão) têm tarifa monômnia, isto é, são cobrados apenas pela energia que consomem.

- Os consumidores do Grupo A tem tarifa binômios, isto é, são cobrados tanto pela demanda quanto pela energia que consomem. Estes consumidores podem enquadrar-se em uma de três alternativas tarifárias:

- Tarifação Convencional,
- Tarifação horo-sazonal Verde, ou.
- Tarifação horo-sazonal Azul (compulsória para aqueles atendidos em tensão igual ou superior a 69 kV).

A tarifação horo-sazonal, tanto a verde como a azul, utilizam os valores de tarifação em relação a sazonalidade do ano referentes aos períodos seco e úmido. O período seco do ano corresponde ao período de leitura das faturas referentes aos meses de maio a novembro – 7 meses, e o período úmido corresponde ao período de leitura das faturas referentes aos meses de dezembro de um ano a abril do ano seguinte – 5 meses.

O período seco é o período no qual os reservatórios das hidroelétricas brasileiras estão mais vazios, e por isso as estruturas tarifárias horo-sazonais possuem tarifas maiores no período seco do que no úmido.

- **TARIFAÇÃO CONVENCIONAL:**

O enquadramento na tarifa Convencional exige um contrato específico com a concessionária no qual se pactua um único valor da demanda pretendida pelo consumidor (Demanda Contratada), independentemente da hora do dia (ponta ou fora de ponta) ou período do ano (seco ou úmido).

Os consumidores do Grupo A, sub-grupos A3a, A4 ou AS, podem ser enquadrados na tarifa Convencional quando a demanda contratada for inferior a 300 kW, desde que não tenham ocorrido, nos 11 meses anteriores, 3 (três) registros consecutivos ou 6 (seis) registros alternados de demanda superior a 300 kW.

A conta de energia elétrica desses consumidores é composta da soma de parcelas referentes ao consumo, demanda e ultrapassagem.

A parcela de consumo é calculada multiplicando-se o consumo medido pela Tarifa de Consumo:

$$P_{\text{consumo}} = \text{Tarifa de Consumo} \times \text{Consumo Medido}$$

A parcela de demanda é calculada multiplicando-se a Tarifa de Demanda pela Demanda Contratada ou pela demanda medida (a maior delas), caso esta não ultrapasse em 10% a Demanda Contratada:

$$P_{\text{demanda}} = \text{Tarifa de Demanda} \times \text{Demanda Contratada}$$

A parcela de ultrapassagem é cobrada apenas quando a demanda medida ultrapassa em mais de 10% a Demanda Contratada. É calculada multiplicando-se a Tarifa de Ultrapassagem pelo valor da demanda medida que supera a Demanda Contratada:

$$P_{\text{ultrapassagem}} = \text{Tarifa de Ultrapassagem} \times (\text{Demanda Medida} - \text{Demanda Contratada})$$

Na tarifação Convencional, a Tarifa de Ultrapassagem corresponde a três vezes a Tarifa de Demanda.

- **TARIFAÇÃO HORO-SAZONAL VERDE:**

O enquadramento na tarifa Verde dos consumidores do Grupo A, sub-grupos A3a, A4 e AS, é opcional.

Essa modalidade tarifária exige um contrato específico com a concessionária no qual se pactua a demanda pretendida pelo consumidor (Demanda Contratada), independentemente da hora do dia (ponta ou fora de ponta). Embora não seja explícita, a Resolução 456 permite que sejam contratados dois valores diferentes de demanda, um para o período seco e outro para o período úmido.

A conta de energia elétrica desses consumidores é composta da soma de parcelas referentes ao consumo (na ponta e fora dela), demanda e ultrapassagem. A parcela de consumo é calculada através da expressão abaixo, observando-se, nas tarifas, o período do ano:

$$P_{\text{consumo}} = \text{Tarifa de Consumo na ponta} \times \text{Consumo Medido na ponta} + \text{Tarifa de}$$

Consumo fora de ponta X Consumo Medido fora de ponta

No período seco (maio à novembro) as tarifas de consumo na ponta e fora de ponta são mais caras que no período úmido (dezembro do ano anterior à abril).

A parcela de demanda é calculada multiplicando-se a Tarifa de Demanda pela Demanda Contratada ou pela demanda medida (a maior delas), caso esta não ultrapasse em mais de 10% a Demanda Contratada:

$$P_{\text{demanda}} = \text{Tarifa de Demanda} \times \text{Demanda Contratada}$$

A tarifa de demanda é única, independente da hora do dia ou período do ano. A parcela de ultrapassagem é cobrada apenas quando a demanda medida ultrapassa em mais de 10% a Demanda Contratada. É calculada multiplicando-se a Tarifa de Ultrapassagem pelo valor da demanda medida que supera a Demanda Contratada:

$$P_{\text{ultrapassagem}} = \text{Tarifa de Ultrapassagem} \times (\text{Demanda Medida} - \text{Demanda Contratada})$$

- **TARIFAÇÃO HORO-SAZONAL AZUL:**

O enquadramento dos consumidores do Grupo A na tarifação horo-sazonal azul é obrigatório para os consumidores dos subgrupos A1, A2 ou A3.

Essa modalidade tarifária exige um contrato específico com a concessionária no qual se pactua tanto o valor da demanda pretendida pelo consumidor no horário de ponta (Demanda Contratada na Ponta)

quanto o valor pretendido nas horas fora de ponta (Demanda Contratada fora de Ponta). Embora não seja explícita, a Resolução 456 da ANEEL permite que sejam contratados valores diferentes para o período seco e para o período úmido.

A conta de energia elétrica desses consumidores é composta da soma de parcelas referentes ao consumo, demanda e ultrapassagem. Em todas as parcelas observa-se a diferenciação entre horas de ponta e horas fora de ponta.

A parcela de consumo é calculada através da expressão abaixo, observando-se, nas tarifas, o período do ano:

$$P_{\text{consumo}} = \text{Tarifa de Consumo na ponta} \times \text{Consumo Medido na ponta} + \text{Tarifa de Consumo fora de ponta} \times \text{Consumo Medido fora de ponta}$$

As tarifas de consumo na ponta e fora de ponta são diferenciadas por período do ano, sendo mais caras no período seco (maio à novembro).

A parcela de demanda é calculada somando-se o produto da Tarifa de Demanda na ponta pela Demanda Contratada na ponta (ou pela demanda medida na ponta, de acordo com as tolerâncias de ultrapassagem) ao produto da Tarifa de Demanda fora da ponta pela Demanda Contratada fora de ponta (ou pela demanda medida fora de ponta, de acordo com as tolerâncias de ultrapassagem):

$$P_{\text{demanda}} = \text{Tarifa de Demanda na ponta} \times \text{Demanda Contratada na ponta} + \text{Tarifa de Demanda fora de ponta} \times \text{Demanda Contratada fora de ponta}$$

As tarifas de demanda não são diferenciadas por período do ano.

A parcela de ultrapassagem é cobrada apenas quando a demanda medida ultrapassa a Demanda Contratada acima dos limites de tolerância. Esses limites são de 5% para os sub-grupos A1, A2 e A3 e de 10% para os demais sub-grupos.

É calculada multiplicando-se a Tarifa de Ultrapassagem pelo valor da demanda medida que supera a Demanda Contratada:

$$P_{\text{ultrapassagem}} = \text{Tarifa de Ultrapassagem na ponta X (Demanda Medida na ponta} - \text{Demanda Contratada na ponta)} + \text{Tarifa de Ultrapassagem fora de ponta X (Demanda Medida fora de ponta} - \text{Demanda Contratada fora de ponta)}$$

As tarifas de ultrapassagem são diferenciadas por horário, sendo mais caras nas horas de ponta.

7. CONCLUSÃO

A Terra recebe do Sol energia suficiente para o atual consumo mundial de eletricidade. Em função da sua localização geográfica o Brasil torna privilegiado em ter uma insolação média superior à das nações industrializadas.

Painel solar fotovoltaico, que transformam a luz solar em energia elétrica, é uma das tecnologias disponíveis que permitem gerar eletricidade de forma limpa, com baixos custos operacionais, facilidade e rapidez de instalação, entre muitas outras vantagens.

O suprimento energético a comunidades rurais isoladas e a áreas remotas ainda é um constante desafio, principalmente nos países subdesenvolvidos ou em desenvolvimento, devido às enormes

disparidades econômicas e sociais e, muitas vezes, às características geográficas desses países.

Além de gerar desenvolvimento, a eletrificação de áreas rurais isoladas proporcionam diversos benefícios sociais, econômicos e culturais.

A geração local de energia, através da tecnologia fotovoltaica, para o meio rural e para áreas isoladas é uma importante ferramenta, visto que além de ser uma solução vantajosa economicamente em relação aos custos de extensão da rede elétrica de distribuição, não proporciona impactos ambientais.

Para garantir a sustentabilidade dos projetos de implantação de sistemas fotovoltaicos em comunidades isoladas, faz-se necessária uma participação ativa do usuário na compreensão, capacitação e nas práticas de manutenções da tecnologia, no entanto, o sistema para atender uma família é bastante simples.

O grande potencial energético solar brasileiro associado ao avanço tecnológico, com a consequente redução dos custos, indicam boas perspectivas de ampliação da utilização de sistemas fotovoltaicos no país. Entretanto, tais perspectivas, bem como os projetos em desenvolvimento, dependem fundamentalmente de programas de incentivo que possibilitem esquemas de financiamento para populações carentes e que promovam uma forte disseminação da tecnologia. Visto que as áreas que necessitam desses tipos de atendimento sofrem, por consequência de grandes estiagens. Algumas regiões já têm sido atendidas com painéis na finalidade de alimentação bomba de água para alimentar cisternas, o que reforça as condições técnicas viáveis para o atendimento as famílias com atividades agrícolas.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARENGA, Carlos Alberto. **Energia Solar**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2006.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, disponível em [http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03_Energia_Solar\(3\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03_Energia_Solar(3).pdf)- acesso em 0 de maio/2013;

ARAUJO, Eliete de Pinho. **Sol**: a fonte inesgotável de energia. Nov. 2004. Disponível em: <
http://images.google.com.br/imgres?imgurl=http://www.vitruvius.com.br/arquitextos/arq000/imagens/268_06.jpg&imgrefurl=http://www.vitruvius.com.br/arquitextos/arq000/esp268.asp&usg=__LpU4BRTW8JG3QIG9Yez2_q5O9Q8=&h=224&w=300&sz=31&hl=PT-BR&start=3&tbid=ta02VN7EsIPubM:&tbnh=87&tbnw=116&prev=/images%3Fq%3Dsistema%2Bfotovoltaico%26gbv%3D2%26hl%3Dpt-BR>. Acesso em: 02 Mai 2013.

BOLIBAHIANO, Don. **Manual de energia fotovoltaica**. Jan 2004. Disponível em: <
<http://www.greenpro.de/po/fotovoltaico.pdf>>. Acesso em 12Out 2013.

CASTRO, Rui M. G. **Energias renováveis e produção descentralizada**. Nov. 2002. Disponível em:
<http://www.troquedeenergia.com/Produtos/LogosDocumentos/Introducao_a_Energia_Fotovoltaica.pdf>. Acesso em 20 Nov 2013.

CRESESB - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito, disponível em

<http://www.cresesb.cepel.br/Publicacoes/download/Direng.PDF> - acesso em 19 de maio/2013;

ELETROBRAS, **Atlas solarimétrico de Alagoas**. Agosto de 2008. Disponível em: <<http://www.desenvolvimentoeconomico.al.gov.br/minas-e-energia/atlas-solarimetrico-de-alagoas/Divulgacao%20Atlas%20de%20Solarimetrico%20de%20Alagoas%20elb.pdf>>. Acesso em: 12 set. 2013.

FERREIRA, M.J.G. **Inserção da Energia Solar Fotovoltaica no Brasil**, Tese de Mestrado, Programa de Pós Graduação em Energia, USP, São Paulo, 1993.

GODOY, Rodrigo Alessandro. **Eficiência dos Sistema de Iluminação em uma Linha de Produção industrial**: Um estudo de caso. Monografia apresentada ao Centro Universitário Central Paulista – UNICEP, São Carlos – SP , 2008.

GAZZANA, Roberto Basso. **Energia solar fotovoltaica em sistemas de telecomunicações**.

2007. Disponível em: <www.ceee.com.br/pportal/ceee/Component/Controller.aspx?CC=12568>. Acesso em: 15 Set. 2013.

GAMBOA, Roberto Marçal. **Eletricidade solar, estado atual e perspectivas**. Out 2001.

Disponível em: <<http://solar.fc.ul.pt/roberto2001.pdf>>. Acesso em: 06 Dez 2013.

Grupo FAE / DEN (UFPE), **Curso para Instaladores de Pequenos Sistemas Fotovoltaicos Autônomos**. Apostila, Recife, 1993

Grupo FAE / DEN (UFPE), **I Curso sobre Eletrificação Rural com Tecnologia Fotovoltaica**, Partes 1 e 2. Recife, 1992.

JUNGES, Leandro S. **Energia solar**: sistema pode reduzir em até 75% o consumo de eletricidade.

Jun 2001. Disponível em:
<<http://www1.an.com.br/2001/jun/04/0ger.htm>>. Acesso em: 25
Ags 2013.

MAMEDE FILHO, João. **Instalações Elétricas Industriais**. Rio de Janeiro - RJ. Editora Livros Técnicos e Científicos, 6ª Edição. 2001.

PROCEL. **Manual de tarifação de energia elétrica**. 1º ed. Disponível em:
<http://www.fiesp.com.br/publicacoes/pdf/energia/Manual_de_Tarifacao.pdf>. Acesso em: 28 set. 2013.

PRIEB, C. W. M. **Desenvolvimento de um Sistema de Ensaio de Módulos Fotovoltaicos**, Porto Alegre -UFRS, Dissertação de Mestrado, 2002.

ROSA, Carlos Adriano et. al. **Solar**. Itajubá, MG. FAPEPE, 2007.

RODRIGO, Sérgio Gasques. Energia solar. **Rev. eletrônica de ciências**. n. 8. Jun 2002.
Disponível em:
<http://www.cdcc.usp.br/ciencia/artigos/art_08/energiasolar.html>. Acesso em 10 Jul 2013.

SOLARTERRA. **Energia solar fotovoltaica: guia prático**. 2008.
Disponível em:
<<http://www.solarterra.com.br/pdf/curso-energia-solar-fotovoltaica.pdf>>. Acesso em 15 Mar 20013.

SOLENERG. **Cerca elétrica solar**. 2008. Disponível em:
<<http://www.solenerg.com.br>>. Acesso em 25 Jun 2013.

VIEIRA, Rafael. **Economia e fontes alternativas de energia**. 2008. Disponível em:
<http://www.unigranrio.br/unidades_acad/ein/recursos/download/Apresentaxo_Rafael_Vieira.ppt#1>. Acesso em 12 Jul 2013.

