



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE CIÊNCIAS

DEPARTAMENTO DE FÍSICA

FÍSICA APLICADA

Cadeira

Uso e aproveitamento da energia solar

**TEMA: PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO SISTEMA
FOTOVOLTAICO LIGADO À REDE PÚBLICA**

Docente: Prof. Dr. Cuamba

Autor : Timane, Hermenegildo Augusto

Maputo, Dezembro de 2010

Lista de Figuras e tabela

Figura 1 Ilustração da estrutura dum célula Fotovoltaica.....	4
Figura 2 Esquema de uma célula fotovoltaica.....	5
Figura 3 Bandas energéticas.....	5
Figura 4 Junção p - n em equilíbrio.....	6
Figura 5 Junção p - n conectada a carga.....	6
Figura 6 Ilustração dum célula de silício monocristalino.....	7
Figura 7 Ilustração dum célula de silício policristalino.....	7
Figura 8 Ilustração dum célula de silici amorfo.....	8
Figura 9 Circuito eléctrico equivalente de uma célula fotovoltaica.....	8
Figura 10 Características da curva I – V.....	10
Figura 11 Esquema do sistema Fotovoltaico ligado à rede Pública.....	12
Figura 12 Esquema de amplificação à conversão da tensão.....	13
Figura 13 Esquema de amplificação da tensão.....	14
Figura 14 Esquema do conversor da tensão continua em alterna.....	15
Figura 15 Esquema da formada onda senoidal.....	16
Tabela 1 Vantagens e Desvantagens do sistema fotovoltaico ligado à rede comparado com Gerador a diesel.....	17

Lista de Abreviaturas

AC	Corrente alternada
DC	Corrente contínua
MWp	Mega watt pico (unidade de potência)
A	Ampere (unidade de corrente)
Hz	Hertz (unidade de frequência)
V	Volt (unidade de tensão)
Wp	Watt pico (unidade de potência)
mm	Milímetro (unidade de comprimento)
a- Si	Silício amorfo
CdTe	Telureto de cádmio
CIS	Disseleneto de Índio e Cobre
I_0	Corrente inversa máxima de saturação do diodo
m	Factor de idealidade do diodo (diodo ideal : $m = 1$, diodo real: $m > 1$)
V_T	Potencial térmico
K	Constante de Boltzmann ($K = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J}^\circ\text{K}$)
T	Temperatura absoluta da célula em K ($0^\circ\text{C} = 273,16 \text{ }^\circ\text{K}$)
q	Carga eléctrica do electrão ($q = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$)
I_s	Corrente gerada pelo gerador fotovoltaico

I_D	Corrente do diodo
E_{fn}	Energia de fermi na componente n
E_{fp}	Energia de fermi na componente p
U_n	Potencial na componente n
U_p	Potencial na componente p
V_{max}	Tensão máxima
I_{max}	Corrente máxima
V_{amp}	Tensão amplificada
V_{ef}	Tensão eficaz
I_{mp}	Corrente de máxima potência
V_{mp}	Tensão de máxima potência

RESUMO

O presente trabalho consistiu numa pesquisa bibliográfica sobre o principio de funcionamento do sistema fotovoltaico ligado à rede eléctrica pública. O sistema fotovoltaico ligado à rede eléctrica gera energia eléctrica sem produzir ruído ou qualquer tipo de poluição, limpa e inesgotável do sol. Em sistemas fotovoltaicos ligados à rede eléctrica o elemento básico é a célula, sendo que a conversão da energia solar em electricidade acontece na célula, através do efeito fotovoltaico. Uma célula fotovoltaica gera uma tensão eléctrica na ordem de 0.4 volt a 0.5 volt em um circuito aberto, 3A em curto-circuito e produz uma potência de cerca de 1.5 Wp. O módulo fotovoltaico é composto por 30 a 36 células conectadas em série. Em um sistema fotovoltaico ligado à rede eléctrica para que seja possível é indispensável, também a utilização do inversor, sendo este responsável pela adequação às características de energia disponibilizada pelos módulos fotovoltaicos aos padrões da rede, bem como o monitoramento da operação do sistema como um todo, os módulos fotovoltaicos para geração da corrente contínua assim como a rede Pública responsável pelo fornecimento de electricidade aos consumidores. O sistema fotovoltaico ligado à rede pública não necessita de armazenamento uma vez que a rede de distribuição pública funciona como acumulador, cuja vantagem deste sistema de captação de energia solar através de sistemas fotovoltaicos é a descentralização de produção. De referir que os sistemas fotovoltaicos ligados a rede podem ser distribuídos ou centralizados.

Índice

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Definição e justificação do problema.....	2
1.2 Objectivos.....	2
1.2.1 Objectivo Geral	2
1.2.2 Objectivos específicos.....	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1 Células fotovoltaicas	3
2.2 Estrutura e funcionamento de uma célula fotovoltaica	4
2.3 Tipos de células fotovoltaicas	6
2.3.1 Células de silício monocristalino	6
2.3.2 Células de silício policristalino	7
2.3.3 Células de silício amorfo.....	8
2.3.4 Circuito eléctrico equivalente de uma célula fotovoltaica	8
2.3.5 Características da curva I – V de uma célula fotovoltaica de silício cristalino.....	10
2.4 Sistema fotovoltaico ligado à rede pública	11
2.4.1 Esquema do sistema fotovoltaico ligado à rede pública	12
2.4.2 Funcionamento do sistema fotovoltaico ligado à rede pública	13
2.5 Processo de conversão da tensão contínua em alternada	13
2.6 Vantagens e Desvantagens do sistema fotovoltaico ligado à rede comparado com gerador a diesel.....	17
3. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	18
3.1 Conclusão	18
3.2 Recomendações	18
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	19

1. INTRODUÇÃO

Grande parte dos sistemas fotovoltaicos instalados no mundo resultou de programas governamentais específicos desenvolvidos por cada país para estimular o uso da energia solar fotovoltaica. Tais programas vêm fomentando o uso dos sistemas fotovoltaicos através de incentivos fiscais e financeiros para a população. No caso de Moçambique, pouco tem sido feito a respeito apesar de o país dispor de um grande potencial de energia solar, que pode ser aproveitado na geração de energia eléctrica através da tecnologia solar fotovoltaica. De referir que esta tecnologia não produz ruído ou qualquer tipo de poluição, utiliza energia limpa e inesgotável do Sol. A exploração intensa das reservas de combustíveis fósseis, recursos esgotáveis e causadores de danos ao meio ambiente apresenta um cenário preocupante para o mundo. Neste contexto é de crucial importância a busca de fontes alternativas de energias renováveis e não poluentes, como é o caso das energias solar e eólica. Para a complementação da energia hidroeléctrica é necessária uma fonte energética limpa, não escassa e que possa ser usada em vários locais onde há demanda da mesma. Uma das que possui todas essas características é a energia eléctrica fotovoltaica. Aspectos técnicos e económicos muitas vezes inviabilizam sua utilização na geração de electricidade. A falta de uma política de incentivo é um dos maiores obstáculos para a utilização em larga escala desta forma de energia, em contrapartida a sua utilização possui várias vantagens, como por exemplo a diminuição da demanda pela energia do sistema nacional, adiando assim a construção de novas barragens, usinas termoeléctricas e nucleares, que geram diversos impactos negativos ao ambiente e por ser uma fonte de energia renovável e limpa, sem produzir resíduos poluentes. A energia solar fotovoltaica é obtida através da conversão directa da luz em electricidade (Efeito fotovoltaico). Edmond Becquerel relatou o fenómeno em 1839, quando nos extremos de uma estrutura de matéria semicondutora surge uma diferença de potencial eléctrica, devido à incidência da luz. No processo de conversão da energia solar em energia eléctrica a célula é a unidade fundamental.

1.1 Definição e justificação do problema

A razão principal da escolha deste tema é devido à novas descobertas inerentes a existência de um grande potencial de recursos minerais no país e que para sua exploração acarretará grandes quantidades de energia, possibilitando deste modo a criação de novos negócios, ou seja, perspectiva se novas aplicações de energia solar fotovoltaica. Por outro lado o número de consumidores da energia da rede eléctrica nacional vai aumentando dia ápos dia nas zonas urbanas e suburbanas e em particular na cidade de Maputo fazendo com que a potência desta não seja proporcional ao aumento do número de consumidores. Esta situação é notória no período compreendido entre 17 e 21 horas nas zonas supracitadas e os consumidores da energia ficam privados de ligar seus electrodomésticos. Desta forma, o sistema fotovoltaico ligado à rede eléctrica pública pode ser alternativa para reforçá-la na medida em que poderá adicionar energia à esta rede.

1.2 Objectivos

1.2.1 Objectivo Geral

- Analisar o principio de funcionamento do sistema fotovoltaico ligado à rede.

1.2.2 Objectivos específicos

- Identificar os diferentes tipos de células fotovoltaicas de silício cristalino usadas para geração da corrente eléctrica.
- Analisar o processo de geração da corrente eléctrica num sistema fotovoltaico ligado à rede eléctrica.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Células fotovoltaicas

As células fotovoltaicas são constituídas por um material semicondutor. O silício é o material mais importante, mas este não é elemento químico puro mas sim uma ligação química em forma de SiO_2 . Para a obtenção do silício em primeiro lugar é necessário separar o O_2 não desejado de SiO_2 , a areia de sílica é aquecida e fundida num cadinho junto com pó de carvão, durante o processo é criado o silício metalúrgico com uma pureza de 98% e uma impureza na ordem de 2% sendo esta demandada para aplicações electrónicas. O silício em estado bruto é ainda purificado através de um processo químico e posteriormente depositado num forno com ácido clorídrico e como resultado são produzidos os químicos hidrogénio e triclorosítano, um líquido que ferve a 31°C . Este último é destilado em sucessivas etapas durante as quais é reduzida a percentagem de impurezas em cada estágio de destilação. Quando se consegue a percentagem de pureza necessária o triclorosítano é reduzido a silício com ajuda de H_2 a 1000°C . Este silício de elevada qualidade pode ser processado de diferentes modos como por exemplo produção de células monocristalinas e policristalinas. No qual são adicionadas substâncias dopantes, de modo a criar um meio adequado ao estabelecimento do efeito fotovoltaico.

A célula fotovoltaica é o elemento mais pequeno do sistema fotovoltaico, produzindo potências eléctricas na ordem de 1,5 Wp correspondentes a uma tensão de 0,4 V a 0,5 V e uma corrente de 3A. Para obter potências maiores, as células são ligadas em série ou em paralelo, formando módulos com potências na ordem de 50 a 100 Wp. O silício é explorado sob diversas formas: monocristalino, policristalino e amorfo. Outros materiais alternativos estão sendo testados para essa aplicação, como por exemplo as células de filmes finos, em que seu processo de fabricação requer menor custo, sua eficiência energética é superior se comparada com a de silício convencional e a sua aplicação é melhor em equipamentos de baixo consumo.

2.2 Estrutura e funcionamento de uma célula fotovoltaica

A célula fotovoltaica de silício cristalino, é composta por duas camadas de silício dopadas com diferentes impurezas. A camada n orientada para o sol está dopada negativamente com elementos do V grupo da tabela periódica, como por exemplo o fósforo, e a camada p inferior, está dopada positivamente com elementos do III grupo da tabela periódica como por exemplo o boro, nas suas partes frontal e posterior são impressos contactos metálicos. A parte frontal da célula fotovoltaica é feita de nitreto de silício ou de dióxido de titânio, deverá ser translúcida quanto possível. Aqui os contactos são essencialmente aplicados na forma de uma grelha fina e a reflexão da luz solar pode ser reduzida até abaixo de 5%, com o depósito por vapor de uma camada mais fina (camada de anti-reflexão). As perdas podem ser ocasionadas pela recombinação, reflexão e pelo sombreamento entre os contactos frontais, na célula solar. Uma parte da energia não aproveitada é absorvida e transformada em calor. (Cássio A.D.N 2004)

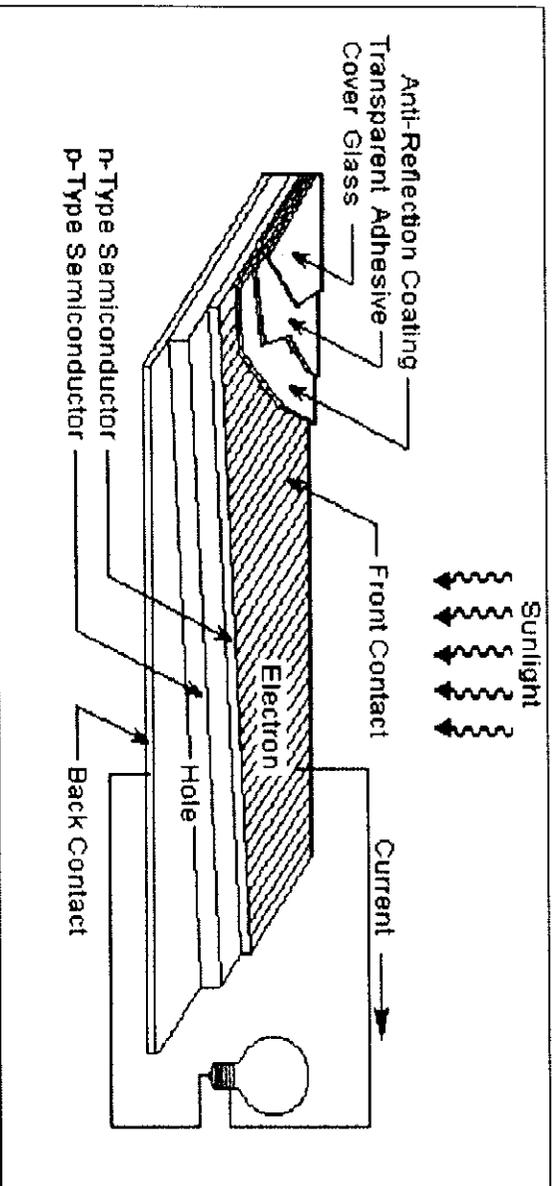


Figura 1 : Estrutura de uma célula fotovoltaica(Fonte : Green Martin 1998)

A radiação solar ao incidir sobre a célula fotovoltaica mais concretamente na superfície n , parte dela é reflectida outra parte atravessa a célula fotovoltaica e outra parte é absorvida pela célula fotovoltaica, sendo que os fótons da radiação solar incidente absorvida pela célula, contendo energia atinge os electrões que encontram se na banda de valência (banda de menor energia comparando com a banda de condução), transmitindo lhes energia suficiente transitando deste

modo para a banda de condução deixando lacunas e consequente criação de pares electrão-lacuna. Devido a criação da junção p-n surge o campo eléctrico e ocorre o intercâmbio dos portadores entre os componentes p-n durante o processo de difusão dos portadores em maioria. Segundo condição da equação (1) faz com que as cargas eléctricas das impurezas aceitadoras e ionizadas deixem de ser compensadas originando deste modo a criação da carga volumétrica negativa na componente p e positiva na componente n.

Quando é atingido o equilíbrio na junção p-n e ligando os terminais a um circuito que se fecha exteriormente estabelece-se a diferença de potencial na célula fotovoltaica dada pela expressão (2), gerando-se deste modo a corrente eléctrica que circula através da carga eléctrica.

$$E_{f_n} > E_{f_p} \quad (1)$$

$$U_n - U_p = (E_{f_n} - E_{f_p})/q \quad (2)$$

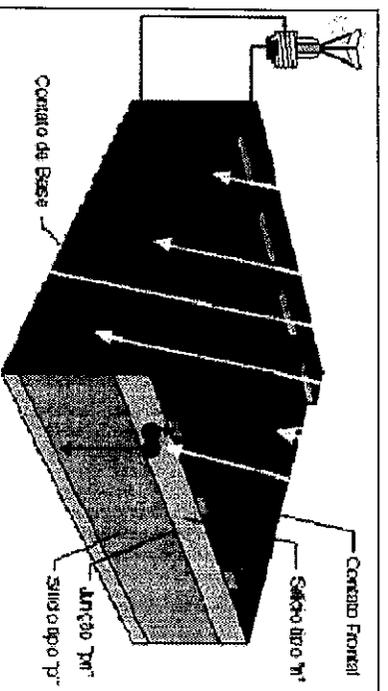


Figura 2 : Ilustração da estrutura solar recebendo radiação solar (Fonte : Ferreira B.M.G 2006).

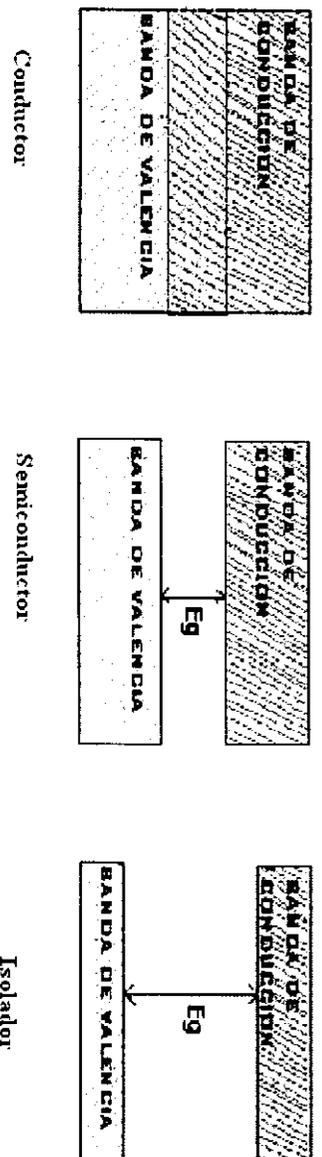


Figura 3 : Bandas energéticas (Fonte : Ramos 2006)

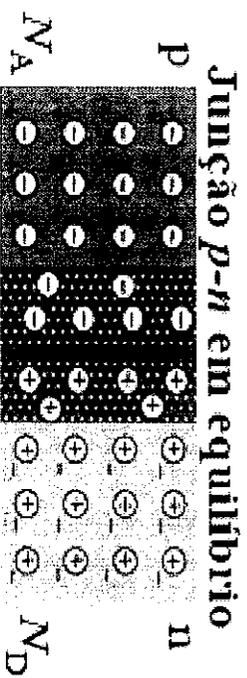


Figura 4 : Junção p-n em equilíbrio(Energia solar fotovoltaica)

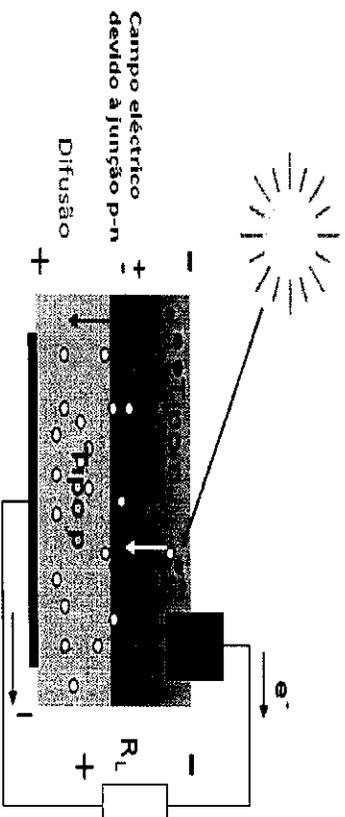


Figura 5 : Ilustração da junção p-n conectada a carga(Energia solar fotovoltaica)

2.3 Tipos de células fotovoltaicas

As células fotovoltaicas do silício cristalino são diferenciadas tendo em conta os processos de fabrico assim como o material usado, e estas podem ser: silício monocristalino, policristalino e amorfo.

2.3.1 Células de silício monocristalino

Estas células obtêm-se a partir de barras cilíndricas de silício monocristalino produzidas em fornos especiais. As células são obtidas por corte das barras em forma de pastilhas finas (0,4 – 0,5 mm² de espessura). A sua eficiência na conversão da luz solar em electricidade é na ordem de 12% a 15%. (Solarterra)

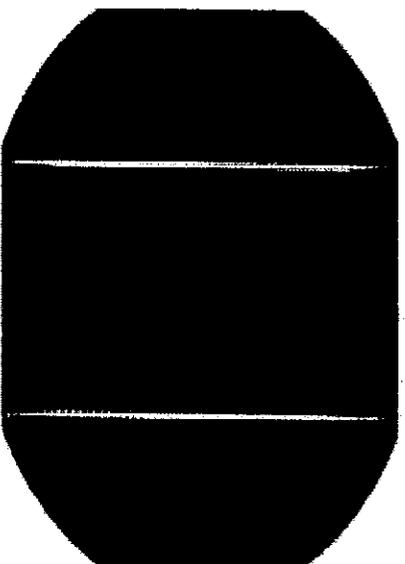


Figura 6 : Ilustração duma célula de silício monocristalino (Fonte : Manual sobre Tecnologias, Projectos e Instalação, 2004)

2.3.2 Células de silício policristalino

Estas células são produzidas a partir de blocos de silício obtidos por fusão de silício puro em moldes especiais. Uma vez nos moldes, o silício esfria lentamente e solidifica-se. Neste processo, os átomos não se organizam num único cristal, forma-se uma estrutura policristalina com superfícies de separação entre os cristais. Sua eficiência na conversão da luz solar em electricidade é ligeiramente menor do que nas de silício monocristalino situando se entre 8% e 10%. (Manual de Painéis Solares Fotovoltaicos)

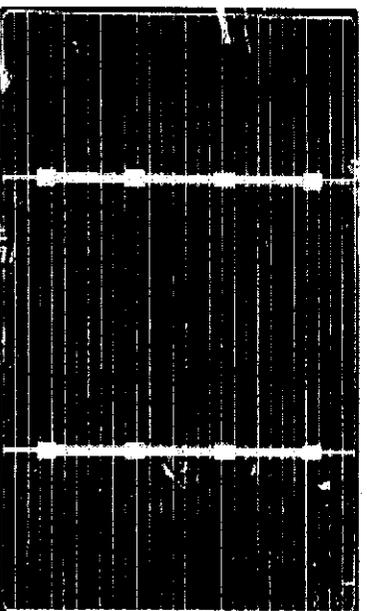


Figura 7 : Ilustração duma célula de silício policristalino (Fonte : Energia solar fotovoltaica)

2.3.3 Células de silício amorfo

Estas células são obtidas por meio da deposição de camadas finas de silício sobre superfícies de vidro ou metal. Sua eficiência na conversão da luz solar em electricidade varia entre 5% e 7%. (Solarterra)

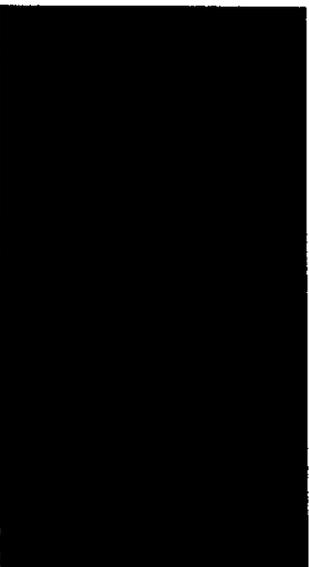


Figura 8 : Ilustração duma célula de silício amorfo. (Manual sobre Tecnologias, Projectos e Instalação (2004)

2.3.4 Circuito eléctrico equivalente de uma célula fotovoltaica

Em termos de modelo simplificado, uma célula fotovoltaica pode ser descrita através do circuito eléctrico equivalente que se mostra na figura abaixo.

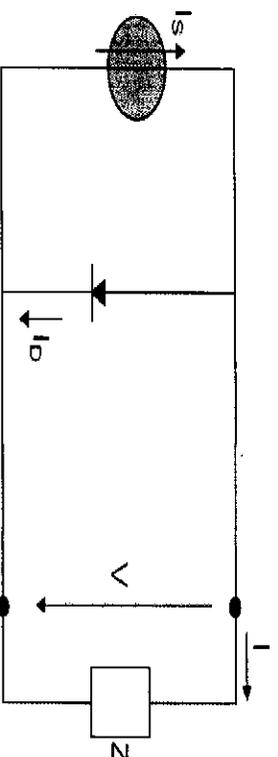


Figura 9 : Circuito eléctrico equivalente de uma célula fotovoltaica. (Fonte RUI M.G. Castro,2008)

A fonte de corrente I_s representa a corrente eléctrica gerada pelo feixe de radiação solar incidente, constituído por fotões, ao atingir a superfície activa da célula (efeito fotovoltaico).

A junção p-n funciona como um diodo que é atravessado por uma corrente interna unidireccional I_D , que depende da tensão V nos terminais da célula. (RUI M.G. Castro, 2008)

Onde :

I_0 – corrente inversa máxima de saturação do diodo

V – tensão nos terminais da célula fotovoltaica

m – factor de idealidade do diodo (diodo ideal: $m = 1$; diodo real: $m > 1$)

T - temperatura absoluta da célula em K ($0^\circ\text{C} = 273,16^\circ\text{K}$)

q - carga eléctrica do electrão ($q = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$)

K – constante de Boltzmann ($K = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J/}^\circ\text{K}$)

I_{sc} – corrente de curto-circuito

V_{oc} - tensão de circuito aberto

P_{max} - potência máxima

A corrente I_D que passa pelo diodo é dada por:

$$I_D = I_0 \left(e^{\frac{V}{mV_T}} - 1 \right) \quad (3)$$

$$V_T = KT/q \quad \text{quando } (T = 298,16^\circ\text{K}) \quad V_T = 25,7 \text{ mV}$$

A corrente I que passa pela carga Z é dada portanto:

$$I = I_s - I_D = I_s - I_0 \left(e^{\frac{V}{mV_T}} - 1 \right) \quad (4)$$

Pontos de operação da célula solar fotovoltaica:

Curto-circuito

$$V = 0$$

$$I_D = 0 \quad (5)$$

$$I = I_s = I_{sc}$$

A corrente de curto-circuito I_{sc} é o valor máximo da corrente de carga, igual, portanto, à corrente gerada por efeito fotovoltaico. O seu valor é uma característica da célula, sendo um dado fornecido pelo fabricante para determinadas condições de radiação incidente e temperatura.

Circuito aberto

$$I = 0$$

$$V_{oc} = mV_T \ln(1 + I_s/I_0) \quad (6)$$

A tensão do circuito em aberto V_{oc} é o valor de tensão máxima nos terminais da célula, que ocorre quando está aberto. O seu valor é uma característica da célula, sendo um dado fornecido pelo fabricante para determinadas condições de radiação solar incidente e temperatura.

Potência máxima

$$P_{max} = I_{mp} * V_{mp} \quad (7)$$

2.3.5 Características da curva I – V de uma célula fotovoltaica de silício cristalino

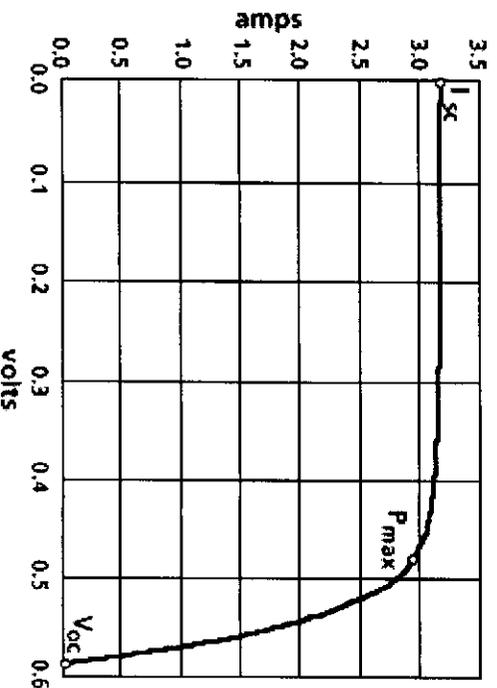


Figura 10 : Curva I-V de uma célula de silício cristalino; sob seguintes condições : $\theta = 25^\circ\text{C}$, $G = 1000 \text{ W/m}^2$; $A = 0,01 \text{ m}^2$

2.4 Sistema fotovoltaico ligado à rede pública

É um sistema que converte a radiação solar em electricidade através de módulos fotovoltaicos agrupados em série ou em paralelo e posteriormente injecta à rede eléctrica, e este apresenta duas configurações distintas que são: sistemas fotovoltaicos distribuídos e centralizados. Os sistemas fotovoltaicos distribuídos são instalados próximo do local de consumo, alguns injectam toda corrente gerada à rede outros injectam o remanescente da demanda da residência e os centralizados são instalados no solo, em locais distantes da zona de consumo devido a grandes áreas que ocupam, estes geram potências altas acima de 100 KWp diários. Os componentes do sistema fotovoltaico ligado a rede são: gerador fotovoltaico, inversor, caixas de protecção DC e AC, cabos de conexão DC e AC, contadores e a rede eléctrica.

Painél Fotovoltaico

Conjunto de módulos fotovoltaicos agrupados em série ou em paralelo, correspondem a unidade de geração de energia, que converte a energia incidente do Sol directamente em electricidade.

Caixa de Protecção DC

Esta caixa tem a finalidade de proteger a instalação de eventuais sobre-tensões que possam atingir o sistema, seja proveniente da rede, seja proveniente de um raio que atinja os módulos e a estrutura. (Manual de utilizador)

Caixa de Protecção AC

Esta caixa tem a finalidade de proteger a canalização terminando junto do contador de consumo e deste ligando à portinhola de produção e consumo. Este último elemento faz a interligação do sistema de produção com a rede de distribuição pública. (Manual de utilizador)

Inversor

O inversor tem a finalidade de transformar a corrente contínua em corrente alternada a uma frequência de 50Hz e tensão de 230 V. Desconectar o sistema fotovoltaico da rede caso os níveis de corrente, tensão e frequência não estejam dentro da faixa aceitável dos padrões da rede eléctrica. Isolar o gerador fotovoltaico da rede quando a mesma não estiver energizada, seja por falhas ou operações de manutenção, evitando possíveis acidentes com os operadores.

O inversor pode apresentar um painel de informação com parâmetros de entrada e armazenamento das informações em *data-logger*. Podem ser registadas, por exemplo, grandezas eléctricas como a tensão da corrente contínua e corrente alternada, potência da corrente alternada, energia da corrente alternada diária, energia da corrente alternada acumulada entregue à rede, frequência, os parâmetros meteorológicos e térmicos, como irradiação no plano dos geradores e a temperatura de operação dos módulos. (PEREIRA L.S.O, et al 2008

Contadores

Tem a função de medir a quantidade de energia da rede consumida pela instalação eléctrica e a quantidade de energia injectada na rede pelo sistema fotovoltaico ligado à rede pública. Pode ser adoptada tanto uma configuração com dois medidores unidireccionais ou a configuração com um medidor bidireccional, que regista quanto é consumido da rede quando a energia é injectada pelo sistema fotovoltaico.

Rede eléctrica

É a rede de distribuição da concessionária local, que fornece energia para instalações dos consumidores.

2.4.1 Esquema do sistema fotovoltaico ligado à rede pública

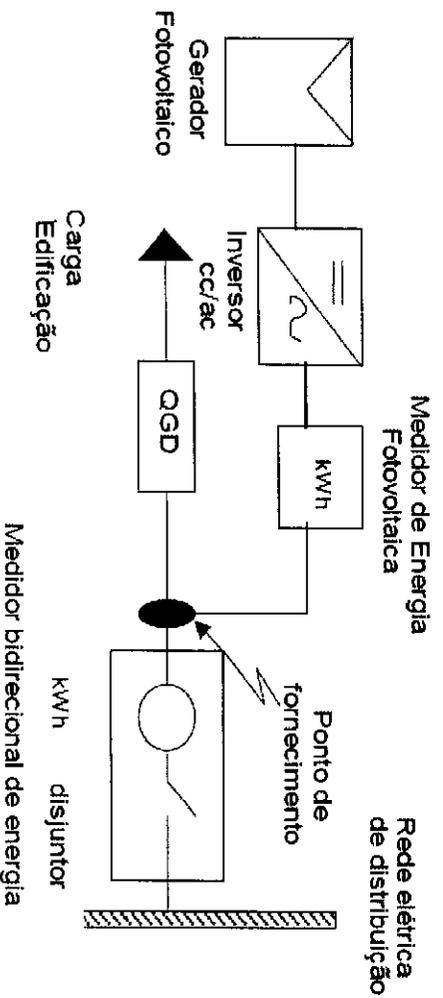


Figura 11 : Esquema do sistema fotovoltaico ligado à rede eléctrica pública(Fonte : Solar Project).

2.4.2 Funcionamento do sistema fotovoltaico ligado à rede pública

O esquema acima mostrado funciona de tal forma que quando o gerador fotovoltaico montado no telhado de modo a evitar sombreamentos gera corrente eléctrica contínua, através de cabos de conexão DC, a corrente contínua flui até ao inversor passando da caixa de protecção DC, esta última é acoplada ao sistema caso o inversor escolhido não desempenhe as funções desta, neste contexto, o inversor converte a corrente contínua em alternada adequando-a deste modo à rede eléctrica convencional, uma vez que a corrente eléctrica da rede é de forma alternada. Por intermédio de cabos de conexão AC flui a corrente eléctrica alternada passando da caixa de protecção AC e do contador de corrente eléctrica gerada no sistema, caso o inversor do sistema não desempenhe estas funções. No ponto de fornecimento efectua se a interligação entre o sistema fotovoltaico e a rede eléctrica, todos equipamentos são conectados em série.

2.5 Processo de conversão da tensão contínua em alternada

Nos sistemas fotovoltaicos ligados a rede os inversores apropriados são os inversores comutados pela rede, cuja inversão é controlada pela frequência de tensão da rede de distribuição, a onda de saída deve ser senoidal pura e a tensão compatível com a rede nacional. O inversor deverá garantir o fornecimento de energia eléctrica com qualidade igual ou superior a da rede de modo a não danificar os aparelhos ligados ao sistema.

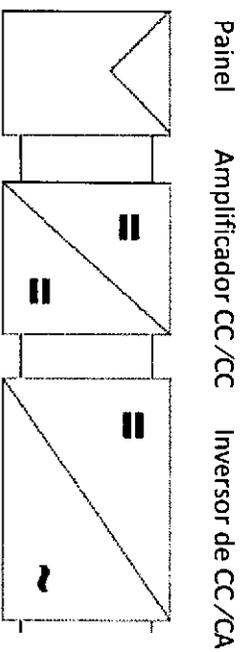


Figura 12 : Esquema de geração da tensão contínua à conversão em corrente alternada

Amplificação da tensão contínua

A amplificação consiste em multiplicar o sinal de pequena amplitude na entrada do inversor por um número maior que uma unidade, segundo a fórmula abaixo.

$$V_{amp} = V_{ef} (2)^{1/2} \quad (8)$$

A amplificação da tensão é para garantir que o inversor forneça níveis desejados de tensão à carga. Para esta conversão utiliza-se um conversor CC-CC que apresenta 4 etapas de funcionamento duas das quais realizam a transferência de energia da fonte de entrada para a carga e outras duas mantêm a corrente no indutor através de diodos.

O esquema abaixo funciona de tal modo que quando o interruptor Q_1 está em condução. Os diodos D_1 e D_4 conduzem a corrente da bobina de filtragem L carregando o capacitor C e fornecendo energia a carga, enquanto que os diodos D_2 e D_3 encontram-se bloqueados. Com o bloqueio do interruptor Q_1 e com a interrupção da corrente no enrolamento primário a tensão na entrada da ponte anula-se, levando todos seus diodos a entrarem em condução ao mesmo tempo para manter a circulação da corrente na bobina. A energia acumulada no filtro é entregue a carga. Quando o interruptor Q_2 é comandado a conduzir ocorre uma nova transferência de energia de entrada para a saída do inversor. Os diodos D_2 e D_3 conduzem a corrente da bobina enquanto os diodos D_1 e D_4 mantêm-se bloqueados. O capacitor C é novamente carregado e fornece junto da bobina de filtragem, a corrente de carga. A etapa encerra-se quando o interruptor Q_2 bloqueia levando o conversor a configuração em que todos diodos entram em condução. Com a tensão nula nos terminais do enrolamento secundário e corrente positiva na bobina de saída, a ponte rectificadora mantém a circulação da corrente para a carga.

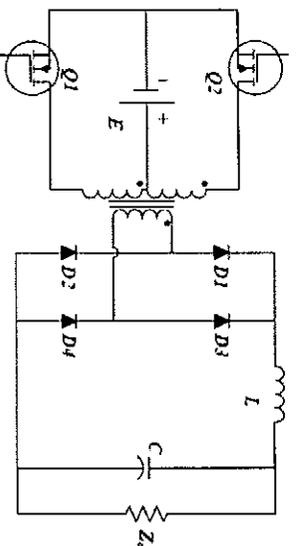


Figura 13 : Esquema do amplificador de tensão

Conversão

Para obter-se uma forma de onda senoidal pura é preciso filtrar a tensão por meio do filtro LC para eliminar ou diminuir as distorções harmônicas.

Para tal é necessário um esquema em ponte completa que apresenta 8 etapas de funcionamento 4 das quais no semiciclo positivo e outras 4 no semiciclo negativo.

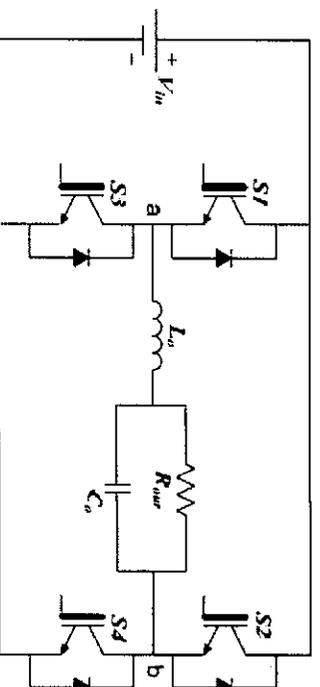


Figura 14 : Esquema da conversor da tensão contínua em alternada

O esquema acima funciona de tal modo que quando os interruptores S_1 e S_4 são comandados a conduzirem, realizam a conexão entre a fonte CC e a carga. A V_{ab} é positiva e a corrente circula através destes interruptores e do filtro de saída em direcção a carga. Como a tensão de saída é sempre inferior a tensão do barramento de entrada, a tensão aplicada sobre a bobina de filtragem L_{in} é positiva, levando sua corrente a crescer. Com abertura do interruptor S_4 , o interruptor S_2 assume a corrente da bobina desfasando a conexão entre a carga e a fonte levando a tensão V_{ab} a anular se, o sentido da corrente imposta pela bobina L_{in} , esta passa a circular através do seu diodo realizando uma comutação não dissipativa, uma vez que o diodo entra em condução espontaneamente após a descarga do capacitor. A única tensão encontrada na malha da bobina de filtragem é a propria tensão de saída, o que faz a sua corrente decrescer. O interruptor S_4 é comandado a conduzir, ligando este interruptor sob tensão positiva, realizando uma comutação dissipativa ao impor uma tensão inversa no valor da tensão do barramento CC sobre o diodo não paralelo a S_2 e assumir a corrente da bobina, que por ele circulava levando-o a bloquear-se e fazendo a tensão aplicada a entrada do filtro (V_{ab}) tornar se positiva. O interruptor S_1 bloqueado, levando a corrente do indutor a desviar se através do diodo não paralelo a S_3 e levando a tensão

V_{ab} a anular se novamente. O interruptor S_3 é comandado a conduzir, mas devido ao sentido da corrente imposto pela bobina L_o , esta mantém se circulando pelo diodo até que o interruptor S_1 seja novamente comandado a conduzir.

No semiciclo positivo os interruptores S_2 e S_3 que comandados a conduzirem, realizam a conexão entre o barramento CC e a saída. A V_{ab} é negativa e a corrente circula através dos interruptores em direcção a carga. A tensão sobre a bobina L_o e a diferença entre a tensão no barramento de entrada e a tensão instantânea aplicada a carga. Com a comutação não dissipativa provocada pela abertura do interruptor S_2 o diodo não paralelo a S_4 assume a corrente da bobina e anulando a tensão na entrada do filtro. O interruptor S_4 recebe a ordem de condução, mas devido ao sentido da corrente na bobina L_o , esta continua a circular pelo diodo, decrescendo linearmente devido a tensão (- $V_{sai\acute{d}a}$) aplicada sobre ele. A tensão instantaneamente na carga e a corrente instantânea através da bobina de filtragem são controlados pelo período de tempo em que o conversor aplica tensão negativa ou nula ao filtro de saída. O interruptor S_2 é novamente comandado a conduzir, fechando este interruptor realiza mais uma comutação dissipativa. O interruptor S_3 que recebe ordem de bloqueio, levando a corrente da bobina a ser desviada para o diodo não paralelo a S_1 e fazendo a tensão de entrada do filtro anular se novamente. O interruptor S_1 é comandado a conduzir, mas a corrente mantém-se circulando pelo seu diodo ao sentido da corrente em L_o , até que o interruptor S_3 seja novamente comandado a conduzir.

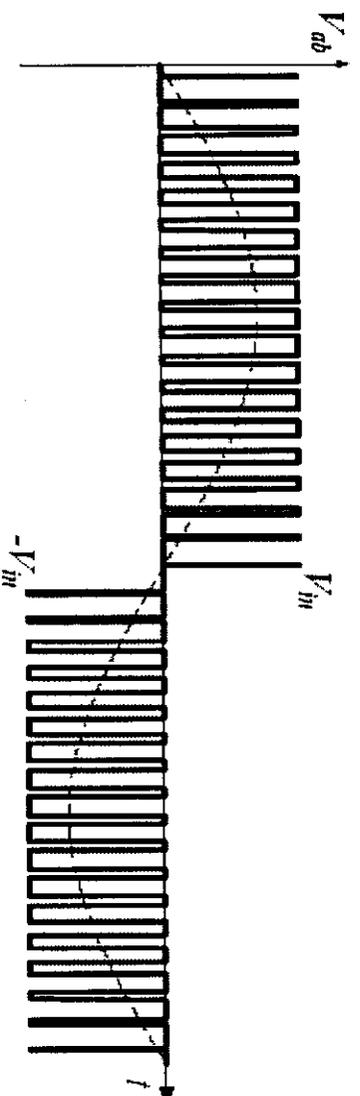


Figura 15 : Forma de onda senoidal

Equações da corrente e tensão de saída da onda

$$U = U_{\max} \cdot \sin(\omega t) \quad (9)$$

$$I = I_{\max} \cdot \sin(\omega t) \quad (10)$$

2.6 Vantagens e Desvantagens do sistema fotovoltaico ligado à rede comparado com gerador a diesel.

	Vantagens	Desvantagens
Sistema fotovoltaico ligado à rede	<p>Gera energia eléctrica sem efeitos secundários (não há emissões nem ruído),</p> <p>Modularidade das instalações expansíveis a qualquer altura),</p> <p>Adiantamento de construção de novasbarragenshidroeléctricas, usinas termoelectricas e nucleares.</p>	<p>Fabrico sofisticado, o que conduz a um custo de investimento elevado,</p> <p>Rendimento de conversão ainda é reduzido (limite teórico em célula de silício cristalino é 28%),</p> <p>Os geradores fotovoltaicos raramente são competitivos sob ponto de vista económico,</p>
Gerador a diesel	<p>Baixo custo de aquisição quando comparados com de fonte de energia fotovoltaica;</p> <p>Facilidade em encontrar peças de reposição;</p> <p>Apresentam robustez;</p> <p>São alimentados com biodiesel e já existem alguns motores que podem ser alimentados directamente com óleos vegetais, em lugar do óleo diesel, contribuindo assim para diminuição de emissão de gases poluentes para o meio ambiente.</p>	<p>Alto custo de manutenção, devido ao facto de ser necessária manutenção constante no motor, e alto custo operacional acarretado pela compra, transporte e distribuição do diesel;</p> <p>Dificuldade de logística para realizar o abastecimento de combustível,</p> <p>Poliuição do meio ambiente através de emissão de gases de efeito estufa;</p> <p>Poliuição sonora, caso o grupo gerador não esteja dentro de uma cabine própria para atenuar o ruído.</p>

3. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

3.1 Conclusão

Em um sistema fotovoltaico ligado rede eléctrica pública o elemento básico é a célula . A conversão da energia solar em electricidade acontece na célula, através do efeito fotovoltaico. Cada célula gera uma tensão eléctrica na ordem de 0.4 a 0.5 V em circuito aberto, 3A em curto circuito e produz uma potência de cerca de 1.5Wp , sendo um gerador fotovoltaico constituído por 30 a 36 células conectadas em série. A produção de energia eléctrica em células fotovoltaicas é uma possibilidade muito atraente, por não ser poluente e inesgotável. A vantagem de captação de energia solar através de sistemas fotovoltaicos é a descentralização da produção sendo deste modo acessível a qualquer comunidade assim como em qualquer local. O sistema fotovoltaico ligado à rede não necessita de armazenamento sendo que a rede de distribuição Pública de electricidade funciona como um acumulador de energia eléctrica enquanto que o sistema Fotovoltaico isolado precisa de ser ajustado à procura energética e necessita dum sistema de armazenamento. O sistema fotovoltaico ligado à rede eléctrica, pode funcionar sem estarem conectadas as caixas de protecção de DC e AC de salientar que o sistema e a estrutura estarão desprotegidos. Salientar que o usuário do sistema fotovoltaico ligado à rede deixa de ser apenas consumidor, passando a ser um produtor/consumidor de energia eléctrica.

3.2 Recomendações

Recomenda se que as próximas pesquisas abordassem a componente técnica do sistema fotovoltaico ligado à rede eléctrica, viabilidade económica do sistema fotovoltaico ligado à rede sem descurar da vertente inerente a sustentabilidade ambiental tomando em conta que a rede eléctrica em Moçambique ainda está em vias de expansão. Criação de parcerias entre especialistas da área ambiental e das áreas de energias renováveis para traçarem estratégias inerentes a divulgação da área de energias renováveis, assim como a criação de políticas de incentivo fiscal e financeiro por parte do governo de Moçambique para a exploração desta área de energias limpas, inesgotáveis e não escassa.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- RUI M.G. Castro. *Energias Renováveis e Produção Descentralizada*, 2004 (1 edicao) e Janeiro de 2008 (edição2.2)
- J.A.Pecas Lopes. *Aspectos Técnicos e Económicos Relativos a Integração de Sistemas Fotovoltaicos em Redes Eléctricas*,2005/2006
- HUMBERTO Jorge et al. *Micro Produção com Sistemas Fotovoltaicos e Edílicos*.
- Cássio Araújo De Nascimento. *Princípio de Funcionamento da Célula Fotovoltaica*. Lavras, Minas Gerais, Brasil 2004
- FERREIRA B.M.G et al. *Aplicações não Convencionais de Energia solar Fotovoltaica*. 2006
- Manual para Implementação de Centrais Fotovoltaica de propriedade conjunta com ligação a rede pública.
- GILBERTO Martino Jannuzi et al. *Sistemas Fotovoltaicos Conectados à rede Eléctrica no Brasil. Panorama da Legislação actual*. 2009
- Manual do utilizador "Instalação de Micro Produção Fotovoltaica de Energia. vol 3300"
- PEREIRA L.S et al. *Dimensionamento de Inversores para Sistema Fotovoltaicos Conectados à rede eléctrica*. 2008 (vol.14) pp 25 - 45
- Manuel Collares Pereira. *Tecnologias de Micro Produção e Sistemas Periférico*. 1998
- Solarterra "Energia Solar Fotovoltaica." www.solarterra.com.br

- RR energy solutions www.itenergy.pt
- Solar Project" *Energia Solar Fotovoltaica.* "
- Manual sobre *Painéis Solares Fotovoltaicos*
- GREEN, Martin A. (1998). *Solar Cells*. University of New South Wales. Kensington, NSW
- Antonio, Padilla *Electrónica analógica 1996*
- Aulas teóricas de Física dos semicondutores e dispositivos semicondutores ,
Departamento. de Física 2010