

UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO *LATO SENSU*  
FONTES ALTERNATIVAS DE ENERGIA - FAE

**SISTEMA FOTOVOLTAICO COMO FONTE DE ENERGIA PARA  
CERCAS ELÉTRICAS**

IVAN CRUZICK DE SOUZA MAGALDI

LAVRAS  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2009

IVAN CRUZICK DE SOUZA MAGALDI

**SISTEMA FOTOVOLTAICO COMO FONTE DE ENERGIA PARA CERCAS  
ELÉTRICAS**

Trabalho de conclusão apresentado ao departamento de Engenharia da 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 especialização.

Orientador: Prof. Carlos Alberto Alvarenga.

LAVRAS  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2009

IVAN CRUZICK DE SOUZA MAGALDI

**SISTEMA FOTOVOLTAICO COMO FONTE DE ENERGIA PARA CERCAS  
ELÉTRICAS**

Trabalho de conclusão apresentado ao departamento de Engenharia da 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 especialização.

APROVADA em \_\_\_\_, de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_.

Prof. \_\_\_\_\_

Prof. \_\_\_\_\_

Prof. \_\_\_\_\_

UFLA

Professor Carlos Alberto Alvarenga

LAVRAS  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2009

A minha filha Valentina, que é a pessoa  
mais importante da minha vida.

## **AGRADECIMENTOS**

A minha avó Niana e a minha madrinha Fernanda pelo apoio e a minha esposa Aline e a minha mãe Eliana que são as pessoas que mais acreditam no meu potencial.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>i</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>ii</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>09</b>
<b>2. OBJETIVO</b> .....	<b>11</b>
<b>3. ENERGIA SOLAR</b> .....	<b>12</b>
<b>4. HISTÓRICO DA CONVERSÃO FOTOVOLTAICA</b> .....	<b>16</b>
<b>5. FUNCIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO</b> .....	<b>19</b>
5.1 Tipos de células .....	23
5.2 Vantagens .....	25
5.2.1 Aplicações .....	27
5.3 Eletrificação de cercas elétricas .....	28
5.3.1 Componentes .....	30
<b>6. APLICAÇÃO DAS CERCAS ELÉTRICAS</b> .....	<b>31</b>
<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>33</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>34</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 1 - Componentes da radiação solar ao nível do solo -----</b>	<b>13</b>
<b>FIGURA 2 - Representação de ângulos nas técnicas solares -----</b>	<b>14</b>
<b>FIGURA 3 - Média anual de insolação no Brasil -----</b>	<b>15</b>
<b>FIGURA 4 - Crescimento da produção de energia fotovoltaica -----</b>	<b>18</b>
<b>FIGURA 5 - Sistema do painel fotovoltaico -----</b>	<b>19</b>
<b>FIGURA 6 - esquema de célula solar -----</b>	<b>21</b>
<b>FIGURA 7 - Corte de um módulo fotovoltaico -----</b>	<b>21</b>
<b>FIGURA 8 - Célula fotovoltaica -----</b>	<b>22</b>
<b>FIGURA 9 - Placa de energia fotovoltaica -----</b>	<b>22</b>
<b>FIGURA 10 - Placa de silício monocristalino -----</b>	<b>23</b>
<b>FIGURA 11 - Placa de silício policristalino -----</b>	<b>24</b>
<b>FIGURA 12 – Esquema do sistema fotovoltaico com diversas finalidades -----</b>	<b>28</b>
<b>FIGURA 13 – Esquema do sistema fotovoltaico para eletrificação de cercas -----</b>	<b>29</b>
<b>FIGURA 14 – Índices de exclusão elétrica -----</b>	<b>30</b>

## **RESUMO**

A energia é a base do desenvolvimento das civilizações. 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 renovável, não ter a necessidade de insumos ou controle humano e possui uma alta durabilidade com um sistema de baixa manutenção. Nos casos de propriedades rurais e áreas isoladas é uma importante ferramenta. Neste trabalho é apontado o sistema fotovoltaico como fonte alternativa de energia para eletrificação de cercas do ponto de vista econômico, funcionalidade e preservação da natureza.

**PALAVRAS-CHAVES:** placa solar, energia alternativa, cerca elétrica, sistema fotovoltaico.



## 1. INTRODUÇÃO

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 idéia 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).

Segundo Araújo (2004) existem três tecnologias empregadas para a captura da energia solar, ou seja, a energia solar térmica, usando energia solar para aquecer líquidos; o efeito fotovoltaico gerando eletricidade pela luz solar; energia solar passiva com o aquecimento de ambientes pelo design consciente de suas construções.

Conforme Berto (1997), a energia fotovoltaica não utiliza o calor para produzir eletricidade como os sistemas para aquecimento de água. A luz solar incide sobre os semicondutores que gera um fluxo de elétrons, dando lugar a uma diferença de potencial. Coloca-se então em contato cada uma das faces do semicondutor, podendo assim extrair corrente elétrica, armazenado-a em baterias e alimentando o sistema elétrico.

Partindo dessas considerações, o referido estudo aponta o sistema fotovoltaico como uma alternativa para a eletrificação de cercas, visto que para tal função é necessária a existência de rede elétrica, muitas vezes inexistente em áreas rurais

Após o levantamento da literatura e da bibliografia disponível, os artigos obtidos foram submetidos a releituras, com a finalidade de realizar uma análise interpretativa direcionada pelos objetivos estabelecidos de identificar o funcionamento, vantagens e aplicações do sistema fotovoltaico. Com isso, o estudo foi dividido em parte histórica do sistema fotovoltaico, levantando toda a história de criação, elaboração e evolução até os dias de hoje; funcionamento do sistema, indicando seus elementos essenciais; vantagens e aplicações do sistema propriamente dito, apontando a prática e os benefícios alcançados. Assim o trabalho é do tipo não-experimental, com pesquisa descritivo-exploratória.

## **2. OBJETIVO**

O objetivo do referido estudo, é apresentar a importância da utilização do sistema fotovoltaico como fonte auto-sustentável e ecologicamente correta de eletrificação de cercas.

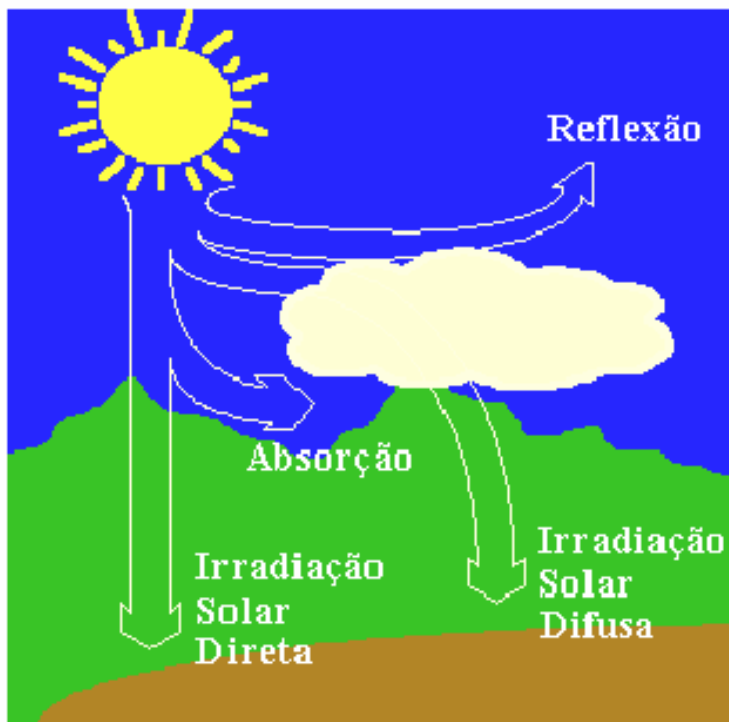
### 3. A ENERGIA SOLAR

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  $10^{14}$  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”.

Vivemos rotineiramente em contato com a fonte mais expressiva de energia de nosso planeta, e quase nunca consideramos sua importância como solução para nossos problemas de suprimento energético, sem poluir nem ameaçar nosso meio sócio-ambiental. A energia solar é a fonte alternativa ideal, especialmente por algumas características básicas: é abundante, permanente, renovável a cada dia, não polui nem prejudica o ecossistema e é gratuita (RODRIGO, 2002, p. 03).

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)

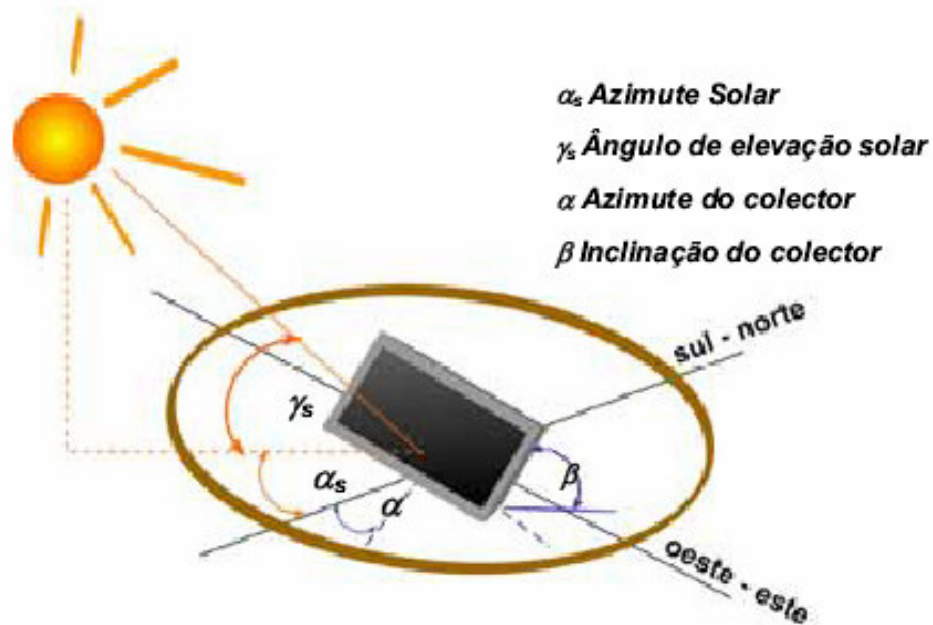
A atmosfera reduz a radiação solar através da reflexão, absorção (ozônio, vapor de água, oxigênio, dióxido de carbono) e dispersão (partículas de pó, poluição). O nível de irradiação na Terra atinge um total aproximado de 1.000 W/m<sup>2</sup> ao meio-dia, em boas condições do clima, independente da 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/m<sup>2</sup> (BOLIBAHIANO, 2004).

Segundo Bolibahiano:

“Quando colocamos que a quantidade de energia solar que atinge a superfície da Terra corresponde, aproximadamente, a dez mil vezes a procura global de energia, teríamos de utilizar apenas 0,01% desta energia para satisfazer a procura energética total da humanidade” (BOLIBAHIANO, 2004, p. 250).

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  $\alpha = 0^\circ$ . O símbolo negativo é atribuído aos ângulos orientados a Leste (Leste:  $\alpha = -90^\circ$ ) e o símbolo positivo aos ângulos orientados a Oeste (Oeste:  $\alpha = 90^\circ$ ) (ANTUNES, 1999).



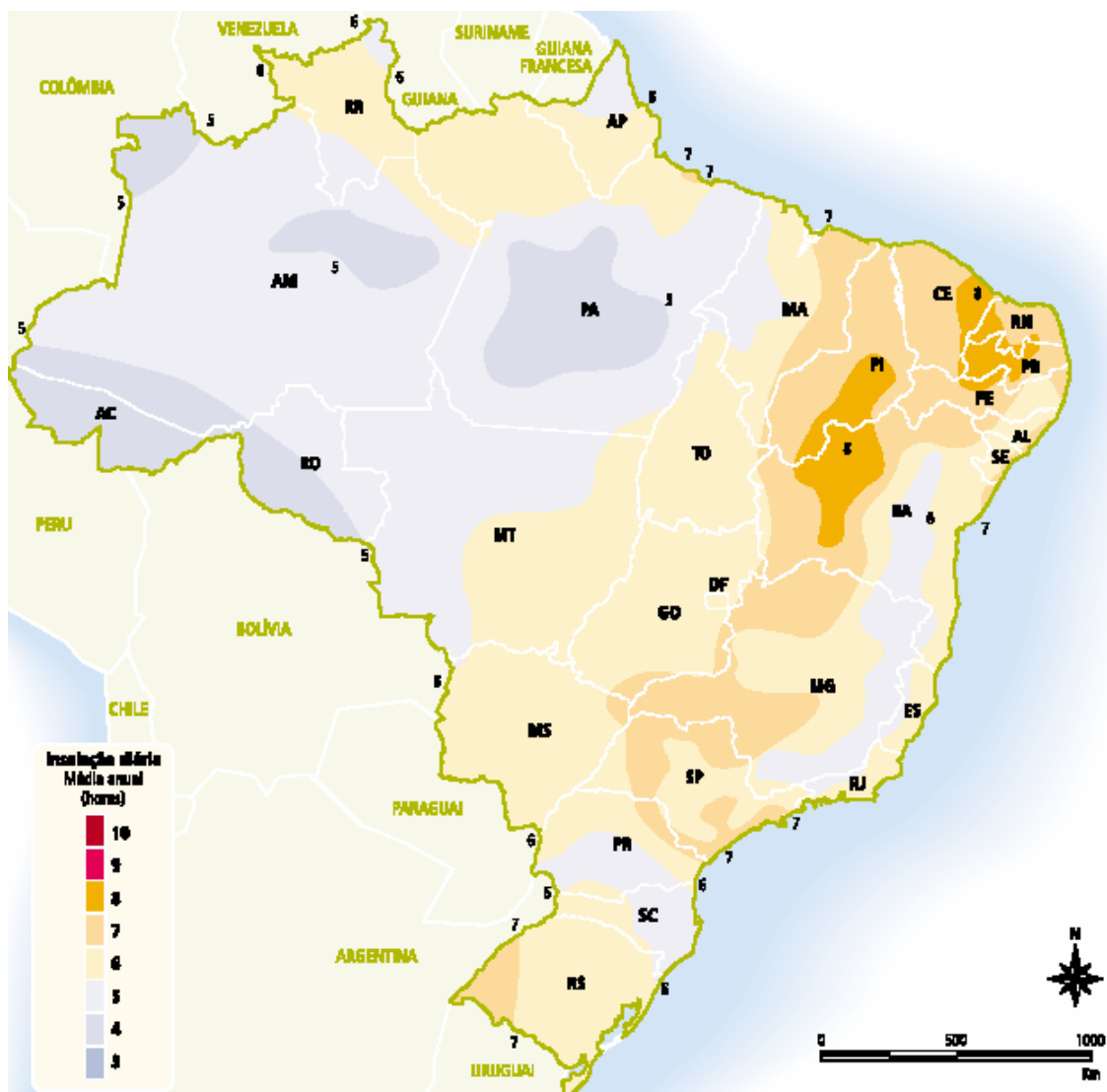
**Figura 2:** Representação de ângulos nas técnicas solares  
**Fonte:** (BOLIBAHIANO, 2004)

Segundo Bolibahiano (2004), se um sistema seguir a posição do Sol, a energia produzida será maior. Nos dias de maior radiação, em que existe uma grande proporção de radiação direta, podem-se obter ganhos relativamente elevados de radiação através deste movimento. Em dias sem nuvens, estes ganhos podem atingir 50 % no Verão e 300 % no Inverno, quando comparados com os ganhos de sistemas fotovoltaicos com uma área de captação horizontal. Na figura 3 podemos ver a média anual de insolação no Brasil.

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.

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

possui quase nada de 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 fotovoltaicos.



**Figura 3:** Média anual de insolação diária no Brasil  
**Fonte:** (BOLIBAHIANO, 2004)

#### 4. HISTÓRICO 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 n-p 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 num 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 1<sup>as</sup> células de Silício amorfo (Carlson e Wronski da RCA). No período



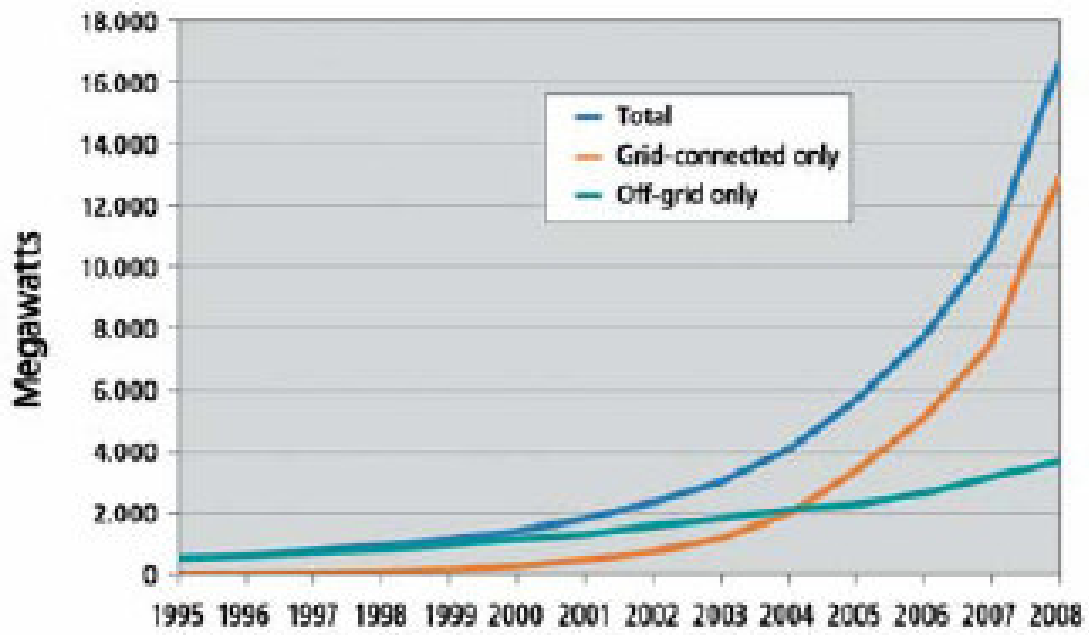
compreendido entre 1981 e 1983 são instalados sistemas de demonstração, vocacionados para aplicações de eletrificação de edifícios, produção de água potável, etc. Em 1982, a produção mundial fotovoltaica ultrapassou 9,3 MW e, desde então não tem parado de crescer.

Em suma, Inicialmente o desenvolvimento da tecnologia apoiou-se na busca, por 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 períodos de permanência no espaço. 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 da energia solar, 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, 70, impulsionado pela crise do petróleo, porém, falta ainda uma política tornando esse potencial acessível à população.

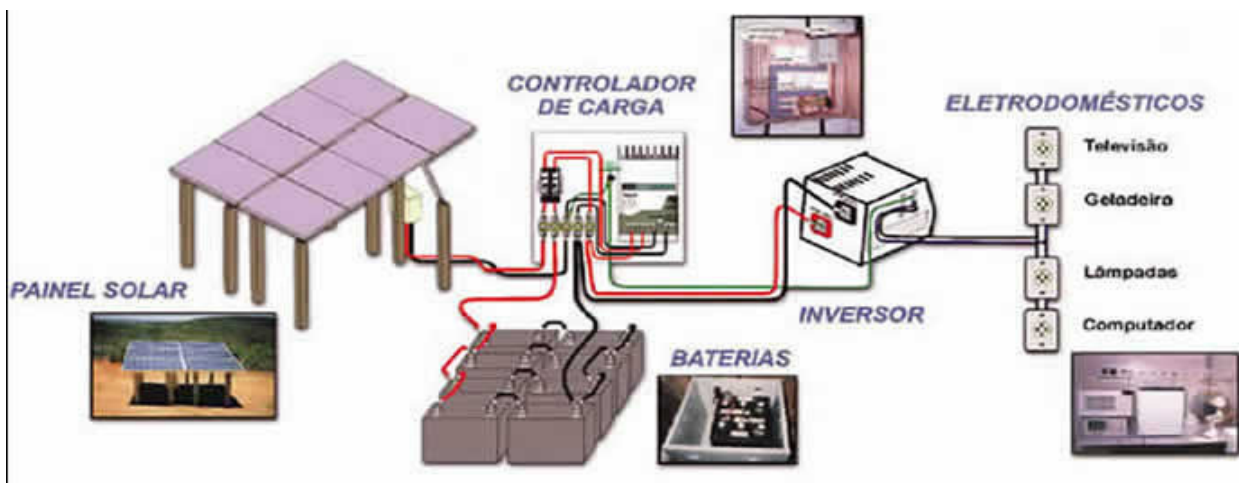
A figura 4 mostra o crescimento no Brasil da produção de módulos fotovoltaicos no período de 1995 a 2008.



**Figura 4:** Crescimento da produção de energia fotovoltaica  
**Fonte:** (BURRETT 2009 et al)

## 5. FUNCIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Segundo Vieira (2008), o sistema fotovoltaico ilustrado na figura 5, 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 5:** Sistema do painel fotovoltaico

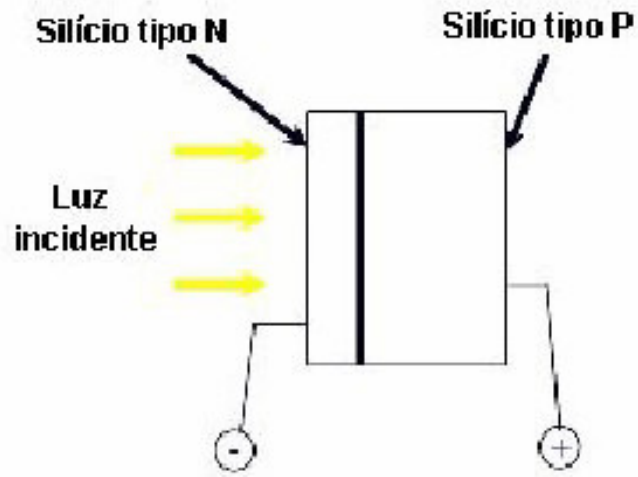
**Fonte:** (VIEIRA, 2008, p. 03)

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 a redução do custo de energia elétrica, o sistema fotovoltaico é ideal para localidades onde não exista energia elétrica ou rede disponível (CASTRO, 2002).

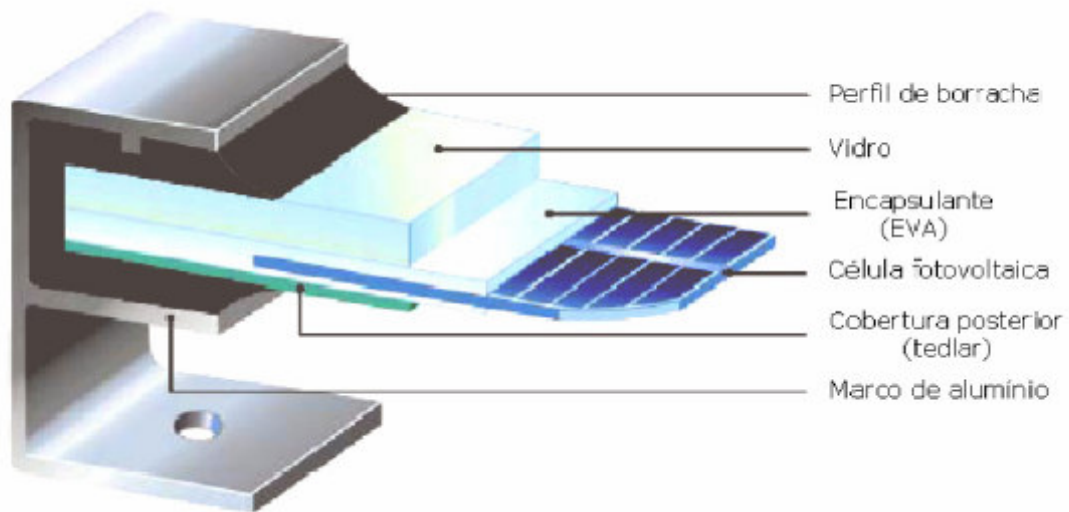
Segundo Amerlis (2001), nas placas são usadas células de silício, pois são semicondutoras de eletricidade, e são constituídas de um material com características intermediárias entre um condutor e um isolante.

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 material 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).

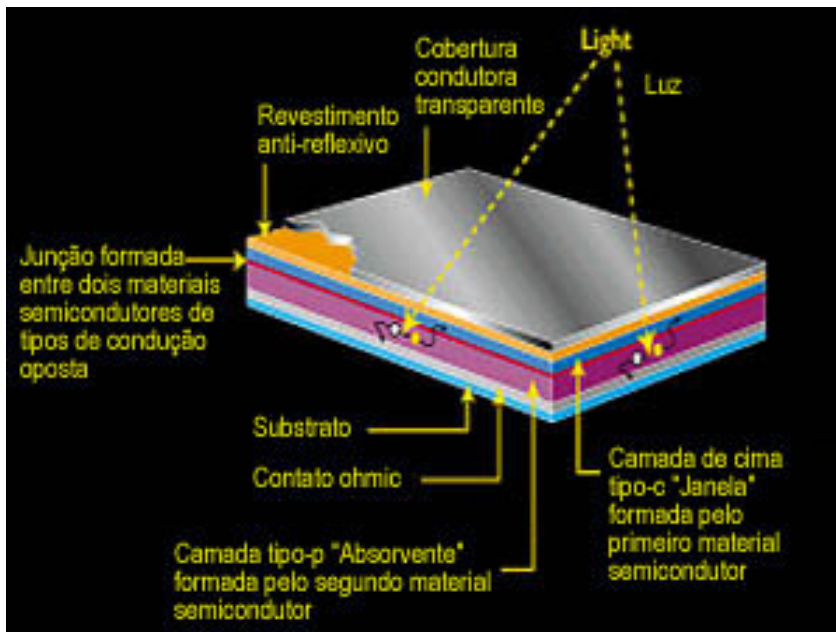
Conforme Amerlis, (2001) cada célula solar é composta de uma camada fina de material tipo N e outra com maior espessura de material tipo P, como pode se visto na figura 8. Separadamente, ambas as capas são eletricamente neutras. Mas ao serem unidas, exatamente na união P-N, gera-se um campo elétrico 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 da corrente gerada vai variar proporcionalmente conforme a intensidade da luz incidente, tornando-o inesgotável.



**Figura 6:** Esquema de célula solar.  
**Fonte:** (ARMELIS, 2001).



**Figura 7:** Corte de um módulo fotovoltaico  
**Fonte:** (PRIEB, 2002)



**Figura 8:** Célula fotovoltaica

**Fonte:** Departamento de engenharia elétrica UFPR apud Araújo (2004).



**Figura 9:** Placa de energia fotovoltaica

**Fonte:** GESOAN – Gestora sola Andaluza apud Araújo (2004) e SOLENERG (2008)

## 5.1 Tipos de células

De acordo com Moore (1996), existem diferentes tipos de células, explicitadas a seguir:

- Silício Monocristalino: este tipo de célula é a de maior aplicação como conversor direto de energia solar em eletricidade, (fig. 13). A fabricação da célula de silício começa com a extração do cristal de dióxido de silício. O mineral passa por um processo de desoxidação e purificação em fornos específicos. NO final do processo, já novamente solidificado, o material já atinge um grau de pureza da ordem de 99,99 a 99,999999%.

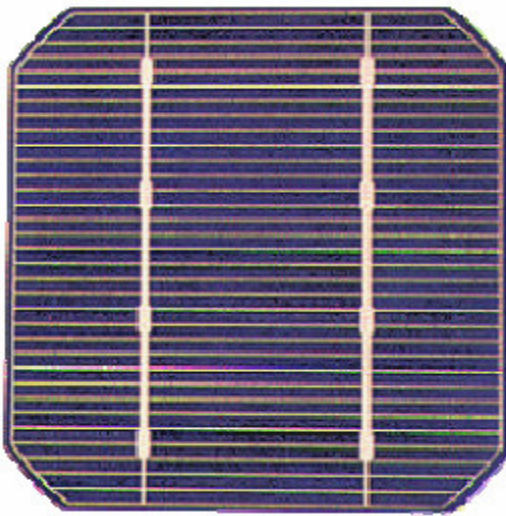


Figura 10: Placa de silício monocristalino  
Fonte: Moore (1996)

- Silício Policristalino: estes tipos de célula são muitas vezes a opção mais interessante do ponto de vista econômico por serem bem mais baratas que as de silício monocristalino (fig. 14). Esta vantagem se deve a uma menor exigência no processo de preparação das pastilhas.

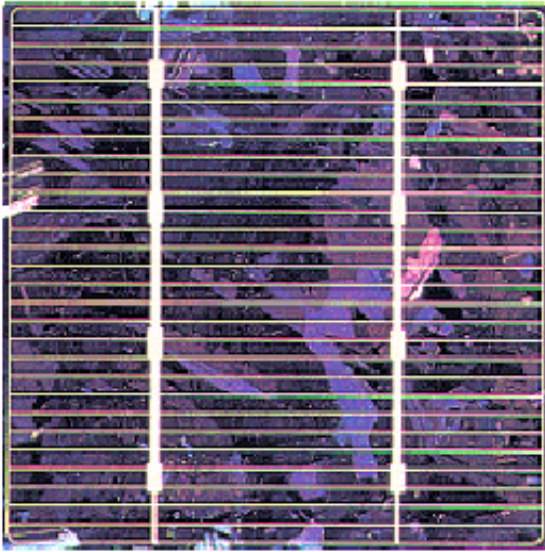


Figura 11: Placa de silício policristalino  
Fonte: Moore (1996)

- Silício amorfo: A célula de silício amorfo é relativamente diferente das demais estruturas cristalinas porque o mineral não apresenta estrutura cristalina definida e ordenada como no caso das células de silício mono ou policristalino; no silício amorfo predomina o alto grau de desordem na estrutura dos átomos. Mesmo assim, a utilização de silício amorfo para uso em fotocélulas tem mostrado grandes vantagens tanto nas propriedades elétricas quanto no processo de fabricação. O silício amorfo tem como característica absorver a radiação solar na faixa do visível e assim, pode ser fabricado mediante deposição de diversos tipos de substratos. Desta forma, o silício amorfo vem se mostrando uma opção muito interessante para sistemas fotovoltaicos de baixo custo. As desvantagens ficam por conta da baixa eficiência de conversão comparada às células mono e policristalinas de silício; em segundo, um processo natural de deterioração prejudica as células no início de sua operação e isso contribui para reduzir sua eficiência ao longo da vida útil. Por outro lado, o silício amorfo apresenta algumas vantagens que compensam as deficiências acima citadas, tais como um processo de fabricação relativamente simples e barato e a possibilidade de fabricação de células com grandes áreas e baixo consumo de energia na produção.



De acordo com Berto (1997), a energia necessária para alimentar geladeira, freezer e chuveiro, em termos de eletricidade solar, é grande e o custo das placas do sistema fotovoltaico ainda é elevado para essas aplicações. Para uma solução mais econômica, o ideal é usar geladeira e freezer a gás. No caso do chuveiro, o melhor é usar coletores solares planos de aquecimento de água. Já para a televisão, lâmpadas fluorescentes, telefone rural celular, bombeamento d'água e cerca elétrica, a eletricidade solar fotovoltaica é a ideal.

A energia solar acumulada nas baterias pode ser usada a qualquer momento, evitando-se apenas descarregar as baterias em mais de 50% de sua capacidade normal, para que não ocorra o comprometimento de sua vida útil. Para isso, deve-se utilizar um controlador de carga. O controlador de carga é um pequeno aparelho eletrônico ligado à bateria que visa protegê-la de sobrecarga, por excesso de corrente do Sol, quando ela estiver totalmente carregada, e desliga o consumo quando o nível dessa bateria atingir o ponto que possa compromê-la. A bateria é para o sistema elétrico como a caixa d'água é para o sistema hidráulico, ou seja, quanto maior melhor. Em geral, usa-se uma bateria automotiva de 150 A.h (Ampères-hora). O tamanho do módulo de energia depende do tempo de uso dos aparelhos e do seu consumo de energia medido em ampères (BERTO, 1997).

Segundo Gamboa (2001), os sistemas fotovoltaicos são capazes de transferir aproximadamente um kilowatt de energia solar que vai incidir em um metro quadrado de painel em 200 w de eletricidade podendo os sistemas solares produzir 8500 kWh anuais de eletricidade.

## 5.2. Vantagens

Vieira (2008) destaca algumas vantagens do sistema de energia solar fotovoltaica, e entre elas estão o fato de não consumir combustível; a não contaminação ambiental; ser silencioso; possuir vida útil superior a 20 anos; exigir pouca manutenção por não ter peças móveis; permitir o aumento da potencia instalada por meio da incorporação de módulos adicionais.

Junges (2001) aponta ainda o fato de ser 100% natural, ecológica, gratuita, e inesgotável; a geração de energia logo após a instalação do sistema; o fato de poder ser aplicada conforme sua

necessidade de energia (um ou diversos módulos); gerar energia mesmo em dias nublados ou chuvosos e gerar energia em 12, 24 ou 48 volts (corrente contínua).

Sobre a manutenção dos módulos fotovoltaicos, Amerlis (2001) confirma o fato de se exigir muito pouca e cita especificadamente: a parte frontal dos módulos constituída por um vidro temperado com 3 a 3,5 mm de espessura torna resistentes até ao granizo, permitindo também qualquer tipo de variação climática e são autolimpantes devido a própria inclinação que o módulo deve ter fazendo com que a sujeira escorra. Porém nos lugares de fácil acesso é ideal que se limpe a parte frontal dos módulos com água misturada com detergente. Deve-se também verificar periodicamente se o ângulo de inclinação obedece ao especificado. Deve-se confirmar que não haja projeção de sombras de objetos próximos em nenhum setor dos módulos entre as 9:00 e as 17:00 horas, pelo menos. Deve-se verificar periodicamente se as ligações elétricas estão bem ajustadas e sem sinais de oxidação. Já a manutenção das baterias deve ser periódica, observando o nível de água em cada um dos compartimentos de todas as baterias. Pois, caso o nível esteja baixo, deve-se completar com água desmineralizada. Deve-se também inspecionar os terminais a fim de verificar se estão bem ajustados e sem corrosão e observar se existe sulfatação, pois isto poderá indicar gás na bateria e, portanto uma falha do sistema de regulação.

Sarruf (2006) ressalta algumas vantagens importantes da eletrificação por sistema fotovoltaico:

- Autonomia: onde o consumidor passa a ser o produtor da energia, sendo o dono e responsável por todo o processo. Não depende de conexão a concessionárias de energia elétrica nem de suprimento de combustíveis fósseis.
- Fonte energética gratuita e disponível: já que a fonte energética solar é disponível em todas as partes fica minimizado o problema do suprimento de eletricidade em locais remotos, distantes de cidades e de redes elétricas, com estradas ruins e com dificuldades de obtenção de combustíveis fósseis.
- Geração distribuída: no lugar de se gerar a eletricidade em grandes centrais e distribuí-la, gera-se no próprio local de uso, reduzindo-se os impactos ambientais das grandes instalações de geração e de transmissão.
- Confiabilidade: devido ao fato de não terem partes móveis, serem de baixo nível de complexidade, não estarem sujeitos praticamente aos efeitos dos ventos fortes e das descargas atmosféricas, apresentam alto índice de disponibilidade.

- Energia elétrica sem interferências externas: as redes elétricas convencionais podem trazer para dentro da instalação do consumidor distúrbios elétricos que podem ocasionar danos a equipamentos e seres vivos. E isso não ocorre no sistema fotovoltaico de energização.
- Modularidade: devido as células fotovoltaicas estarem dispostas em módulos, os sistemas podem ser expandidos na medida das necessidades. Isto possibilita que os sistemas sejam projetados mais adequadamente para as necessidades atuais, reduzindo-se o investimento inicial.

Conforme Gamboa (2001) a principal desvantagem do sistema fotovoltaico é o custo, limitando a produção de eletricidade em larga escala. O tempo de retorno da energia, ou seja, o tempo necessário para que a energia gasta ao produzir um painel fotovoltaico seja produzida situa-se entre os 3 e os 6 anos, dependendo da tecnologia e das condições de insolação.

### 5.3 Aplicações

Segundo Araújo (2004) a aplicação mais importante, porém, é fornecer energia em lugares isolados, distantes das redes elétricas, o que em longo prazo pode significar uma solução para países subdesenvolvidos. A conversão da luz em eletricidade é feita por células fotovoltaicas, pequenas lâminas delgadas recobertas por uma camada de décimos de milímetro de um material semicondutor, como o silício. Quando as células são expostas a uma fonte de luz, nesse caso o sol, os fótons (partículas de luz) excitam os elétrons do semicondutor (Figura 10). Com a energia absorvida dos fótons, os elétrons passam para a banda de condução do átomo e criam corrente elétrica. As células são depois agrupadas para formar os painéis solares.

Segundo Junges (2001), p. 03 “cada m<sup>2</sup> de coletor solar instalado corresponde a: 56m<sup>2</sup> de áreas férteis inundadas na construção de hidrelétricas; 55 quilos de gás de cozinha/ano; 66 litros de diesel/ano; 215 quilos de lenha/ano.”

Geralmente o sistema fotovoltaico é utilizado em zonas afastadas da rede de distribuição elétrica, podendo trabalhar de forma independente ou combinada com sistemas de produção elétrica convencional. Suas principais aplicações são: eletrificação rural (luz, TV, rádio, comunicações, bombeamento de água); eletrificação de cercas; iluminação exterior; sinalização; proteção catódica; náutica (ARMELIS, 2001).

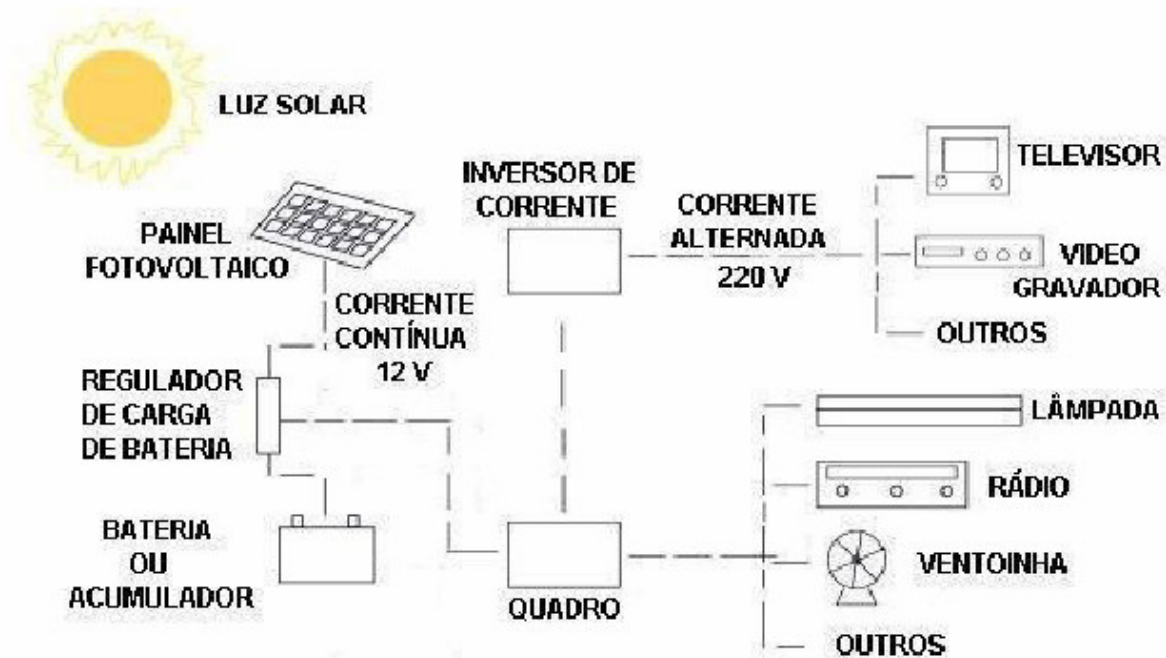


Figura 12: Esquema do sistema fotovoltaico com diversas finalidades  
 Fonte: ARMELIS (2001)

### 5.3.1 Eletrificação de cercas elétricas a partir do sistema fotovoltaico

Conforme Berto (2007), a utilização de sistemas fotovoltaicos para a eletrificação rural, constitui uma das alternativas mais promissoras para atender as necessidades em energia elétrica dos moradores destas regiões. Como podemos ver o sistema supre todas as deficiências em relação à eletrificação doméstica e pode suprir a necessidade de eletrificação das cercas (fig. 11).

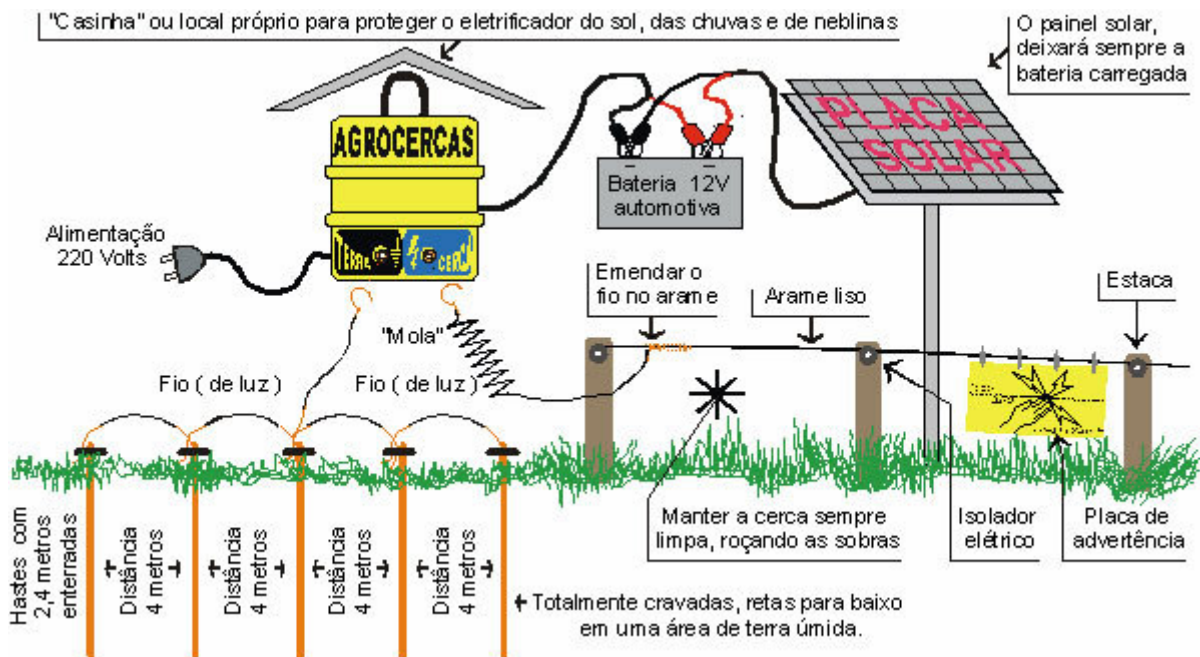


Figura 13: Esquema do sistema fotovoltaico para eletrificação de cercas

Fonte: AGROCERCAS <<http://www.agrocercas.com.br/manual.jpg>> Acesso em 10 Abr 2009.

De acordo com Paim (1994), a eletrificação rural ainda é prejudicada pela falta de distribuição energética convencional. Com isso o serviço de eletrificação rural é caracterizado pela grande dispersão geográfica da população, baixo consumo e alto investimento por consumidor. Existem atualmente cerca de dois milhões de domicílios rurais não atendidos, correspondendo a 80% do total nacional da exclusão elétrica, ou seja, 10 milhões de brasileiros vivem no meio rural sem acesso a esse serviço público. Cerca de 90% dessas famílias possuem renda inferior a três salários mínimos. Cabe ressaltar que o Governo Federal lançou em novembro de 2003 o desafio de acabar com a exclusão elétrica no país. É o Programa LUZ PARA TODOS, que tem a meta de levar energia elétrica para estas 10 milhões de pessoas do meio rural até o ano de 2008.

O Programa é coordenado pelo Ministério de Minas e Energia, operacionalizado pela Eletrobrás e executada pelas concessionárias de energia elétrica e cooperativas de eletrificação rural.

Para o atendimento da meta inicial, serão investidos R\$ 12,7 bilhões. O Governo Federal destinará R\$ 9,1 bilhões e o restante será partilhado entre governos estaduais e as empresas de energia elétrica. Os recursos federais são provenientes de fundos setoriais de energia - a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE) e a Reserva Global de Reversão (RGR).

O mapa da exclusão elétrica no país revela que as famílias sem acesso à energia estão majoritariamente nas localidades de menor Índice de Desenvolvimento Humano e nas famílias de baixa renda. Cerca de 90% destas famílias têm renda inferior a três salários-mínimos e 80% estão no meio rural.

Por isso, o objetivo do governo é utilizar a energia como vetor de desenvolvimento social e econômico destas comunidades, contribuindo para a redução da pobreza e aumento da renda familiar. A chegada da energia elétrica facilitará a integração dos programas sociais do governo federal, além do acesso a serviços de saúde, educação, abastecimento de água e saneamento. Durante a execução do Programa, novas famílias sem energia elétrica em casa foram localizadas

e, em função do surgimento de um grande número de demandas, o Luz para Todos foi prorrogado para ser concluído no ano de 2010.

A figura 13 mostra o índice de percentuais de não atendimento de eletrificação rural nos Estados.

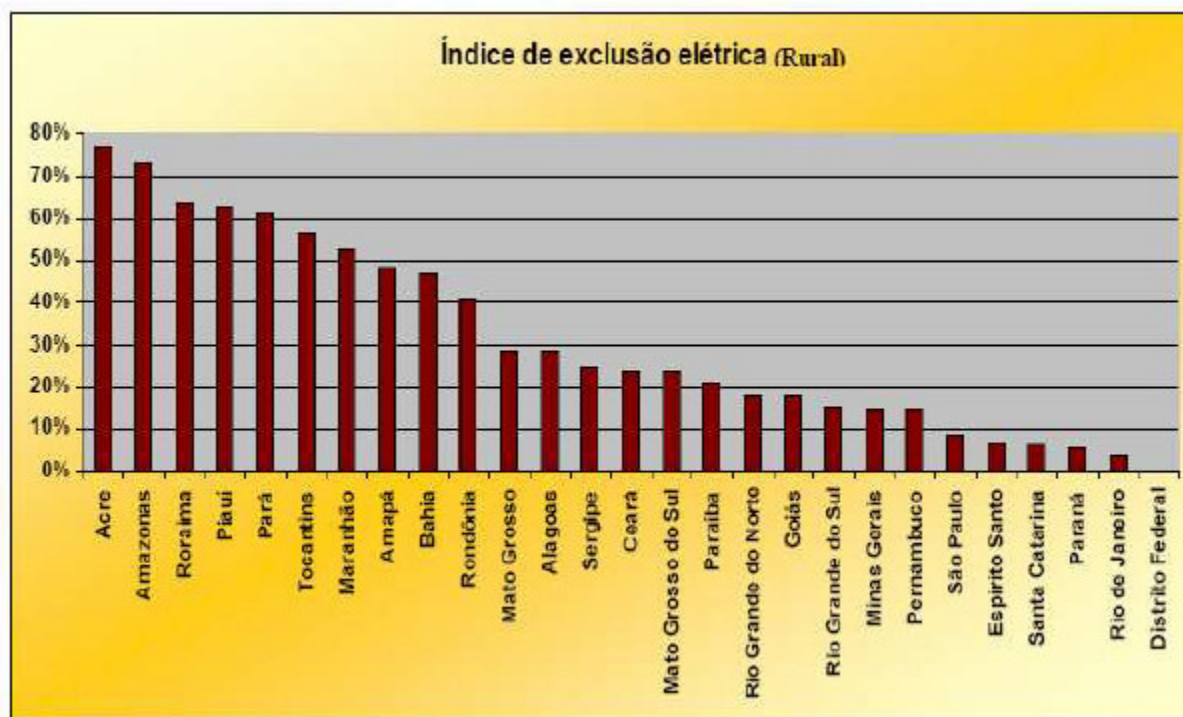


Figura 14: Índices de exclusão elétrica  
Fonte: (GAMBOA, 2001)

#### 5.4 Componentes

Para compor o sistema de eletrificação rural são usados (SOLARTERRA, 2008):

1. Corrente contínua 12 v: painéis ou módulos de células fotovoltaicas; suportes para os Painéis; controlador de carga de baterias; banco de baterias.

2. Corrente alternada 110/220 v: Além dos elementos anteriores, entre as baterias e o consumidor é necessário instalar um inversor de corrente com potência adequada. O inversor converte a corrente contínua (DC) das baterias em corrente alternada (AC). A maioria dos eletrodomésticos utiliza a corrente alternada.

## 6 APLICAÇÃO DAS CERCAS ELÉTRICAS

A energia solar é a solução ideal para áreas afastadas e ainda não eletrificadas, especialmente num país como o Brasil, onde se encontram bons índices de insolação em qualquer parte do território. As principais aplicações das cercas elétricas por sistema fotovoltaico são a independência da rede elétrica como solução para confinamento de animais, com uma elevada confiabilidade operacional, requerendo pouca manutenção, não estragando o couro e pêlo dos animais, como no caso das cercas de arames farpados, a obtenção de uma maior distância entre mourões e a maior eficiência na contenção dos animais. Com isso as cercas elétricas vão ser mais indicadas para os casos de divisão e racionalização do uso de pastagens e confinamento de animais em locais distantes da rede elétrica (SOLENERG, 2008).

As cercas convencionais são construídas com grande quantidade de mourões e arames convertendo-se em barreiras físicas, onde o animal não atravessa simplesmente porque não consegue atravessar. Já o conceito de cerca elétrica é totalmente oposto ao da cerca convencional, onde o objetivo é construir um sistema que controle a criação, não por resistência mecânica, mas sim por temor. Trata-se de uma barreira psicológica, onde o animal não tenta passar, pois tem gravado em sua memória a recordação de uma sensação ruim (SIEMENS apud STA, 1993).

A Cerca Elétrica então evita estruturas caras e garante que o animal receba uma descarga inofensiva, mas ao mesmo tempo eficiente, fazendo-o retroceder. Os aparelhos injetam nas cercas energia elétrica de forma pulsante, com alta voltagem e baixa amperagem e são inofensivos ao homem e aos animais. E ainda, por sua robusta fabricação, profissional e criteriosa, são muito pouco afetados por maus isolamentos ou contatos com a vegetação. Porém para essa segurança eficaz é necessário manter um “valor” mínimo de voltagem nas cercas elétricas, já que os animais apresentam diferente sensibilidade à corrente elétrica, variando esta sensibilidade de acordo com a espécie. Abaixo deste “valor” os animais não apresentam sensibilidade, e podem passar pela cerca elétrica, causando estragos (arrebentar arames, quebrar postes e/ou isoladores, voltar a pastagens que estavam em descanso, etc) (SIEMENS apud STA, 1993).

<b>ESPÉCIE ANIMAL</b>	<b>VOLTAGEM DE SEGURANÇA (Volts)</b>
Eqüinos e bubalinos	1000
Bovinos	2500
Ovinos, Caprinos e Suínos	3500
Aves	5500

Tabela 1: Voltagens Mínimas de Segurança que garantem a eficiência do Sistema de Cercas Elétricas  
Fonte: STA

Além dos cuidados referentes às voltagens específicas, SIEMENS (apud STA, 1993), cita outros cuidados técnicos específicos para o funcionamento adequado das cercas elétricas:

- Bom aterramento, sendo esta a causa mais comum de falhas na eletrificação de cercas;
- Uso de isoladores, pois o arame não deve entrar em contato com os mourões ou plantas que pode conduzir corrente diminuindo a intensidade do choque;
- A utilização de baterias de boa qualidade e em bom estado;
- Manutenção dos parafusos dos terminais (bateria e equipamento de cerca elétrica) sempre bem apertados. Qualquer mau-contato pode comprometer o bom desempenho do equipamento;
- Evitar instalar baterias no tempo e ao nível do chão. Exposições diretas a luz solar reduzem substancialmente a vida das baterias e evaporam seu eletrólito;
- Tipo de arame: o arame usado pode ser de qualquer tipo, porém o mais indicado é o liso galvanizado, com diâmetro de 14 ou 16, nas ramificações de cerca elétrica (desde que não superiores a 500 metros) recomenda-se o uso de arame galvanizado 16, e na linha mãe recomenda-se o emprego de arame galvanizado 14. Também pode ser utilizado o arame de aço galvanizado 14 (arames comuns de cerca). A quantidade de fios e sua altura do solo dependem da espécie que se quer isolar ou manter nas pastagens;
- Proteção contra raios com pára raios e gaiolas de indução.



## CONCLUSÃO

A Terra recebe do Sol energia suficiente para o atual consumo mundial de eletricidade. 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.

Em função da sua localização geográfica o Brasil é privilegiado por ter uma insolação média superior à das nações industrializadas. O suprimento energético a comunidades rurais isoladas e a áreas remotas ainda é um constante desafio, principalmente nos países subdesenvolvidos ou em desenvolvimento, devido as enormes disparidades econômicas e sociais. Além de gerar desenvolvimento, a eletrificação de áreas rurais isoladas proporciona 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, 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. Para que esta energia limpa e renovável seja utilizada em larga escala é ainda necessária uma redução de custos. Este objetivo pode ser atingido através do desenvolvimento tecnológico e/ou pela via da produção em massa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERLIS. **Energia solar fotovoltaica**: a eletricidade que vem do sol. Jun 2001. Disponível em: <http://www.scribd.com/doc/6661385/Bioconstrucao-Energiasolar>>. Acesso em 23 Abr 2009.

ANTUNES, L.M. **A Energia Solar**. Porto Alegre: Artes Médicas, 1999.

AGROCERCAS. 2008. **Manual para instalação e eletrificação de cercas**. Disponível em: <http://www.agrocercas.com.br/manual.jpg>> Acesso em: 10 Abr 2009.

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&tbnid=ta02VN7EslPubM:&tbnh=87&tbnw=116&prev=/images%3Fq%3Dsistema%2Bfotovoltaico%26gbv%3D2%26hl%3Dpt-BR](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&tbnid=ta02VN7EslPubM:&tbnh=87&tbnw=116&prev=/images%3Fq%3Dsistema%2Bfotovoltaico%26gbv%3D2%26hl%3Dpt-BR)>. Acesso em: 02 Mai 2009.

BERTO, Luiz Carlos. **Energia solar para propriedades rurais**. n. 24. Dez 1997. Disponível em: <<http://www.cati.sp.gov.br/novacati/tecnologias/catiresponde/cr24solar.html>>. Acesso em: 01 Abr 2009.

BOLIBAHIANO, Don. **Manual de energia fotovoltaica**. Jan 2004. Disponível em: <<http://www.greenpro.de/po/fotovoltaico.pdf>>. Acesso em 02 Abr 2009.

BURRETT, Richard; CLINI, Corrado; DIXON, Robert et al. **Renewables global status report**. 2009. Disponível em: <[http://www.ren21.net/pdf/RE2007\\_Global\\_Status\\_Report.pdf](http://www.ren21.net/pdf/RE2007_Global_Status_Report.pdf)>. Acesso em 26 Jun 2009.

CASTRO, Rui M. G. **Energias renováveis e produção descentralizada**. Nov. 2002. Disponível em: <[http://www.troquedeenergia.com/Produtos/LogosDocumentos/Introducao\\_a\\_Energia\\_Fotovoltaica.pdf](http://www.troquedeenergia.com/Produtos/LogosDocumentos/Introducao_a_Energia_Fotovoltaica.pdf)>. Acesso em 20 Abr 2009.

ELETROPAULO. **Fontes alternativas de crescimento**: Eólica e solar. Rev. Conexão. Ago. 2008. Disponível em: <[http://www.eletropaulo.com.br/newsletter/conexao\\_aeseletropaulo/12/prints/nota01.pdf](http://www.eletropaulo.com.br/newsletter/conexao_aeseletropaulo/12/prints/nota01.pdf)>. Acesso em: 02 Mar 2009.

GAMBOA, Roberto Marçal. **Eletricidade solar, estado atual e perspectivas**. Out 2001. Disponível em: <<http://solar.fc.ul.pt/roberto2001.pdf>>. Acesso em: 10 Abr 2009.

GAZZANA, Roberto Basso. **Energia solar fotovoltaica em sistemas de telecomunicações**. 2007. Disponível em: <[www.ceee.com.br/pportal/ceee/Component/Controller.aspx?CC=12568](http://www.ceee.com.br/pportal/ceee/Component/Controller.aspx?CC=12568)>. Acesso em: 10 Fev. 2009.

HIMALAYA, Padre. **Conversão fotovoltaica da energia solar**. 2005. Disponível em: <<http://www.cienciaviva.pt/rede/energia/himalaya2005/home/guia4.pdf>>. Acesso em: 24 Fev 2009.

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: 21 mar 2009.

MOORE, W.J. **Físico-Química**. São Paulo: Scipione, 1996.

NOGUEIRA, Rodrigo Bernardes; CARVALHO, Flaviana Andrade de Pádua; ROSADO; Sebastião Carlos da Silva; Maria Cristina Bressan; LIMA, José Maria de; CARVALHO, Antonio Máximo de. **Normas para redação de monografia ou trabalho de conclusão de cursos de pós-graduação lato sensu**. LAVRASMG: UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS - UFLA, 2001.

PAIM, M.V. **A Energia Solar: Alternativas**. São Paulo: Scipione, 1994.

PRIEB, C. W. M. **Desenvolvimento de um sistema de ensaio de módulos fotovoltaicos**. Porto Alegre -UFRS, Dissertação de Mestrado, 2002.

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](http://www.cdcc.usp.br/ciencia/artigos/art_08/energiasolar.html)>. Acesso em 13 abr 2009.

SARRUF, Gustavo Afif; PIGA, Leonardo de Paula Rosa. Viabilidade da energia solar na UNICAMP. **Rev. Ciência do Ambiente On-Line**. Vol. 2, n. 2, Ago 2006. Disponível em: <<http://www.sistemas.ib.unicamp.br/be310/include/getdoc.php?id=182&article=61&mode=pdf>>. Acesso em 12 Abr 2009.

SOLARTERRA. **Energia solar fotovoltaica:** guia prático. 2008. Disponível em: <<http://www.solarterra.com.br/pdf/curso-energia-solar-fotovoltaica.pdf>>. Acesso em 14 Mar 2009.

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](http://www.unigranrio.br/unidades_acad/ein/recursos/download/Apresentaxo_Rafael_Vieira.ppt#1)>. Acesso em 03 Mar 2009.

SOLENERG. **Cerca elétrica solar.** 2008. Disponível em: <<http://www.solenerg.com.br>>. Acesso em 25 Jun 2009.

STA, Sistema de Tecnologia Adequada. **Manual de instruções de energizadores solares STA Alto Poder.** Porto Alegre, 1993.