

## SISTEMAS CONECTADOS À REDE DE DISTRIBUIÇÃO: Revisão Bibliográfica

**Thiago Yamamoto Rodrigues Queiroz**

Graduando em Engenharia Elétrica,  
Faculdades Integradas de Três Lagoas – FITL/AEMS

**Cleyton Gabriel Augusto**

Bacharel em Engenharia Elétrica – UNESP;  
Esp. em Gestão Empresarial – FGV;  
Docente das Faculdades Integradas de Três Lagoas – FITL/AEMS

**Patrícia Fernanda da Silva Freitas**

Graduação em Sistemas de Informação – FIPAR;  
Mestre e Doutora em Engenharia Elétrica – UNESP;  
Docente das Faculdades Integradas de Três Lagoas - FITL/AEMS

### Resumo

Em busca de novas tecnologias para uma maior diversificação da matriz energética brasileira é necessário buscar fontes alternativas de energia, as quais são motivadas por dois fatores principais. Primeiramente com a diminuição das chuvas que conseqüentemente vem causando redução dos níveis dos reservatórios das usinas hidrelétricas e redução do potencial gerador, vem se utilizando cada vez mais usinas termelétricas, as quais são também impulsionadas pela demanda que a cada vez está maior e a precificação da energia elétrica vem se elevando. Espera-se que uma maior exploração de fontes renováveis podem trazer benefícios, não só uma maior flexibilidade a matriz energética, mas também como uma forma sustentável de se obter energia de uma fonte inesgotável e limpa. Diante deste cenário não só nacional, mas também mundial a energia fotovoltaica vem cada vez mais evoluindo tecnologicamente. Por meio de uma revisão bibliográfica, o presente trabalho busca apresentar de forma sucinta os principais componentes do sistema fotovoltaico, princípio de aplicação desta energia e materiais os quais alguns equipamentos são fabricados, assim como a eficiência a eles envolvida. Por fim, tem-se uma visualização mais direcionada para o sistema de fotoconversão conectado a rede de distribuição de energia elétrica o qual tem por objetivo dimensionar um sistema para atender total ou parcial a unidade consumidora, cujo fator determinante será a receita disponível para este investimento.

**PALAVRAS-CHAVE:** energia renovável; sustentabilidade; energia fotovoltaica.

### 1 INTRODUÇÃO

O aproveitamento de geração de energia provida do sol, em escala terrestre de tempo, tal como fonte de calor e tanto quanto de luz, é inesgotável. Atualmente é considerada uma alternativa de geração de energia mais promissora para gerar energia indispensável para o desenvolvimento do ser humano. Em se tratando de energia, vale ressaltar que o sol é responsável pela origem de grande parte de fontes energéticas na terra, ou seja, derivadas da energia do sol (PINHO, 2014).

A partir da energia do sol, inicia-se uma evaporação do ciclo das águas, o que permite o reaproveitamento da água e conseqüentemente a geração de eletricidade, ou seja, a hidroelétrica. A radiação solar dispõe a circulação atmosférica em larga escala, proporcionando os ventos. Portanto, a energia eólica também é uma maneira indireta de manifestação solar. O gás natural, petróleo e carvão, são gerados de resíduos orgânicos, tais como: plantas e animais, em que inicialmente obtiveram do recurso solar necessário para o seu desenvolvimento. Através da energia solar a matéria orgânica, como por exemplo, a cana-de-açúcar, efetua a fotossíntese e posteriormente se desenvolve para se transformar em combustível em usinas. Portanto, este artigo tratará apenas do que se pode chamar de energia solar direta (PINHO, 2014).

São energia direta, segundo o Relatório Especial Solar Fontes Renováveis de Energia e Mitigação da Mudança Climática, publicada pelo IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), são divididas em cinco blocos: 1) solar passiva, arquitetura bioclimática; 2) solar ativa, aquecimento e refrigeração solar; 3) solar fotovoltaico, energia elétrica produzida com ou sem concentradores; 4) energia elétrica produzida de concentradores térmicos para altas temperaturas e; 5) processo motivado na fotossíntese (ao exposto a radiação solar, é produzido hidrogênio, oxigênio e monóxido de carbono) (PINHO,2014).

A utilização de energias renováveis em especial a fotovoltaica tende a contribuir mais, em questões de redução de impactos ambientais e redução do consumo de energia elétrica fornecido pela concessionária.

Analisar a possibilidade técnica e econômica para implantação de um sistema de energia solar através da fotoconversão em locais onde já se possui abastecimento de energia através da rede elétrica da concessionária. Desta forma é também necessário o estudo dos componentes básicos da fotoconversão para o devido conhecimento do sistema.

## 2 OBJETIVOS

Estudar os elementos principais do sistema fotoelétrico (*on grid*) e analisar a viabilidade de implantação de um sistema que utilize energia solar, através da fotoconversão onde já se possui abastecimento de energia através da rede elétrica da concessionária.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho é baseado em pesquisa bibliográfica e documental sobre os sistemas fotovoltaicos em específico os conectados à rede de distribuição de energia elétrica. O objetivo é apresentar uma análise técnica e econômica da aplicação da energia solar observando a sua viabilidade e aplicabilidade.

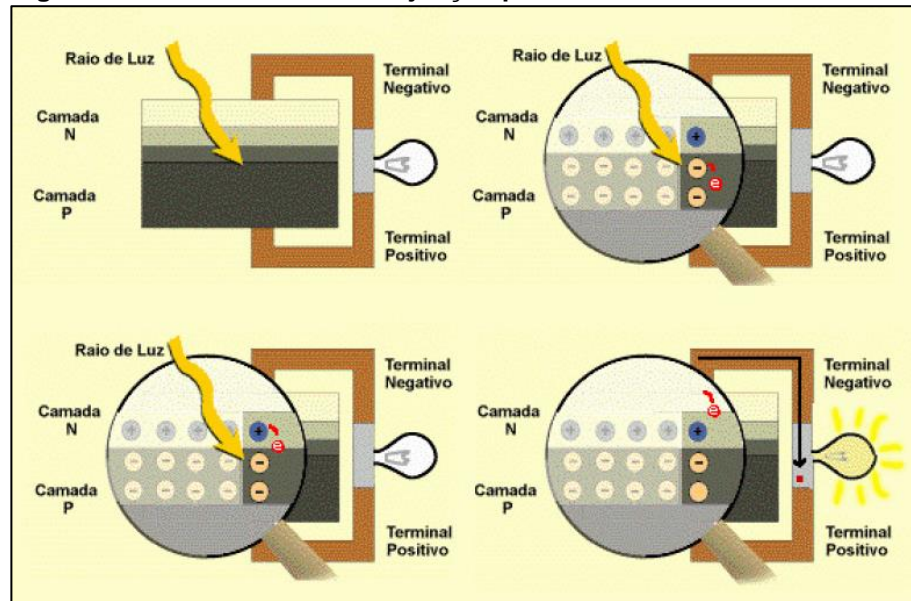
### 4 EFEITO FOTOVOLTAÍCO

O efeito fotovoltaico decorre por meio dos semicondutores. Sendo o mais utilizado o de silício, por seus átomos serem caracterizados por apresentarem quatro elétrons em sua camada de valência, formando então uma rede cristalina. É então inserido um átomo que apresente como característica cinco elétrons em sua última camada, exemplo o elemento fósforo, devido à tendência de buscar a estabilidade e a fraca ligação com o átomo. Quando inserido uma pequena quantidade de energia térmica este elétron tende a ficar livre e deslocar para a banda de condução. O fósforo então é caracterizado como um dopante doador de elétrons e denominado como dopante *n*. (CRESESB, 2006).

Aceptor de elétrons ou dopante *p* decorre quando é inserido um átomo com apenas três elétrons em sua última camada de valência, exemplo o elemento boro, que devido à falta de um elétron para satisfazer as suas ligações com o elemento silício possui o que é chamado de *lacuna* ou *buraco*; que com a presença de pouca energia térmica tende a deslocar o buraco (CRESESB, 2006).

Partindo da utilização do silício puro, é aplicado em uma das extremidades o fósforo e na outra o boro, é formado a junção *pn*. Quando a junção é exposta a fótons, ocorre a geração de pares elétron-lacuna. Onde nesta região o campo elétrico é diferente de zero e as cargas então são aceleradas, vem a ocorrer a geração de corrente na junção devido ao deslocamento de cargas que iram dar origem a um diferencial de potencial o qual é denominado Efeito Fotovoltaico (Figura 1). Sendo as duas extremidades de silício forem conectadas com um fio, acontecerá uma circulação de elétrons. Esta é a base do funcionamento das células fotovoltaicas (CRESESB, 2006).

Figura 1. Efeito fotovoltaico na junção pn.



Fonte: Adaptado de CRESESB, 2006.

A Figura 1 demonstra o efeito fotovoltaico ocasionado quando a junção é exposta a fótons, ocorre uma aceleração das cargas as quais dão origem a um diferencial de potencial.

## 5 MÓDULO FOTOVOLTAICO

É o principal componente de um sistema de energia solar, o qual é construído a partir de um conjunto de células que iram gerar energia elétrica através da conversão da luz do sol. Através da movimentação dos elétrons excitados pela energia solar que será convertida em corrente elétrica. Um dado sistema pode ser montado em modo série ou paralelo, dependendo da quantidade de placas. Sendo o principal critério a ser considerado é a finalidade do arranjo, podendo ser as potências ou a tensões de saída desejadas do sistema de energia solar (PEREIRA; OLIVEIRA, 2011).

### 5.1 Tipos de Células

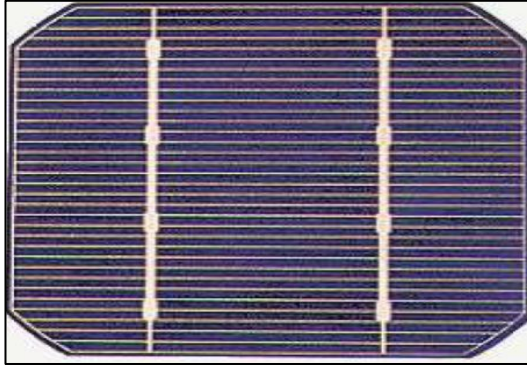
Os principais tipos de células estão mostrados com mais detalhes, a seguir.

#### 5.1.1 Silício Monocristalino

A célula de silício monocristalino (Figura 2) é a mais utilizada e comercializada como conversor da energia solar em eletricidade. Para este silício

funcionar como célula fotovoltaica necessita de um grau de pureza de 99,9999%.  
Dentre as células fotovoltaicas as monocristalinas apresentam maior eficiência que  
pode variar de 15-18% (CRESESB, 2006).

**Figura 2. Célula de silício monocristalino.**



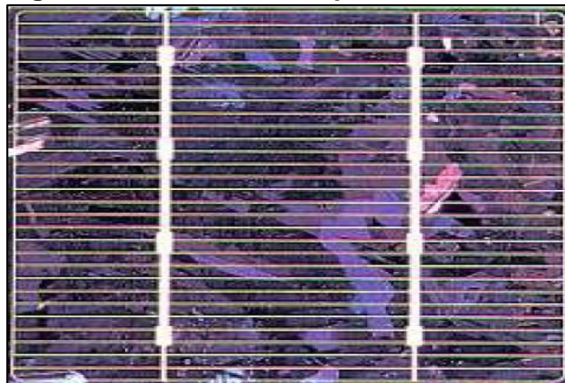
**Fonte:** Adaptado de CRESESB, 2006.

A Figura 2 representa um exemplo de célula fotovoltaica, fabricada em silício monocristalino.

#### 5.1.2 Silício Policristalino

As células de silício (Figura 3) exigem um processo de preparação menos rigoroso. A eficiência, no entanto, cai um pouco em comparação as células de silício monocristalino. O processo de fabricação tem alcançado eficiência máxima de 12,5% em escalas industriais (CRESESB, 2006).

**Figura 3. Célula de silício policristalino.**



**Fonte:** Adaptado de CRESESB, 2006.

A Figura 3 representa um exemplo de célula fotovoltaica, fabricada em silício policristalino.

## 6 INVERSOR INTERATIVO

Utilizado para sistemas fotovoltaicos conectados a rede da concessionária. Além da função básica de um inversor ou conversor CC/CA, os mesmos também fazem a sincronização com a rede pública de energia elétrica, sendo assim, é garantida que não haja diferença da energia solar para a que é recebida pela concessionária (PINHO; GALDINO, 2014).

O inversor *on grid*, também conhecido como *grid tie*, tem como função transformar a energia gerada nos painéis fotovoltaicos – corrente contínua (CC) – em energia elétrica na forma convencional – corrente alternada (CA) 110/220V. Sendo seu modo de funcionamento em paralelo com a rede, é descartado possíveis conflitos entre as fontes de energia, por meio de uma sincronização minuciosa e proteções necessárias (PEREIRA; OLIVEIRA, 2011).

Os mesmos devem obedecer a diversas exigências de qualidade e segurança para que a rede principal não seja afetada por oscilações, como anti-ilhamento, distorção harmônica em consonância com as normas aplicáveis, saída CA com forma de onda senoidal pura, proteções contra sobretensões e sobrecorrente, dentre outras (CÂMARA, 2011).

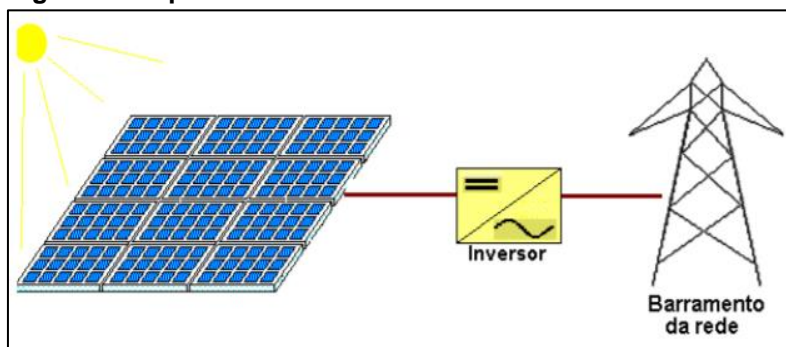
## 7 SISTEMAS CONECTADOS À REDE DE DISTRIBUIÇÃO (SISTEMA ON GRID)

Esta modalidade de sistema não necessita de banco de baterias para armazenamento, pois toda a geração é aplicada diretamente na rede de distribuição quando não consumido pela unidade geradora. Sistemas fotovoltaicos interligados à rede elétrica configuram como uma fonte complementar ao sistema elétrico de distribuição ao qual estão conectados. Conseqüentemente todo o conjunto é conectado a inversores os quais fazem toda a interface com a rede (CÂMARA, 2011).

A Figura 4 representa o esquema resumido de um sistema fotovoltaico interligado a rede de distribuição.

Podendo ser classificados de duas formas as de grande porte (as centrais fotovoltaicas) ou de pequeno porte (descentralizada e instalada em edificações urbanas).

Figura 4. Esquema de sistema conectado a rede elétrica.



Fonte: Adaptado de CRESESB (2006).

## 7.1 Grandes Centrais

Através das centrais fotovoltaicas é possível se fornecer potência à rede elétrica através de um ou mais inversores e transformadores, se utilizando de inversores comutados pela rede a fim de se evitar a operação isolada, em resumo, são equipamentos com seguidor de ponto de máxima potência (CÂMARA, 2011).

## 7.2 Produção Distribuída

Nesta modalidade, os módulos fotovoltaicos são instalados nas próprias edificações e/ou residências, dentre elas nas coberturas de estacionamentos, áreas livres e etc. Estas mesmas edificações (residências e em pequenos comércios) serão alimentadas por suas próprias gerações de energia, através dos módulos que iram converter energia solar em energia elétrica e que através do inversor CC/CA, fará a interface de sincronização com a rede elétrica de distribuição em baixa tensão na qual estão interligadas (JUNIOR, 2005).

A Figura 5 exemplifica a instalação em uma residência com os elementos que compõem o sistema fotovoltaico interligado à rede elétrica. Os módulos (1) onde ocorre a transformação de luz em energia elétrica, o inversor (2), a rede elétrica de distribuição, os medidores de energia (3 e 4) e alguns exemplos de equipamentos que se utilizam da energia elétrica final. Neste tipo de construção é possível dimensionar o sistema para atender total ou parcial a unidade consumidora, o fator determinante será a receita disponível para este investimento.

Dentre as vantagens que a geração *on grid* fornece, destacam se: (i) menores perdas nas redes devido à unidade geradoras estar integrada a unidade consumidora; (ii) integração a edificação; (iii) modularidade, ou seja, pode ser ampliado quando necessário; (iv) fonte de energia inesgotável, renovável e

silenciosa e (v) baixo custo de investimento se comparado ao sistema que utiliza unidade de armazenamento (*off grid*) (CÂMARA, 2011).

**Figura 5. Esquema de uma casa com sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica.**



(1) módulos; (2) inversor; (3 e 4) medidores de energia.

**Fonte:** Adaptado de STROM BRASIL, 2018.

As unidades consumidoras conectadas à rede elétrica podem utilizar a energia gerada e a convencional fornecida pela concessionária de energia. Estando este sistema conectado à rede, não há necessidade de unidades de armazenamento (baterias), pois na eventualidade de um consumo maior do que o produzido na unidade (ocasionado por momentos de baixa radiação solar), a rede disponibiliza a energia complementar para o perfeito funcionamento da edificação. Em situação inversa, o contrário se faz verdadeiro com algumas ressalvas, pois quando há baixo consumo elétrico ou quando os módulos produzem eletricidade acima do que está sendo consumido pela edificação, o excesso de energia elétrica é injetado na rede de distribuição da concessionária a qual gera saldo positivo (créditos). Este, de acordo com a regulamentação vigente, pode ser utilizado em qualquer unidade consumidora cadastrada sob o mesmo CPF/CNPJ ou configurando a modalidade cooperativa (consórcios de pessoas e empresas) que possibilita a transferência de “créditos” excedentes para outros CPFs ou CNPJs, desde que firmado em contrato (ANEEL, 2012).

## 8 CONCLUSÃO

Os sistemas fotovoltaicos interligados à rede de distribuição de energia elétrica apresentam características vantajosas como modularidade, menores perdas

nas redes de transmissão, menor investimento, além de ser um recurso inesgotável e uma fonte de energia renovável. Mesmo no Brasil, sendo um território tão abundante em recurso solar é pouco aproveitado e tão pouco utilizado como opção flexível para a matriz energética e amortização de possíveis crises na malha de energia Nacional. No decorrer do presente estudo foi possível analisar que ainda são necessários maiores incentivos governamentais para fomentar a indústria solar e maior popularização desta tecnologia. Apesar de ainda demandar um alto investimento para se ter o sistema fotovoltaico ainda sim é uma grande opção, ainda mais quando avaliados sob o foco da redução de impactos ambientais.

## REFERÊNCIAS

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Aspectos Gerais Sobre Micro E Minigeração Distribuída. 2012. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida>>. Acesso em 25 mar. 2018.

CÂMARA, C. F. Sistemas Fotovoltaicos Conectados À Rede Elétrica. 2011. 67 f. Monografia (Pós Graduação de Engenharia) - Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, Lavras.

CRESESB - CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO. Energia Solar Princípios e Aplicação. 2006. Disponível em: <[http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial\\_solar\\_2006.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial_solar_2006.pdf)>. Acesso em: 15 mar. 2018.

JUNIOR, O. L. Sistema Fotovoltaicos Conectados à Rede: Estudo de Caso – 3 kWp Instalados no Estacionamento do IEE-USP. 2005. 80 f. Dissertação (Mestrado em Energia) – Universidade de São Paulo, São Paulo.

PEREIRA, F. A. S; OLIVEIRA, M. A. S. Curso técnico instalador de energia solar fotovoltaica. 2 ed. Porto: Publindústria, 2011.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. Manual De Engenharia Para Sistemas Fotovoltaicos. CEPEL - CRESESB. 2014. Disponível em: <[http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual\\_de\\_Engenharia\\_FV\\_2014.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf)> Acesso em: 15 mar. 2018.

STROM BRASIL. Sistema On grid. 2018. Disponível em: <<http://www.strombrasil.com.br/sistemas-on-grid-e-off-grid>>. Acesso em: 30 jun. 2018.