



Ministério da Educação  
**Universidade Tecnológica Federal do Paraná**  
Campus Cornélio Procópio

Diretor Devanil Antonio Francisco  
Coordenador Rodrigo Sumar  
Tecnologia em Automação Industrial



MARCEL LEMANA

## **SISTEMA DE COBERTURA AUTOMATIZADA DE ÁREA DE SECAGEM DE GRÃOS USANDO ENERGIA FOTOVOLTAICA COMO FONTE DE ENERGIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado para obtenção do Título de Tecnólogo em Automação Industrial, a Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Cornélio Procópio.

Orientador: Prof. Eduardo Heinemann

CORNÉLIO PROCÓPIO  
2015



Ministério da Educação  
**Universidade Tecnológica Federal do Paraná**  
Campus Cornélio Procópio  
Diretor Devanil Antonio Francisco  
Coordenador Rodrigo Sumar  
Tecnologia em Automação Industrial



MARCEL LEMANA

# **SISTEMA DE COBERTURA AUTOMATIZADA DE ÁREA DE SECAGEM DE GRÃOS USANDO ENERGIA FOTOVOLTAICA COMO FONTE DE ENERGIA**

CORNÉLIO PROCÓPIO  
2015



Ministério da Educação  
**Universidade Tecnológica Federal do Paraná**  
Campus Cornélio Procopio  
Diretor Devanil Antonio Francisco  
Coordenador Rodrigo Sumar  
Tecnologia em Automação Industrial



---

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

SISTEMA DE COBERTURA AUTOMATIZADA DE ÁREA DE SECAGEM DE  
GRÃOS USANDO ENERGIA FOTOVOLTAICA COMO FONTE DE ENERGIA.

por

MARCEL LEMANA

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 10 de Abril de 2015 como requisito parcial para a obtenção do título Tecnólogo em Automação Industrial. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Eduardo Heinemann  
Prof.(a) Orientador(a)

---

Rodrigo R. Sumar  
Membro titular

---

Jackson Medeiros Luz  
Membro titular

**Dedico** primeiramente a Deus, a meus pais, irmã e minha namorada que me apoiaram e me deram força nesta caminhada.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, a minha família e minha namorada por terem me ajudado nesta caminhada.

A meu professor orientador, Eduardo Heinemann, pelo apoio à realização deste trabalho, favorecendo assim minha persistência no curso.

A todos os professores que ao longo do curso, fizeram parte da minha formação.

“If today were the last day of your life, would you want to do what you’re about to do today? If the answer to this question has been “no” for too many days in a row, then you need to change something!”. (Steve Jobs)”.

LEMANA, Marcel. ***Sistema de cobertura automatizada de área de secagem de grãos usando energia fotovoltaica como fonte de energia***. 2015, 91 folhas. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnologia em Automação Industrial). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2015.

## RESUMO

O mundo atual é tecnológico e não vive mais sem energia, é fato que 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. Uma de suas vantagens é que pode ser renovável, não precisa ser controlada pelo ser humano, muita durabilidade e pouca manutenção. E pode ser utilizada em qualquer lugar do mundo principalmente em áreas isoladas, por isso é tão importante. Neste trabalho é apontado o sistema fotovoltaico como fonte alternativa de energia para acionamento de cobertura de secagem de grãos, pois além da economia é uma alternativa para a preservação do meio ambiente.

**PALAVRAS-CHAVES:** placa solar, cobertura automatizada, secagem de grãos, sistema fotovoltaico.

## **ABSTRACT**

The world today is technology and no longer lives without power, is the fact that energy is the basis of development of civilizations. Photovoltaic solar energy is the direct conversion of solar radiation into electric energy by generating direct current. One of its advantages is that it can be renewed, need not be controlled by humans, much durability and low maintenance. And it can be used anywhere in the world especially in isolated areas, so it is so important. This work is aimed photovoltaic system as alternative source of energy to drive coverage of grain drying, because besides the economy as an alternative to the preservation of the environment.

**KEYWORDS:** solar panel, automatic cover, grain drying, photovoltaic system.



## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1:** A primeira bateria solar da Bell em Americus, Geórgia.
- Figura 2:** Calvin Fuller prepara uma amostra de silício dopado com arsênio para a colocar num forno de difusão de modo a criar uma junção p-n.
- Figura 3:** Gerald Pearson, Daryl Chapin, Calvin Fuller e a sua primeira célula solar, desenvolvida nos laboratórios da Bell Telephone C. em 1954.
- Figura 4:** Corte transversal de uma célula fotovoltaica
- Figura 5:** Configuração básica de um sistema fotovoltaico.
- Figura 6:** Diagrama de sistemas fotovoltaicos em função da carga utilizada.
- Figura 7 -** Exemplo de sistema híbrido.
- Figura 8 -** Sistema conectado à rede
- Figura 9-** Rodo enleirador para café e novo manejo do terreiro.
- Figura 10:** Amontoando café no terreirão
- Figura 11 -** Planta baixa e corte AA do terreiro híbrido, módulo de 150m<sup>2</sup> e detalhes do sistema de ventilação.
- Figura 12:** Vista superior e corte longitudinal do secador híbrido, com opções para secagem em camada fixa ou em leiras.
- Figura 13-** (a) Câmara de secagem construída com caixa de fibra de 2.500 litros; (b) Detalhes do sistema de secagem em leiras.
- Figura 14:** Secador solar
- Figura 15-** Separador Hidráulico (lavador) para café
- Figura 16:** Terreiro-secador
- Figura 17-** Formação da parede do silo-armazenador de descarga central
- Figura 18 –** Desenho esquemático do refletor linear Fresnel
- Figura 19 –** Refletor Fresnel
- Figura 20 -** Esboço de um concentrador de disco parabólico
- Figura 21:** Foto de um concentrador de disco parabólico
- Figura 22-**Esboço de uma torre de concentração
- Figura 23-** Foto das torres de concentração PS10 e PS20 na Espanha
- Figura 24:** Sensor LDR.

- Figura 25:** Gráfico de luminosidade do sensor LDR.
- Figura 26:** Relé fotocélula
- Figura 27-**Mapa de índice de insolação no Brasil
- Figura 28:** Bateria Bosch 150 Ah.
- Figura 29:** Contator auxiliar Siemens.
- Figura 30:** Motor Monofásico 0,75CV.
- Figura 31:** Diagrama de força e de comando dos motores.
- Figura 32:** Esboço da Cobertura.
- Figura 33:** Detalhe da fixação da cobertura pelas roldanas.
- Figura 34:** Detalhe interno da cobertura junto com as roldanas.
- Figura 35:** Valor de lona disponível para compra.
- Figura 36:** Chave fim de curso.
- Figura 37:** Circuito de montagem sensor LDR.
- Figura 38:** Sensor fotocélula acionando contator.
- Figura 39:** Orçamento Eletrotrafo Materiais Elétricos e Iluminação.
- Figura 40:** Orçamento NeoSolar Energia Ltda.
- Figura 41:** Orçamento Alfa Materiais Elétricos Ltda.
- Figura 42:** Simulação de consumo da COPEL.

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 3.1:</b> Características do modelo EuroDish.....	58
<b>Tabela 4.1:</b> Controladores de carga mais utilizados.....	68
<b>Tabela 4.2:</b> Disjuntores a serem utilizados.....	70
<b>Tabela 4.3:</b> Recomendações de bitolas em mm <sup>2</sup> , para condutores elétricos de cobre..	73
<b>Tabela 4.4:</b> Ramal de dimensionamento do inversor à bateria.....	74
<b>Tabela 5.1:</b> Planilha total de custos.....	86

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1. MOTIVAÇÃO E RELEVÂNCIA**

1.1 INTRODUÇÃO.....	14
1.2 JUSTIFICATIVA.....	15
1.3 OBJETIVO.....	16
1.4 ORGANIZAÇÃO DA MONOGRAFIA.....	17

### **CAPÍTULO 2. MICROCENTRAIS SOLARES**

2. BREVE HISTÓRIA DA ENERGIA SOLAR.....	18
2.1 EFEITO FOTOVOLTAICO.....	22
2.2 VANTAGENS E DESVANTAGENS DO SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	24
2.2.1 Vantagens.....	24
2.2.2 Desvantagens.....	25
2.3 AS PRINCIPAIS APLICAÇÕES DO SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	26
2.4 OS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....	29
2.4.1 Sistemas Isolados.....	30
2.4.2 Sistemas Híbridos.....	31
2.4.3 Sistemas Interligados à Rede.....	32
2.5 OS EQUIPAMENTOS USADOS PARA FABRICAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	33
2.5.1 Gerador fotovoltaico.....	33
2.5.2 Acumuladores de energia.....	34

2.5.3 Conversores.....	35
2.5.4 Reguladores de tensão.....	35
2.5.5 Demais equipamentos.....	36

### **CAPÍTULO 3. O USO DA ENERGIA FOTOVOLTAICA NA SECAGEM DE GRÃOS**

3. A SECAGEM DE GRÃOS.....	38
3.1 TIPOS DE SECAGEM.....	39
3.2 A SECAGEM DOS GRÃOS DE CAFÉ.....	40
3.3 MODELOS DE SISTEMA DE SECADORES.....	45
3.3.1 TERREIRO HÍBRIDO OU TERREIRO SECADOR.....	46
3.4 ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA SECAGEM E ARMAZENAGEM DE CAFÉ.....	50
3.4.1 Receptor.....	54
3.4.2 Mecanismos de rastreamento.....	54
3.4.3 Coletor Fresnel.....	55
3.4.4 Disco parabólico.....	56
3.4.5 Torre Central.....	59
3.5 SENSORES.....	60

### **CAPÍTULO 4. PROJETO DE UM SISTEMA DE COBERTURA AUTOMATIZADA DE ÁREA DE SECAGEM DE GRÃOS USANDO ENERGIA FOTOVOLTAICA**

4.1 DIMENSIONAMENTO DA COBERTURA AUTOMATIZADA DO TERMO SECADOR.....	64
4.2 DIMENSIONAMENTO DO PAINEL SOLAR.....	64
4.3 DIMENSIONAMENTO DE BATERIAS.....	66
4.4 DIMENSIONAMENTO DO CONTROLADOR DE CARGA.....	68
4.5 DIMENSIONAMENTO DOS INVERSORES.....	69
4.6 DIMENSIONAMENTO DOS DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO.....	71

4.6.1 Contatores.....	71
4.7 MOTORES.....	72
4.8 DIMENSIONAMENTO DOS CONDUTORES.....	73
4.9 COBERTURA AUTOMATIZADA DE ÁREA DE SECAGEM DE GRÃOS.....	75
4.9.1 Chave de Contato Fim de Curso.....	78
4.10 CIRCUITO DE MONTAGEM DE SENSOR LDR.....	79
4.11 SENSOR FOTOCÉLULA.....	80

## **CAPÍTULO 5. ORÇAMENTOS, RESULTADOS E CUSTOS**

5.1 EMPRESA DE ENERGIA SOLAR.....	82
5.2 EMPRESA DE ENERGIA ELÉTRICA CONVENCIONAL.....	83

<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>87</b>
-----------------------	-----------

<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</b>	<b>88</b>
--	-----------

# CAPÍTULO 1

## MOTIVAÇÃO E RELEVÂNCIA

### 1.1 INTRODUÇÃO

Sabendo que a energia gerada pelo Sol é uma fonte inesgotável de energia, atualmente tornou-se uma das alternativas energéticas com maiores possibilidades de uso para melhoria do futuro das pessoas.

Assim, o Sol é responsável pela origem de outras fontes de energia, que para serem aproveitadas surgem os sistemas fotovoltaicos, que são formas de energia que possibilitam sua utilização nos lugares mais distantes.

Atualmente, uma boa parte de propriedades de cultivo de café e outros grãos, estão fora do alcance do fornecimento de energia elétrica convencional (atendimento pela COPEL), por isso é necessário que o produtor tenha uma forma alternativa de fornecimento de energia, para utilizar nos processos automatizados que hoje em dia vêm aumentando cada vez mais em todos os setores.

Além disso, em algumas regiões brasileiras a falta de energia elétrica tem sido um problema, não só pela distância dessas propriedades, como mostra a matéria descrita abaixo:

*Todo ano, no período do cultivo do Arroz, o assunto Energia Elétrica vem à tona. Nesta safra (13/14) novamente o problema no fornecimento de energia elétrica ocorreu, e, em algumas regiões do estado do RS este problema foi mais grave. No programa "Bom Dia RS" de 10/01/14 foi ao ar uma matéria sobre a insatisfação dos agricultores com a qualidade da energia elétrica nas áreas rurais. Segundo a matéria, a estimativa de perdas com problemas no fornecimento de energia elétrica é de pelo menos 5%. (Em: <<http://eletroesters.blogspot.com.br/2014/01/agricultura-problemas-energia-eletrica-pt1.html>>. Acesso em: 28 jan. 2014).*

Nos últimos tempos a exigência de cafés especiais está cada vez maior, a qualidade e valorização desses grãos dependem muito de sua produção, sempre pensando na diminuição de gastos com energia elétrica convencional e mão-de-obra para se ter um lucro maior e também podendo vender uma matéria prima de qualidade. E um meio de automatizar um dos processos mais importantes nessa produção como a cobertura dessas de secagem seria muito viável para os produtores em geral.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

O trabalho prevê o projeto e fabricação de um sistema automatizado para abertura de fechamento de cobertura da área de secagem de grãos de café, com uma forma de energia alternativa (fotovoltaica), pois nessas áreas rurais de produção de café é rara a transmissão de energia elétrica convencional, pois geralmente essas regiões são acidentadas.

Considerando que a região do norte do Paraná encontra-se acima do trópico de capricórnio e linha do equador isto resultando em uma boa incidência de luz solar, razão pela qual se escolhem como fonte alternativa de energia a luz solar.

E por ser necessária uma cobertura móvel das áreas de secagem de grãos (terreirão – feito em piso de cimento proporcional à área plantada / produção de grãos) que serão secados e visto que o clima pode mudar durante o dia ou à noite podendo ocorrer pancadas de chuva, e causando um produto final de baixa qualidade.

Razão pela qual é necessário que se adote um sistema automatizado, dando maior tranquilidade ao produtor no que diz respeito à segurança da progressão do desenvolvimento da contínua secagem.

Outra vantagem do uso desse sistema é a durabilidade do conjunto de equipamentos utilizados, que pode ser maior do que 25 anos de uso ininterrupto, sem que seja necessária a manutenção desses equipamentos.

A taxa de secagem tem efeito significativo sobre a qualidade do grão. Altas taxas podem provocar danos físicos, descoloração do produto, manchas, entre outros (AFONSO JÚNIOR, 2001; RIBEIRO et al., 2003).

A velocidade de secagem do café é influenciada por vários fatores como temperatura e fluxo de ar de secagem, umidade e temperatura do ar ambiente, teor de água inicial e final do produto (BORÉM et al., 2003; RIBEIRO et al., 2003).

Segundo CENBIO, 2003a, e citado por MOREIRA, as regiões de baixa densidade populacional apresentam baixos índices de eletrificação, pois a extensão da rede para atendimento de poucos consumidores é, geralmente, econômica e ambientalmente inviável.



### 1.3 OBJETIVOS

O trabalho proposto tem por objetivo desenvolver um sistema de captação da energia solar utilizando células fotovoltaicas e armazenagem em um banco de 04 baterias de 150A que são carregadas constantemente pela energia vinda das células. As células solares convertem luz solar em eletricidade, a qual deve ser armazenada em bancos de baterias de alta capacidade, quando não for diretamente usada. Economicamente, o banco de baterias deve armazenar energia suficiente para minimizar os períodos noturnos e/ou de baixas intensidades de luz. (FELIX A. FARRET 2010).

A carga é alimentada diretamente em corrente contínua ou poderá ser feita a transformação utilizando um inversor de potência tipo chaveado (comutação forçada), para corrente alternada senoidal estabilizada que acionará dois motores um em cada lado da cobertura, que dará partida através de um sensor de fotocélula, para indicar a presença de raios solares, que acionará o mecanismo de abertura ou fechamento da cobertura.

Enfim utilizar um sistema de captação de energia solar através de células fotovoltaicas e o armazenamento para o uso no mecanismo de abertura e fechamento da cobertura das áreas de secagem dos grãos de café a fim de diminuir custos com mão de obra e custos com monitoramento da umidade.

#### **1.4 ORGANIZAÇÃO DA MONOGRAFIA**

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.

## CAPÍTULO 2

### MICROCENTRAIS SOLARES

#### 2 BREVE HISTÓRIA DA ENERGIA SOLAR

Segundo Vallêra e Brito (2006) o efeito fotovoltaico foi observado pela primeira vez no ano de 1839 pelo físico francês Alexandre Edmond Becquerel, que através de algumas experiências eletroquímicas observou por acaso, que a luz solar em contato com eletrodos de platina ou de prata geravam um efeito fotovoltaico. Essa descoberta foi determinante para a construção da primeira célula fotovoltaica.



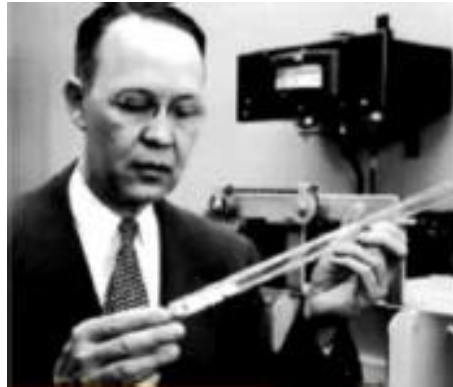
**Figura 1:** A primeira bateria solar da Bell em Americus, Geórgia.

**Fonte:** <http://web.ist.utl.pt/> BREVE HISTÓRIA DA ENERGIA SOLAR.

Na sequência, Adams e o seu aluno Richard Day foram os primeiros desenvolvedores da primeira placa sólida fotovoltaica no ano de 1877, se resumia em uma película de selênio apoiado em uma camada de ferro e uma película muito fina de

ouro que servia de contato frontal. Esta montagem apresentou uma taxa de conversão de 0,5%.

No entanto, foi no mês de março de 1953 que começou a história da primeira célula solar quando Calvin Fuller, um químico dos Bell Laboratories (Bell Labs), em Murray Hill, New Jersey, nos Estados Unidos da América, desenvolveu um processo de difusão para introduzir impurezas em cristais de silício, de modo a controlar as suas propriedades eléctricas (um processo chamado “dopagem”). Com isso, Fuller produziu uma barra de silício dopado com uma pequena concentração de gálio, que o torna condutor, sendo as cargas móveis positivas (e por isso é chamado silício do “tipo p”). (VALLÊRA; BRITO, 2006, p. 11)



**Figura 2:** Calvin Fuller prepara uma amostra de silício dopado com arsénio para a colocar num forno de difusão de modo a criar uma junção p-n.  
Fonte: <http://www.academia.edu>

Depois disso, seu amigo o físico Gerald Pearson (trabalhava no Bell Labs) seguiu suas instruções e mergulhou a barra de silício dopado num banho quente de lítio, criando assim na superfície da barra uma zona com excesso de elétrons livres, portadores com carga negativa (e por isso chamado silício do “tipo n”). Percebeu-se que na região onde o silício “tipo n” fica em contacto com o silício “tipo p”, a “junção p-n”, surge um campo eléctrico permanente. Então após caracterizar a amostra através da eletricidade, Calvin Fuller compreendeu que quando a amostra era exposta à luz ela produzia eletricidade. Com esta experiência Calvin Fuller fez a primeira célula solar de silício. (VALLÊRA; BRITO, 2006, p.11)

Logo após esta experiência Pearson juntamente com o engenheiro Daryl Chapin, que estudava soluções para substituir as baterias elétricas que mantinham em funcionamento redes telefônicas remotas. Chapin ensaiara células solares de selênio, conhecidas há muito, mas com resultados decepcionantes: a eficiência máxima que conseguira era bem inferior a 1%. Ensaando a nova célula, Chapin e Pearson verificaram que a eficiência de conversão era de cerca de 4%, muitas vezes maior do que a melhor célula de selênio. (VALLÊRA; BRITO, 2006, p.11)



**FIGURA 3:** Gerald Pearson, Daryl Chapin, Calvin Fuller e a sua primeira célula solar, desenvolvida nos laboratórios da Bell Telephone C. em 1954.

**Fonte:** <http://www.academia.edu.com>

Entretanto o grupo de estudiosos ao estudar esta nova célula encontra muitas dificuldades. Eles observaram que por um lado a célula revelava uma resistência-série muito significativa, devida à dificuldade em soldar contatos elétricos ao material. E por outro lado, mesmo à temperatura ambiente, verificaram que o lítio migrava para o interior do silício, pelo que a junção p-n (a “zona ativa” da célula solar) ficava cada vez mais profunda e inacessível aos fótons da radiação solar, diminuindo assim a eficiência da célula. Foi então que Fuller substituiu o gálio por arsênio (formando um substrato do tipo n) seguido por uma difusão de boro (formando uma zona do tipo p à superfície). As novas células podiam agora ser facilmente soldadas e revelaram uma eficiência recorde, atingindo 6%. (VALLÊRA; BRITO, 2006, p. 11).

Após estes resultados e com autorização do Pentágono para a sua publicação, a primeira célula solar foi apresentada na reunião anual da National Academy of

Sciences, em Washington, e anunciada numa conferência de imprensa no dia 25 de Abril de 1954.

Cabe destacar ainda que a demonstração pública da “pilha solar” foi através da transmissão via rádio, onde D.E. Thomas e Morton Prince trocaram algumas palavras entre si utilizando um sistema portátil alimentado por uma célula solar, pois as células solares tiveram sua utilização em uma rede telefônica local.

Apesar disso, ficou constatado que o custo para criar as células solares era muito elevado e sua utilização era apenas em casos especiais como: produzir eletricidade no espaço. Então no ano de 1957, quando foi lançado o Sputnik, primeiro satélite que se utilizou da energia solar para a produção da energia elétrica, com isso os países Estados Unidos e a União Soviética, iniciaram a corrida pelo espaço. (VALLÊRA; BRITO, 2006, p. 12).

Mas foi na década de 60 que houve um desenvolvimento de células solares cada vez mais eficientes para utilização no espaço, fazendo um avanço tecnológico muito grande com relação a energia solar, uma delas foi a redução da resistência e a “célula violeta” cuja era eficiência de 13,5%(VALLÊRA; BRITO, 2006, p. 13).

Já na década de 80 e 90, os investimentos na energia solar foi grande devido às mudanças climáticas. Exemplos de utilização solar foram: a instalação da primeira central solar de grande envergadura (1MWp) na Califórnia, em 1982, e o lançamento do programa de “telhados solares” na Alemanha (1990) e no Japão (1993).(VALLÊRA;BRITO, 2006, p. 14).

Por fim em 1998, depois de muitos experimentos a eficiência da célula solar atingiu o recorde de 24,7%, com células de silício mono cristalinas. Células com configurações mais complexas (chamadas células em cascata) permitem atingir rendimentos de conversão superiores a 34% (VALLÊRA; BRITO, 2006, p. 14). A European Photovoltaic Industry Association (EPIA) publicou em 2004 uma previsão de crescimento do mercado superior a 30% por ano, e uma redução nos custos proporcional ao crescimento de painéis instalados. A EPIA antecipa que em 2020 cerca de 1% da eletricidade consumida mundialmente será de origem fotovoltaica, elevando-se essa fração para 26% em 2040 (VALLÊRA; BRITO, 2006, p. 14).

## 2.1 EFEITO FOTOVOLTAICO

Para compreender sobre os microcentrais se faz necessário conceituar sobre os efeitos fotovoltaicos.

O sistema fotovoltaico é um conjunto de componentes e de um integrado de módulos fotovoltaicos, que são projetados para transformar a energia solar em energia elétrica. (MAYCOCK, 1981; TREBLE, 1991).

Ainda segundo Felix A. Farret (2010, p.93) os efeitos fotovoltaicos existem porque são energias eletrônicas que existem em faixas de energia proibida e permitida denominadas hiato energético. Esses hiatos energéticos são encontrados nos materiais semicondutores e dentro da faixa permitida, são encontradas as faixas de valência e de condução, separadas por um hiato energético.

De acordo com Farret (2010) a largura do hiato energético é um parâmetro característico de cada semicondutor. O elétron ao passar de uma faixa a outra, acaba deixando um lugar vago que é considerado uma carga positiva. Assim, como semicondutor iluminado permite-se que o mesmo funcione como se fosse uma bateria, com isso as cargas se acumulam nos lugares opostos da pastilha (p.93).

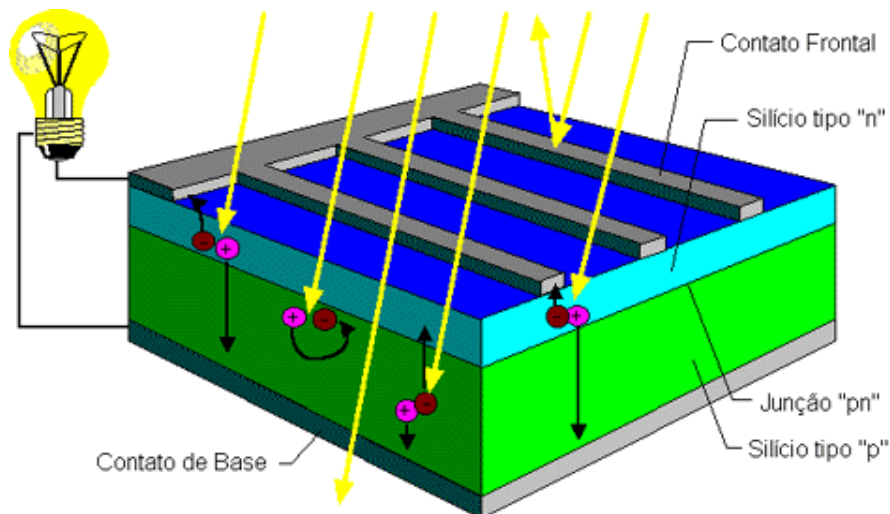
Assim, quando os elétrons e as lacunas se unem cria se a energia, estes elétrons contribuem para a formação da energia através da corrente elétrica, são partículas que se movimentam de forma contrária, uma em relação a outra.

Entretanto, ao aparecer o potencial eletrostático separando as cargas positivas das negativas e as duas regiões forem conectadas com um fio externo a corrente elétrica fluirá com muita circulação. Nas células solares estão presentes o silício cristalino, sendo que para a formação do campo elétrico é preciso que haja uma contaminação controlada e seletiva do material semicondutor. (FARRET, 2010, p.93).

Conforme Farret (2010), para a limpeza dos módulos fotovoltaicos deve ser utilizado apenas um pano úmido, evitar que folhas ou depósitos se acumulem sobre os coletores, pois são estruturas muito sensíveis à sombra. A energia fotovoltaica nada mais é que a transformação de uma energia direta de energia radiante em energia elétrica.

Contudo existem alguns fatores que quando aplicados mostram a eficiência e a qualidade da célula solar, pois depende do hiato energético, característica de cada condutor, qualidade do material empregado e da tecnologia de fabricação. O dispositivo que transforma a energia solar em eletricidade é chamado de célula fotovoltaica, é a associação dessas células que compõem os chamados painéis fotovoltaicos.

Ainda, conforme Walisiewicz (2008 p.50), as células fotoelétricas ou fotovoltaicas são responsáveis pelo funcionamento dos painéis solares. Para que se consiga uma mudança na forma de condução de eletricidade o cristal de silício é misturado a impurezas. Assim uma célula fotoelétrica é constituída de dois tipos diferentes de silício misturado chamado n (negativos) e p(positivos) prensados no meio de uma fina camada de um material semiconductor. No momento em a luz atinge um átomo de silício no lado p, neutraliza um elétron da rede formada pelos cristais. Com isso, as impurezas do silício p impedem que o elétron regresse para seu lugar de origem. Ao contrário disso, o elétron segue para um caminho frágil e se desloca para o lado na lacuna carregada positivamente que deixado por esse elétron, por sua vez, se coloca para o lado p. Por fim, quanto maior a quantidade de luz que atinge a célula, maior será o número de lacunas no lado p. Unindo essas duas camadas produz - se a energia elétrica.



**Figura 4:** Corte transversal de uma célula fotovoltaica

**Fonte:** [http://www.cresesb.cepel.br/index.php?link=/tutorial/tutorial\\_solar.htm](http://www.cresesb.cepel.br/index.php?link=/tutorial/tutorial_solar.htm)



Farret(2010) cita ainda que a relação entre a potência elétrica gerada e a potência de radiação incidente sobre o condutor é de 10%, no sistema comercial.Ex:dia claro ao meio dia no módulo fotovoltaico gera uma potência elétrica de 100 Wm.

Com relação aos materiais semicondutores necessários para que a energia fotovoltaica se transforme em energia solar são silício cristalino e silício amorfo hidrogenado.

Se por um lado o silício amorfo hidrogenado possui um custo de fabricação zero, por outro lado o uso do silício cristalino é o mais viável, pois é mais eficaz, com muita durabilidade e de confiança, tornando este tipo de produção restrita a poucas pessoas.

No entanto, Felix A. Farret (2010) destaca que a energia produzida pelo Sol através dos módulos solares deve ser guardada em bancos de bateria de alta capacidade quando não estiver sendo utilizada. Pois deve armazenar energia necessária para suprir os horários em que a energia está com baixa intensidade de luz e nos períodos noturnos.

## **2.2 VANTAGENS E DESVANTAGENS DO SISTEMA FOTOVOLTAICO**

Segundo Walisiewicz (2008 p.52) as vantagens e desvantagens da energia solar têm relação com o custo e benefício do sistema fotovoltaico. Como é um equipamento de alto custo e a maioria das pessoas ainda não podem obtê-lo, este tipo de energia ainda custa mais do que a energia fotoelétrica, com isso o seu uso doméstico fica inviável.

Já por outro lado conforme Giuliana Capello (2009) a energia solar em locais de temperatura ambiente muito alta é ideal. Quando se instala esse equipamento em um telhado e custa 0,4% da obra, podendo ser pago em 4(quatro) anos.

### **2.2.1 Vantagens**

- A energia solar não polui durante seu uso. A poluição decorrente da fabricação dos equipamentos necessários para a construção dos painéis solares é totalmente controlável utilizando as formas de controle existentes atualmente.

- As centrais necessitam de manutenção mínima.
- Os painéis solares são a cada dia mais potentes ao mesmo tempo em que seu custo vem decaindo. Isso torna cada vez mais a energia solar uma solução economicamente viável.
- A energia solar é excelente em lugares remotos ou de difícil acesso, pois sua instalação em pequena escala não obriga a enormes investimentos em linhas de transmissão.
- Sistema Modular levíssimo; simples instalação, com fácil manuseio e transporte, podendo ser ampliado conforme sua necessidade;
- Grande vida útil, acima de 25 anos;
- Compatível com qualquer bateria; funcionamento silencioso;
- Manutenção quase inexistente;
- Não possui partes móveis que possam se desgastar;
- Não produzem contaminação ambiental.
- Em países tropicais, como o Brasil, a utilização da energia solar é viável em praticamente todo o território, e, em locais longe dos centros de produção energética sua utilização ajuda a diminuir a procura energética nestes e consequentemente a perda de energia que ocorreria na transmissão. ( PORTAL-ENERGIA,2014)

### **2.2.2 Desvantagens**

- Existe variação nas quantidades produzidas de acordo com a situação climática (chuvas, neve), além de que durante a noite não existe produção alguma, o que obriga a que existam meios de armazenamento da energia produzida durante o dia em locais onde os painéis solares não estejam ligados à rede de transmissão de energia.
- Locais em latitudes médias e altas (Ex: Finlândia, Islândia, Nova Zelândia e Sul da Argentina e Chile) sofrem quedas bruscas de produção durante os meses de Inverno devido à menor disponibilidade diária de energia solar. Locais com

frequente cobertura de nuvens (Londres), tendem a ter variações diárias de produção de acordo com o grau de nebulosidade.

- As formas de armazenamento da energia solar são pouco eficientes quando comparadas, por exemplo, aos combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás), e a energia hidroelétrica (água).
- Os painéis solares têm um rendimento de apenas 25%
- Gera energia de 12 volts (corrente contínua);
- As células fotovoltaicas necessitam de tecnologia sofisticada para sua fabricação;
- Possuem custo de investimento elevado;
- O rendimento real de conversão de um módulo é reduzido (o limite teórico máximo numa célula de silício cristalino é cerca de 30%), face ao custo do investimento;
- Necessita de um armazenador de energia;
- Seu rendimento é dependente do índice de radiação, temperatura, quantidade de nuvens, dentre outros. (PORTAL-ENERGIA, 2014)

### **2.3 AS PRINCIPAIS APLICAÇÕES DO SISTEMA FOTOVOLTAICO**

A energia solar fotovoltaica é uma forma de gerar energia elétrica através da conversão da radiação solar. É uma forma de energia limpa, renovável e amiga do ambiente. Por ser uma fonte de energia renovável e natural, pode ter diversas aplicações: eletrificação de residências; telecomunicações; suprimento de água potável e irrigação; subestações energéticas; refrigeração medicinal; iluminação pública; sinalização/bóias marítimas; proteção catódica contra corrosão em tubulações; cercas elétricas. Além dessas aplicações, os sistemas fotovoltaicos podem ser utilizados em:

## **- Centrais de Produção de Energia Fotovoltaicos**

Na Europa é onde foram construídas mais centrais de produção de energia fotovoltaicos. Assim existe uma maior aposta na criação de centrais para produção de energia – eletricidade – através da conversão da energia solar pelo efeito fotovoltaico.

Em Dezembro de 2010 as maiores centrais de produção de energia fotovoltaicos mundiais localizavam-se em (por ordem decrescente de produção de energia sola fotovoltaico): Sarnia (Canada – 97MW), Montalto di Castro (Itália – 84.2 MW), Finsterwalde (Alemanha – 80.7 MW), Rovigo (Itália – 70 MW), Olmedilla (Espanha – 60 MW), Strasskirchen (Alemanha – 54 MW) e em Lieberose (Alemanha – 53 MW).

Há projetos de construção de mais centrais para aproveitamento de energia solar fotovoltaico, algumas delas com propostas para produzir cerca de 150 MW ou mais. Na china está prevista uma central de energia sola a produzir 2000 MG.

A maioria destas centrais de conversão de energia solar fotovoltaico está agregada à agricultura e usam sistemas de localização do sol inovadores. Não há poluição nem custos por usar combustível durante o trabalho destas centrais de energia solar fotovoltaico. (APLICAÇÕES, 2014)

## **- Prédios e Edifícios**

Conjuntos de painéis fotovoltaicos são agregados a edifícios. Ou integrados nos telhados, ou dentro das paredes ou ainda numa zona do solo próxima do edifício.

Em 2010 mais de metade dos painéis de energia solar fotovoltaico (9000MW) estavam instalados nos telhados dos edifícios na Alemanha.

O uso de painéis de energia solar fotovoltaicos em edifícios domésticos ou industriais tem vindo a aumentar. Por norma os painéis de energia solar fotovoltaico são instalados nos telhados, ou o próprio telhado da casa é um conjunto de painéis fotovoltaicos.

### **- Dispositivos Portáteis**

Até há coisa de uma década era comum ver-se calculadoras carregadas à base de energia solar fotovoltaico. Com a melhoria e desenvolvimento dos circuitos e capacidade dos ecrãs de LCD tem sido possível inovar nos dispositivos que usam baterias recarregáveis, sendo a energia solar fotovoltaico um dos meios para carregar essas baterias.

Têm também sido criados novos dispositivos portáteis movidos à base de energia solar fotovoltaico como: bombas de água, parquímetros, telefones de emergência, compactadores de lixo, sinais de trânsito portáteis, postos de guarda e sinais variados.

### **- Eletrificação Rural**

Países em desenvolvimento que têm aldeias afastadas das redes principais de energia começaram a usar painéis de energia solar fotovoltaicos. Em zona remotas da Índia foi criado um programa de energia rural usando energia solar fotovoltaico.

#### **Estradas Solares**

No Idaho está a fazer-se um teste em cerca de 70 km de Estrada para estudar os impactos e se é ou não viável a construção de painéis de energia solar fotovoltaico no próprio piso da estrada que são por norma locais livres de obstrução onde há predominância de sol.

### **- Satélites Movidos a Energia Solar Fotovoltaico**

Há décadas que são usados satélites movidos a energia solar. A NASA tem vindo a adotar o uso de painéis solares fotovoltaicos nos satélites que envia para o espaço, por questões económicas (sai mais barato) desde o ano 1970 até ao século 21 em que retomaram o uso de energia solar fotovoltaico.

### **- Nos transportes**

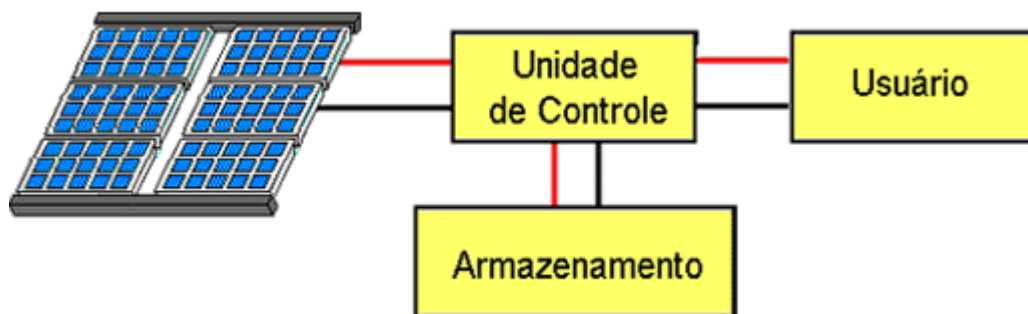
Inicialmente os painéis de energia solar fotovoltaicos foram usados para a produção de energia no espaço. Raramente tem sido aplicado a bens de locomoção,

mas está a começar a haver uma maior aposta por parte das empresas na produção de carros e barcos movidos com energia solar fotovoltaico.

Um veículo movido a energia solar fotovoltaico tem uma capacidade limitada e baixa autonomia, enquanto um carro que seja movido a energia solar fotovoltaico recarregável continuará a ter sempre autonomia, pois à medida que se vai movendo, vai acumulando energia solar.(APLICAÇÕES DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA,2014)

## 2.4 OS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Os sistemas fotovoltaicos podem ser classificados em três categorias principais, isolados, híbridos e conectados as redes. A aplicação de cada uma delas depende da disponibilidade dos recursos de energia nos locais onde os sistemas serão utilizados.



**Figura 5:** Configuração básica de um sistema fotovoltaico.

**Fonte:** [http://www.cresesb.cepel.br/index.php?link=/tutorial/tutorial\\_solar.htm](http://www.cresesb.cepel.br/index.php?link=/tutorial/tutorial_solar.htm)

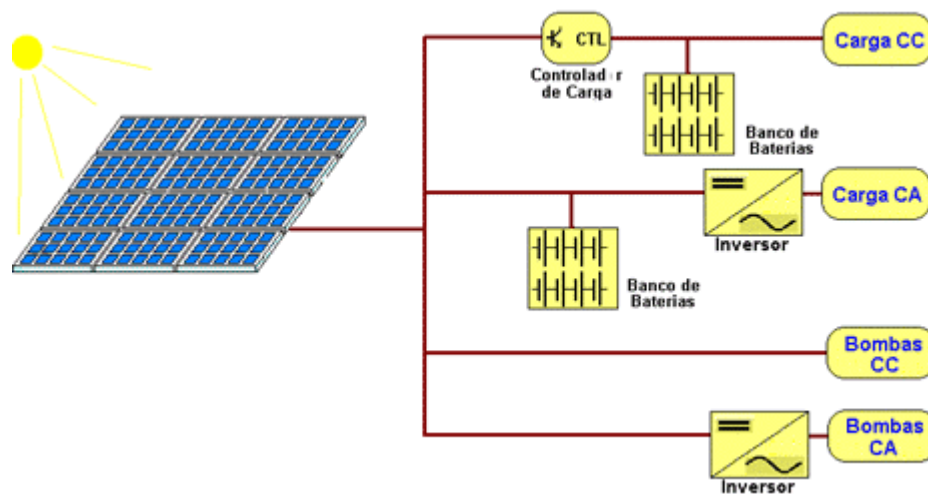
Segundo Treble (1991) e Markvart (2000), as duas categorias principais de sistemas fotovoltaicos: os sistemas isolados, ou não conectados à rede elétrica, e os sistemas conectados à rede elétrica. Os componentes que irão integrar o módulo fotovoltaico dependem de qual categoria os sistemas são encaixados.

### 2.4.1 Sistemas isolados

Os sistemas isolados, normalmente utilizam-se de algum tipo de energia. Podendo se armazenada em suas baterias a energia, são mais utilizados em aparelhos elétricos ou mesmo armazenando energia gravitacional através de um sistema de bomba de água, usados principalmente em tanques de abastecimento de água.

No entanto alguns sistemas isolados não precisam ser armazenados, um exemplo disso é quando na irrigação onde a água bombeada é consumida rapidamente ou é guardada em reservatórios. Em sistemas que necessitam de armazenamento de energia em baterias, usa-se um dispositivo para controlar a carga e a descarga na bateria. O “controlador de carga” tem como principal função não deixar que haja danos na bateria por sobrecarga ou descarga profunda. O controlador de carga é usado em sistemas pequenos onde os aparelhos utilizados são de baixa tensão e corrente contínua (CC). (ENERGIA SOLAR PRINCÍPIOS E APLICAÇÕES, 2006, p.22)

Assim neste tipo de sistema a carga CC, está acoplada de maneira direta ao painel solar, e logo a energia elétrica que o painel produz é rapidamente consumida e geralmente é utilizado em bombas d'água.



**Figura 6:** Diagrama de sistemas fotovoltaicos em função da carga utilizada.  
**Fonte:** [http://www.cresesb.cepel.br/index.php?link=/tutorial/tutorial\\_solar.htm](http://www.cresesb.cepel.br/index.php?link=/tutorial/tutorial_solar.htm)

Cabe ressaltar ainda que no sistema CC isolado com armazenamento de energia, o uso de equipamentos elétricos pode ocorrer com ou sem a produção da energia fotovoltaica. Alguns exemplos: iluminação, TV, rádio, telefone. Para isso, é comum a utilização de controladores de carga, pois prolonga seu tempo de utilização.

Por fim, no sistema CA isolado com armazenamento de energia, possui o sistema idêntico ao sistema CC, no entanto sua diferença está na utilização da carga é alimentada em energia CA, que usa um inversor entre o painel e a carga. Muito usado em eletrodomésticos convencionais, pois garantem um maior conforto em sua utilização. (ENERGIA SOLAR PRINCÍPIOS E APLICAÇÕES, 2006, p.23)

#### 2.4.2 Sistemas Híbridos

Os sistemas híbridos que não se conectam em redes convencionais, as fontes de geração de energia que eles apresentam são: turbinas eólicas, geração diesel, módulos fotovoltaicos entre outras. Por possuir várias formas de produção de energia torna-se necessário uma otimização da utilização dessas energias. Então para que haja um a entrega de energia ao usuário seja de qualidade, se faz necessário um controle rígido da produção dessa energia.



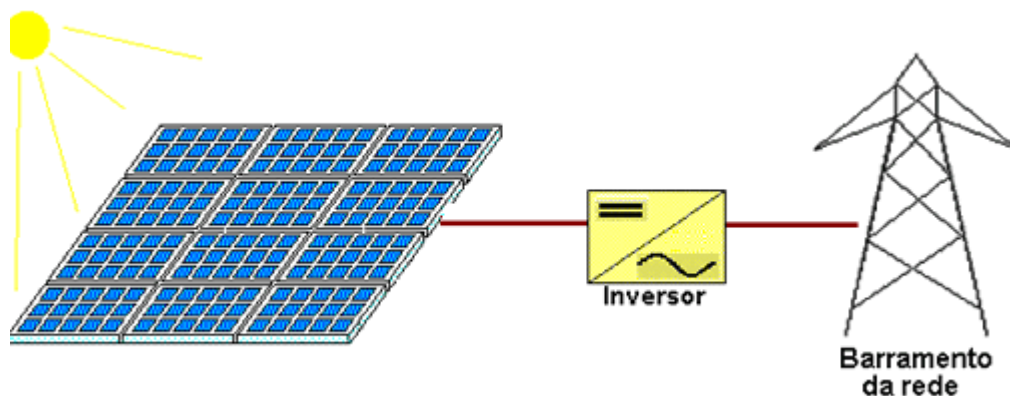
**Figura 7** - Exemplo de sistema híbrido.

**Fonte:** [http://www.cresesb.cepel.br/index.php?link=/tutorial/tutorial\\_solar.ht](http://www.cresesb.cepel.br/index.php?link=/tutorial/tutorial_solar.ht)



Estes tipos de sistema geralmente são empregados em sistemas de médio a grande porte e assim atende um número bem expressivo de usuários. Como trabalha com cargas de corrente contínua, o sistema híbrido também apresenta um inversor. Por serem complexos os arranjos e multiplicidade de opções, é necessário um estudo de cada caso para aperfeiçoar o seu sistema.

### 2.4.3 Sistemas Interligados à Rede



**Figura 8** - Sistema conectado à rede

**Fonte:** [http://www.cresesb.cepel.br/index.php?link=/tutorial/tutorial\\_solar.htm](http://www.cresesb.cepel.br/index.php?link=/tutorial/tutorial_solar.htm)

Já nos sistemas interligados à Rede, são utilizados grandes números de painéis fotovoltaicos, mas a energia não é armazenada porque toda sua produção vai direto para a rede. Este sistema atua complementando o sistema elétrico de grande porte, o qual está ligado. Seu arranjo é todo ligado a inversores que são direcionados a rede. Assim, os inversores têm a função de manter a qualidade e segurança que uma rede comum proporciona para que a rede não tenha maiores problemas com seu funcionamento. (ENERGIA SOLAR - PRINCÍPIOS E APLICAÇÕES, 2006, p. 23)

## 2.5 OS EQUIPAMENTOS USADOS PARA FABRICAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO

Em um sistema autônomo de energia, em sua dimensão são analisados os geradores, os fornecedores do insumo energético, os condutores que transmitem a energia (fios e cabos), os controladores de carga que regulam a voltagem do gerador e o estado de carga das baterias, os acumuladores (baterias) que mantém a energia guardada para que no futuro possam ser aproveitados, também os inversores devem ser analisados, pois são eles que transformam a corrente contínua gerada em corrente alternada necessária para ser usada na maior parte dos equipamentos eletrodomésticos. ( DE LEVA, F.; SALERNO C.; GUIMARÃES J.,2001)

### 2.5.1 Gerador fotovoltaico

Os módulos fotovoltaicos são formados de células feitas principalmente de silício, um elemento capaz de absorver as partículas de fótons existentes nos raios solares e transformá-las em corrente elétrica contínua. Uma célula individual, produz apenas uma reduzida potência elétrica, o que tipicamente varia entre 1 e 3 W, com uma tensão menor que 1 Volt. Para disponibilizar potências mais elevadas, as células são integradas, formando um módulo (ou painel). Ligações em série de várias células aumentam a tensão disponibilizada, enquanto que ligações em paralelo permitem aumentar a corrente elétrica. O mesmo ocorre para os painéis. ( DE LEVA, F.; SALERNO C.; GUIMARÃES J.,2001)

Os módulos fotovoltaicos são formados de células feitas principalmente de silício, um elemento capaz de absorver as partículas de fótons existentes nos raios solares e transformá-las em corrente elétrica contínua.

De acordo com De leva, F.; Salerno C.; Guimarães J. (2001) os painéis de módulos fotovoltaicos são instalados de três maneiras principais:

**Montagem à superfície** - Os módulos são montados num quadro de aço ou de alumínio fixado numa estrutura apropriada feito no telhado já pronto. Trata-se provavelmente da instalação de menor custo.

**Montagem em cobertura** - Os módulos são fixados diretamente nos caibros da cobertura. Em vez de estarem colocados no telhado, são colocados na sua estrutura: o custo excedente é parcialmente compensado pela economia de materiais de cobertura. Este tipo de instalação tem menos impacto visual do que os painéis à superfície.

**Telhas solares** - São mais caras do que os módulos clássicos, mas a diferença de preço é compensada pelo fato de não ser necessária a estrutura de montagem. As telhas apresentam um aspecto sóbrio e clássico e são fáceis de colocar. Além dessas principais, temos painéis adesivos que podem ser colados em paredes e painéis semitransparentes, usados em janelas.

### 2.5.2 Acumuladores de energia

A função prioritária das baterias num sistema de geração fotovoltaico é acumular a energia que se produz durante as horas de luminosidade a fim de poder ser utilizada à noite ou durante períodos prolongados de mau tempo.

Outra importante função das baterias é prover uma intensidade de corrente superior àquela que o dispositivo fotovoltaico pode entregar. É o caso de um motor, que no momento do arranque pode exigir uma corrente de 4 a 6 vezes sua corrente nominal durante uns poucos segundos. Normalmente o banco de baterias de acumuladores e os módulos fotovoltaicos trabalham em conjunto para alimentar as cargas. Durante a noite toda a energia pedida pela carga é fornecida pelo banco de baterias.

Em horas matutinas os módulos começam a gerar, mas se a corrente que fornecerem for menor que aquela que a carga exige, a bateria deverá contribuir. A partir de uma determinada hora da manhã a energia gerada pelos módulos fotovoltaicos supera a energia média procurada, passando então a recarregar as baterias.

Utiliza-se principalmente baterias de 12V./150Ah. Recomenda-se o uso de baterias seladas de ciclos constantes, livres de manutenção. Baterias não devem ser instaladas diretamente sobre o solo ou piso: devem sempre ser assentadas sobre uma base plástica ou de madeira. Observar que o local esteja sempre livre de umidade e impurezas, e seja ventilado. Mantenha a bateria em local abrigado do sol e da chuva. A eficiência do sistema de energia solar depende diretamente da qualidade e do estado

das baterias. Baterias velhas aceitam menos carga e ainda desperdiçam a energia de carga fornecida.

A capacidade de armazenagem de energia de uma bateria depende da velocidade de descarga. A capacidade nominal que a caracteriza corresponde de uma maneira geral a um tempo médio de descarga de 10 horas. Quanto maior for o tempo de descarga, maior será a quantidade de energia que a bateria fornece. (DE LEVA, F.; SALERNO C.; GUIMARÃES J. 2001).

### **2.5.3 Conversores**

É um aparelho eletrônico que converte a energia elétrica DC em AC (corrente alternada) 110 ou 220 Volts, possibilitando a utilização dos eletrodomésticos encontrados no mercado. O controlador de carga aperfeiçoa o uso da Energia Fotovoltaica, protegendo a bateria contra sobrecargas e descargas excessivas não permitem a descarga total da bateria desconectando a carga, garantindo mais vida útil à bateria e protegendo o módulo evitando o retorno da energia.

Os tipos básicos de inversores são:

Inversor de onda senoidal - utilizado em sistemas ligados a rede elétrica "utility intertie". A maior parte das residências utiliza corrente alternada de 60Hz e 120 Volts. O inversor senoidal transforma a corrente direta do sistema FV (variando geralmente entre 12Vcd - 360Vcd) em 120 Vca, 60 Hz e sincroniza com a rede elétrica.

O Inversor de onda senoidal modificada - é semelhante ao anterior, porém não produz energia com a mesma qualidade e desta maneira não é aceito pela rede elétrica e seu uso fica restrito para os sistemas independentes e de custo inferior. (DE LEVA, F.; SALERNO C.; GUIMARÃES J. 2001).

### **2.5.4 Reguladores de tensão**

É um aparelho eletrônico que protege as baterias de sobrecargas e descargas excessivas, prolongando sua vida útil. Existem diversos tipos de reguladores de carga.

A concepção mais simples é aquela que envolve uma só etapa de controle. O regulador monitora constantemente a tensão da bateria dos acumuladores e fica

definido ao especificar o seu nível de tensão (que coincidirá com o valor de tensão do sistema) e a corrente máxima que deverá manejar. Quando a referida tensão alcança um valor para o qual se considera que a bateria se encontra carregada (aproximadamente 14.1 Volts para uma bateria de chumbo ácido de 12 Volts nominais) o regulador interrompe o processo de carga. Isto pode ser conseguido abrindo o circuito entre os módulos fotovoltaicos e a bateria (controle tipo serie) ou curto-circuitando os módulos fotovoltaicos (controle tipo shunt). Quando o consumo faz com que a bateria comece a descarregar, portanto, a baixar sua tensão, o regulador reconecta o gerador à bateria e recomeça o ciclo.

No caso de reguladores de carga cuja etapa de controle opera em dois passos, a tensão de carga a fundo da bateria pode ser algo superior a 14,1 Volts. Para ilustrar com um exemplo simples, suponha-se que se tenha de alimentar uma habitação rural com consumo em 12 Vcc. E para isso se utilizem dois módulos fotovoltaicos. A corrente máxima destes módulos é  $I_{mp} = 2,75 \text{ A}$  e a corrente de curto-circuito  $I_{cc} = 3 \text{ A}$ . Quando os módulos estão em paralelo a corrente total máxima que deverá controlar o regulador será  $I_{total} = 2 \times 3 \text{ A} = 6 \text{ A}$ . Considera-se a corrente de curto-circuito para contemplar a pior situação. O regulador a escolher, portanto, deverá estar concebido para trabalhar a uma tensão de 15 Volts (tensão de trabalho dos módulos) e manejar uma corrente de 6 A.B.( DE LEVA, F.; SALERNO C.; GUIMARÃES J.,2001).

### **2.5.5 Demais equipamentos**

Em caso de painéis que não estão fixos no teto ocorre a necessidade de um suporte, que pode ser instalado no teto ou no chão. O uso do suporte é indispensável em casos que o painel é móvel. As caixas de passagens são necessárias para movimentação dos cabos, em solo, são de concreto, com tampa e sem fundo. É aconselhável que se use condutores de cobre, sendo que os rígidos são para utilização na rede e o condutor flexível de preferência tipo cabo flexível são os mais adequados para o sistema fotovoltaico.

O condutor rígido não é recomendado para sistemas de corrente contínua, pois, são difíceis de fazer emendas aos condutores flexíveis das derivações possíveis. Como

carga, recomenda-se dispositivos de alto rendimento, como por exemplo, lâmpadas fluorescentes compactas PL que são até 80% mais econômicas e uma vida útil de aproximadamente 8000hrs. (DE LEVA, F.; SALERNO C.; GUIMARÃES J. 2001).

## **CAPÍTULO 3**

### **O USO DA ENERGIA FOTOVOLTAICA NA SECAGEM DE GRÃOS**

#### **3. A SECAGEM DE GRÃOS**

A secagem de grãos é uma técnica de conservação de alimentos muito antiga, que utiliza o vapor para retirar a água ou qualquer outro líquido do alimento.

Constantemente esta técnica é observada e estudada para que ela seja melhorada, pois a sua aplicação precisa ser eficaz para a obtenção de produtos com maior qualidade e menor tempo de processamento.

Segundo Romero(1997) para que os alimentos não percam sua qualidade, a sua umidade é reduzida até atingir o nível 10 a 15%. A Agência de Vigilância Sanitária, ANVISA, determina que o limite de água nos alimentos deve ficar em 25%, além disso o peso e volume dos alimentos também são alterados, podendo facilitar o processo de embalagem, transporte e armazenamento dos produtos.

Para que os produtos agrícolas sejam armazenados com qualidade e segurança, após sua colheita é necessário que haja a utilização de alguns processos como: refrigeração, irradiação, tratamento térmico, tratamento químico e a secagem. Muitas vezes não é utilizada, mas quando indicada é o que apresenta menor custo e maior simplicidade de operação (NETO, 1988).

Apesar de novas tecnologias de secagem e de vários tipos de secadores à disposição dos agricultores, a secagem em terreiros ainda é muito utilizada no Brasil, principalmente nas zonas agrícolas onde se concentra o produtor de baixa renda. Por outro lado, os equipamentos de secagem disponíveis no Brasil apresentam, em geral, custo mais elevado, incompatível com o poder aquisitivo do pequeno produtor rural. Além desses aspectos, deve-se levar em consideração o nível educacional desses produtores, que, apesar de serem responsáveis pela maior parte da produção brasileira de café, por exemplo, normalmente são resistentes a inovações tecnológicas (ROSSI e ROA 1980; SOARES et al., 1983).

### 3.1 TIPOS DE SECAGEM

- **Secagem Natural**

Neste tipo de secagem o alimento fica exposto ao sol, os grãos são colocados em piso feito especialmente para a secagem. Este piso armazena o calor e com isso o alimento perde sua umidade, ou seja, a água por aquecimento. Estes grãos podem ser secados em galpões com ventiladores e aspiradores. Este é o método mais comum utilizado pelos pequenos agricultores. (EMBRAPA, Janeiro 2010).

- **Secagem Artificial**

Na secagem artificial os alimentos são desidratados, para isso são fabricados galpões e estufas para que o calor seja produzido de forma artificial. Neste tipo de ambiente, o calor é controlado sua temperatura, umidade e a corrente de ar. Sendo um método bem rápido que não exige grandes áreas de secagem, porém é preciso mais dinheiro e mais pessoas para realizar o trabalho. (EMBRAPA, Janeiro 2010).

- **Secagem em Bandejas**

Este método de secagem, é feito por uma câmara com isolamento térmico, com sistemas de aquecimento e ventilação do ar circulante sobre as bandejas e através das bandejas, que ficam em uma base fixa. Assim o ar aquecido pode circular através de ventiladores e então este sistema faz com que haja uma circulação de ar que conserva o calor (EMBRAPA, Janeiro 2010).

- **Secagem de Esteiras**

A secagem em esteiras é realizada através de secadores que possibilitam que os alimentos sejam transportados de forma contínua por meio de uma esteira perfurada. Cada secador de esteira é construído no formato modular, pois cada parte dele tem seu



próprio aquecedor e ventilador próprio. Assim, as seções são unidas formando um túnel onde a esteira se movimenta. (EMBRAPA, Janeiro 2010).

### **3.2 A SECAGEM DOS GRÃOS DE CAFÉ**

A produção de café de boa qualidade representa, atualmente, a melhor alternativa para a cafeicultura brasileira, principalmente quando o enfoque é a viabilidade econômica desta atividade. O processamento do café, fase que inclui preparo, secagem e armazenagem, é determinante tanto na obtenção da qualidade como na composição do custo de produção. Técnicas corretas e manejo racional do sistema de processamento são essenciais para a o sucesso da atividade cafeeira.

A secagem, por sua vez, é uma operação muito importante, tanto pelo fato de que, se mal conduzida, pode acarretar em perdas qualitativas, e, se mal gerenciada, pode acarretar em elevado custo de produção.

Desde a lavoura até o processamento, todas as atividades devem ser tecnicamente bem conduzidas para preservar a qualidade intrínseca da variedade cultivada. Por exemplo, apesar de seu alto custo, erros durante a secagem são os principais responsáveis por prejuízos à qualidade do café. Qualquer que seja o tamanho da propriedade, os terreiros de secagem são fundamentais para a obtenção de cafés de elevada qualidade, por isso, atenção especial deve ser dada ao seu dimensionamento e construção. (GIOMO, G. S. 2012).

Para que o café seja considerado de qualidade, as propriedades químicas, físicas e sensoriais devem estar de acordo com os padrões estabelecidos. A qualidade do café como bebida é determinada pelo sabor e aroma, que estão associados às substâncias químicas existentes no grão e que são influenciados pela temperatura e taxa de secagem. Os estudos desenvolvidos nesse sentido abrangem componentes como açúcares, proteínas, compostos fenólicos, enzimas, lipídeos, bem como umidade, condutividade elétrica dos grãos e lixiviação de potássio, entre outros (BÁRTHOLO et al., 1989; PEREIRA, 1997).

Na literatura, existem relatos sobre os danos causados pela secagem em grãos de café, os quais comprometem a obtenção de uma bebida de boa qualidade. Acredita-se que isso seja devido à desorganização e à desestruturação das membranas celulares, permitindo que os componentes químicos, antes compartimentalizados, entrem em contato com enzimas hidrolíticas e oxidativas, afetando as características de cor, sabor e aroma da bebida. Conhecer estas alterações provocadas pela secagem torna-se importante na tentativa de minimizar os seus efeitos (PRETE, 1992; RIBEIRO, 2003).

Vários trabalhos evidenciaram a existência da relação entre a desorganização das membranas celulares e a perda de constituintes dos grãos, com o aumento da quantidade de exsudados determinados na água de embebição. (MARCOS FILHO et al., 1990; PRETE, 1992).

Prete (1992) verificou uma relação inversa entre a qualidade da bebida e a condutividade elétrica e a lixiviação de potássio, determinados no exsudato de grãos crus.

Diversos aspectos devem ser observados antes da secagem propriamente dita: a remoção de impurezas e a separação dos grãos por estágio de maturação são procedimentos que, se adotados, irão contribuir sobremaneira na qualidade final do produto, assim como possibilitarão uma secagem mais uniforme.

O café recém colhido, em virtude do método de colheita empregado, é constituído de uma mistura de frutos verdes, maduros (cereja e verdoengos), passas e secos, folhas, ramos, torrões e pedras. Após a colheita por derriça ao chão, no pano ou mecanizada, o café deve ser submetido aos processos de separação das impurezas, que podem ser feitos por peneiramento manual ou por máquinas de pré-limpeza. Deve-se salientar que a separação de impurezas é o primeiro passo para a obtenção de qualidade.

A secagem em terreiros é o método mais utilizado pelos produtores em pelo menos uma fase do processo de secagem. Entretanto, a baixa taxa de secagem e a exposição do produto a agentes biológicos, juntamente com a possibilidade de ocorrência de condições climáticas desfavoráveis, como acontecem no sul da Bahia, norte do Espírito Santo e parte da Zona da Mata mineira, por ocasião da colheita.



**Figura 9-** Rodo enleirador para café e novo manejo do terreiro.  
**Fonte:** <http://www23.sede.embrapa.br:8080/aplic/cafe>

No terreiro, o desenvolvimento de microrganismos na superfície dos frutos e o aumento da respiração e da temperatura do produto são fatores que aceleram o processo de fermentação. Apesar desses riscos, pequenos e médios produtores utilizam intensivamente os terreiros como única etapa na secagem do café. Entretanto, com um manejo correto do terreiro, observando-se detalhes como a orientação das leiras e utilização de rodos mais eficientes, pode-se aperfeiçoar o processo de secagem bem como reduzir as perdas qualitativas advindas da utilização deste método de secagem. Além de requerer um longo período de secagem, o método de terreiro apresenta outras desvantagens, como a necessidade de grandes áreas para a construção dos terreiros; muitas vezes, o produto fica exposto a condições climáticas adversas, o que favorece o desenvolvimento de fungos e o processo de fermentação, podendo depreciar a qualidade do produto (CORREA, 1982; VIEIRA e VILELA, 1995)

A secagem dos grãos é importante para manutenção da qualidade do café. Deve ser iniciada logo após a colheita, a fim de se eliminar a alta umidade da casca e mucilagem, e evitar fermentações indesejáveis.

Dois sistemas de secagem podem ser utilizados: secagem natural (terreiro) e artificial (secador). A escolha do sistema de secagem depende das condições econômicas do cafeicultor, do volume de produção e das condições climáticas da região.

A quantidade máxima de café cereja recomendada para secar em terreiro de alvenaria com boa ventilação natural é de 20 kg por m<sup>2</sup>. O tempo de secagem varia de 9 a 12 dias para café da roça, e três a cinco dias para o café despulpado.

- **Secagem natural (terreiro)**

Os frutos devem ser esparramados no terreirão no mesmo dia da colheita. No início da secagem, os frutos devem ser esparramados em camadas finas (3 cm a 5 cm) e revolvidos a cada duas horas durante o dia, com auxílio de rodo de madeira, de acordo com a posição predominante da incidência dos raios solares. O revolvimento acelera e uniformiza a secagem, fazendo com que a superfície do fruto receba por igual os raios solares, evita também que ocorra fermentação dos frutos, comprometendo a qualidade do café.



**Figura 10:** Amontoando café no terreirão

**Fonte:** <http://www.panoramio.com/photo/35675640>

O enleiramento é uma técnica que dá início a homogeneização e evita o arrastamento dos grãos, caso ocorra chuvas. Enquanto o café apresentar grãos em estado de cereja ou passa muito úmidos, não deverá ser enleirado, pois poderão ocorrer fermentações indesejáveis. P. 54.

Quando os grãos perderem a umidade superficial (murchamento – grãos com 30 % a 35 % de umidade), o café deverá ser enleirado, no período da tarde, em camadas de 15 cm a 20 cm, no sentido da declividade do terreiro. A esparramação da leira pode

ser aumentada diariamente até atingir o ponto de meia-seca (umidade dos grãos entre 20 % a 25 %). A partir dessa fase o café não deve tomar chuva, pois sua qualidade será prejudicada.

Na fase final da secagem (20 % a 25 % de umidade), os grãos de café devem ser esparramados pela manhã (entre 9h às 10h) com o terreiro já aquecido, e, amontoado em camadas de 15 cm a 20 cm no sentido da declividade do terreno, no início da tarde (entre 14h a 15h), protegido com cobertura de lona.

O café deverá permanecer coberto durante a noite para melhor aproveitamento do calor natural armazenado durante o dia, o que auxiliará na troca de umidade e a homogeneização. Essa cobertura deverá ser com lona encerrada e não com lonas plásticas.

A secagem natural será concluída quando os grãos atingirem teor de umidade entre 11 % e 12 %. O teor final da umidade dos grãos de café pode ser determinado por aparelhos ou pela prática do operador de terreiros, verificando-se a dureza e coloração dos grãos beneficiados ou ainda com base no peso. Em geral, um litro de grãos de café descascado com 11 % a 12 % de umidade deve pesar em torno de 420 gramas.

O tempo de secagem dos grãos de café no terreiro varia com o teor inicial de umidade do café colhido (café da roça) e com as condições climáticas (radiação solar, temperatura e umidade relativa do ar) da região.

Não misturar lotes de frutos de café com mais de três dias de diferença na colheita ou no tempo de secagem em terreiro.

- **Secagem artificial (secador)**

Em épocas de chuvas o agricultor precisa utilizar a secagem artificial para que a qualidade do produto não fique prejudicada. Pois o café com uma umidade muito alta, precisa passar por uma pré-secagem em terreiro (três a cinco dias) antes de ser levado para o secador de grãos. Além disso, o café preparado por via semi-úmida (cereja despulpado), também deve receber pré-secagem natural por um dia em terreiro. Então a temperatura de secagem na massa dos grãos de café não deve ultrapassar 45°C. O tempo da operação de secagem varia de 24 a 72 horas para café preparado por via

seca e em torno de 20 horas para café preparado por via úmida (cereja despulpada). A secagem estará terminada quando o teor de umidade dos grãos estiver de 13 % a 14 %. Após o resfriamento da massa de grãos de café, perde-se ainda, em torno de 2% da umidade no período de descanso, ficando entre 11% a 12 % a umidade final. Sempre que possível, o final da secagem deve ser determinado com auxílio do aparelho determinador de umidade de grãos. A secagem excessiva do café diminui o peso e facilita a quebra dos grãos durante o beneficiamento. Quando for constatada infestação da broca-do-cafeeiro o café seco (grãos com 11 % a 12 % de umidade) deve ser expurgado antes de ser armazenado em tulha.

### **3.3 MODELOS DE SISTEMA DE SECADORES**

LACERDA FILHO (1986) afirma que, de modo geral, os secadores de leito fixo são os mais acessíveis aos produtores, em função principalmente de seu custo, apesar de apresentarem elevado consumo de energia. Outro problema destes secadores é a dificuldade de revolvimento, sendo esta operação realizada manualmente, utilizando-se uma pá.

A secagem em leito fixo é um método relativamente simples; além disso, o custo inicial de implantação está ao alcance de grande parte dos pequenos produtores. Outro aspecto interessante no secador de leito fixo é sua versatilidade, podendo-se secar café cereja, coco ou despulpado, grãos de modo geral, milho em espiga, feijão em rama, raspa de mandioca, cacau, entre outros (CASTRO, 1991; SILVA e LACERDA FILHO, 1993).

CASTRO (1991) estudou a utilização de três intervalos de revolvimento (uma, duas e três horas) na secagem de café despulpado em secador experimental de camada fixa. Como o autor não constatou influência significativa do intervalo de revolvimento da massa de grãos, recomendou-se utilizar o intervalo de três horas, em razão da maior facilidade em se realizar a operação de secagem.

Nos secadores com sistema de aquecimento direto, apesar de sua maior eficiência no uso de energia, os produtos da combustão permanecem no gás quente que, depois de diluído com o ar natural (temperatura ambiente), atravessa diretamente

a camada de grãos. Nos secadores com sistema de aquecimento indireto, o calor é transferido do combustível queimado para o ar de secagem através de um trocador de calor (NELLIST e BRUCE, 1995). Dessa forma, os produtos da combustão não entram em contato com a massa de grãos. A escolha de um ou outro sistema dependerá da capacidade dos grãos a serem secos em absorver resíduos da combustão e do nível de exigência de qualidade do produto para a sua comercialização.

BAKKER-ARKEMA et al. (1978) propuseram uma metodologia para a avaliação do desempenho energético de secadores. Esta metodologia é baseada em um número reduzido de testes de campo, sob determinadas condições padronizadas. Vários autores têm se baseado nesta metodologia para a avaliação de protótipos de secadores (OSÓRIO, 1982; SABIONI, 1986; PINTO, 1993; PINTO FILHO, 1994).

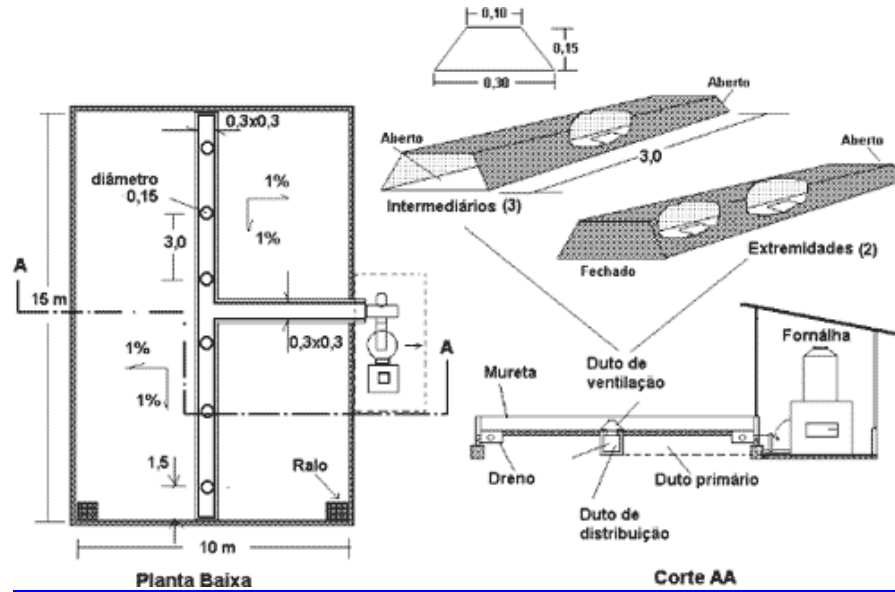
Com relação ao tempo de secagem, BAKKER-ARKEMA et al. (1978) sugerem que, para os secadores de batelada, três testes devem ser conduzidos, ou o equivalente a 24 horas de secagem. Em virtude dos problemas apresentados, o presente trabalho teve como objetivos: o projeto, a construção e a avaliação do desempenho energético de um secador de camada fixa com sistema de revolvimento mecânico acionado manualmente.

### **3.3.1 TERREIRO HÍBRIDO OU TERREIRO SECADOR**

Com vistas a minimizar os problemas na secagem do café, foi desenvolvido na Universidade Federal de Viçosa o terreiro híbrido ou terreiro secador. Trata-se de um terreiro convencional, preferencialmente concretado, adaptado com um sistema de ventilação com ar aquecido por uma fornalha para a secagem do café em leiras ou em leito fixo, na ausência de radiação solar direta ou em períodos chuvosos.

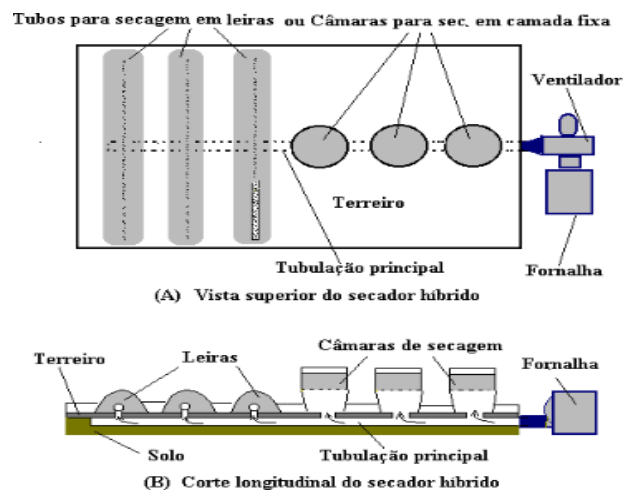
O terreiro híbrido é construído em módulos com dimensões de 10,0 m por 15,0 m cada um, aproximadamente (Figura 11). Na direção do comprimento, o terreiro secador é dotado de uma tubulação principal (central ou lateral), para fornecimento de ar a pontos específicos do terreiro, das quais derivam seis aberturas onde são alocadas as câmaras de secagem em camada fixa, ou tubulações secundárias compostas de dutos

trapezoidais construídos em chapa perfurada, para secagem em leiras transversais ou longitudinais (Figura 12 a, b). (CAFEPPOINT, 2014).



**Figura 11** - Planta baixa e corte AA do terreiro híbrido, módulo de 150m<sup>2</sup> e detalhes do sistema de ventilação.

Fonte: [www.cafepoint.com.br](http://www.cafepoint.com.br)



**Figura 12:** Vista superior e corte longitudinal do secador híbrido, com opções para secagem em camada fixa ou em leiras.

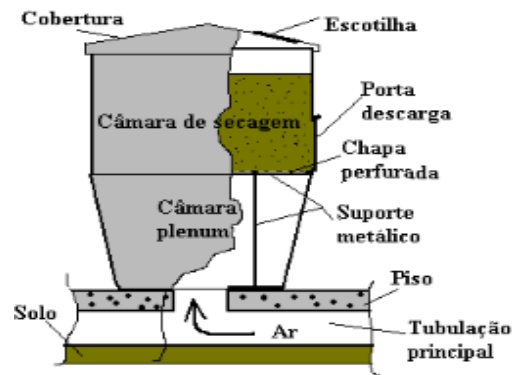
Fonte: [www.cafepoint.com.br](http://www.cafepoint.com.br)

Nesse tipo de secador, também se pode realizar a secagem em camada fixa, adaptando-se câmaras de secagem às aberturas de fornecimento de ar. Estas câmaras

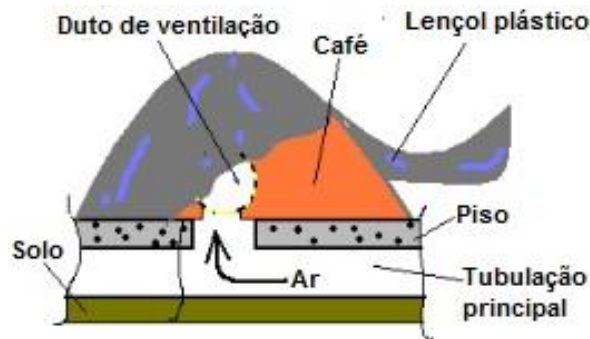


podem ser construídas com caixas d'água em fibra com capacidade de 2500L, adaptadas com um fundo falso feito em chapa perfurada, formando uma câmara plenum.

As caixas ficam apoiadas sobre as tomadas de ar quente na tubulação principal (Figura 12a) ou nas aberturas da tubulação secundária derivadas do duto lateral. Já os dutos de distribuição de ar, construídos com tubos de PVC 150 mm perfurados ou preferencialmente em chapa metálica perfurada, ficam encaixados nas tomadas de ar (Figura 3b). (CAFEPPOINT, 2014).



(a)



(b)

**Figura 13-** (a) Câmara de secagem construída com caixa de fibra de 2.500 litros; (b) Detalhes do sistema de secagem em leiras.

Fonte: [www.cafepoint.com.br](http://www.cafepoint.com.br)

Ao duto principal é acoplada uma fornalha com um ventilador centrífugo, capaz de fornecer uma vazão de 1,5 m<sup>3</sup>/s de ar. Na ausência de radiação solar direta, incidência de chuvas e durante o período noturno, o produto é recolhido às câmaras de secagem ou enleirados sobre os dutos de distribuição de ar para secagem com ar aquecido. Durante períodos chuvosos, deve-se providenciar cobertura para proteção dos grãos.

A operação do sistema em camada fixa é simples, embora exija alguns cuidados. Assim, a altura da camada de produto dentro da câmara de secagem pode variar, para grãos em geral, devendo situar-se em torno de 0,4 m. Altura acima desta faixa poderá acarretar problemas, como alto gradiente de umidade na massa de grãos. A movimentação do produto em intervalos de tempo regulares também é uma operação importante para evitar a desuniformidade na umidade final do produto. (CAFEPPOINT, 2014)

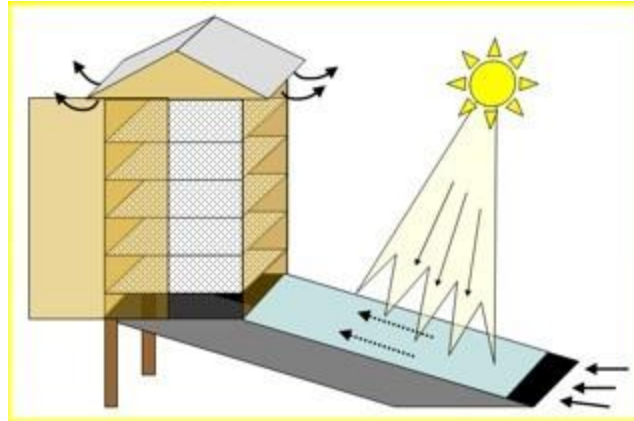
A secagem do café, no terreiro híbrido, pode ser realizada durante 24 horas, por meio da utilização da energia solar em dias ensolarados e da energia proveniente da combustão de biomassa (lenha ou carvão vegetal) durante a ausência da radiação solar direta. Assim, durante os dias ensolarados, o terreiro tem funcionamento normal, e, ainda assim, podem-se usar as câmaras para secagem com ar a altas temperaturas, ganhando-se, com isso, produtividade de secagem.

Usando o terreiro híbrido, o café recém-saído do lavador pode ser secado até atingir a umidade ideal para o beneficiamento (12% b.u.), em quatro dias ou oito horas de ventilação com ar aquecido. Em estudo realizado na Universidade Federal de Viçosa, observou-se que os tempos necessários para a secagem dos cafés nos terreiros híbridos foram, em média, 4,6 e 5,6 vezes menores que o tempo necessário para secar o café natural e o café cereja descascado, respectivamente, em terreiro convencional.

Vale ressaltar que há uma economia nos gastos com energia quando se utiliza esse tipo de secador em comparação aos secadores mecânicos, pois é possível a utilização da energia solar em dias apropriados e incrementar outras formas de energia somente quando o clima não for favorável. (CAFEPPOINT, 2014)

Enfim os secadores solares são equipamentos destinados a principalmente secagem de grãos. Assim, os processos de secagem de produtos agrícolas com uso de energia solar podem ser divididos em dois tipos básicos:

- Secagem solar direta (com o produto exposto diretamente ao ambiente).
- Secagem solar indireta (utilizando ar aquecido através de coletores solares).



**Figura 14:** Secador solar

**Fonte:** <http://soumaisenem.com.br/redacao/dissertacao-argumentativa>

No secador solar direto o produto fica exposto a radiação solar, em uma plataforma de secagem. Já o secador solar indireto o produto fica dentro de uma câmara de passagem de ar aquecido, para isso é necessário: Coletor Solar de passagem de ar quente e uma câmara de passagem de ar quente.

### 3.4 ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA SECAGEM E ARMAZENAGEM DE CAFÉ

Uma alternativa tecnológica, de baixo custo e acessível ao pequeno produtor, é a utilização da abanadora mecânica com acionamento manual, cuja proposta é deixar ainda na lavoura boa parte das impurezas, além de reduzir o esforço físico e a insalubridade, quando comparada com o processo convencional.



**Figura 15-** Separador Hidráulico (lavador) para café  
**Fonte:** [www.cafepoint.com.br](http://www.cafepoint.com.br)

Segundo a doutora Cristiane Pires Sampaio, em seu artigo: Alternativas tecnológicas para secagem e armazenamento de café, propõe que após a operação de pré-limpeza, o café deve passar pelo separador hidráulico, no qual a separação é feita de acordo com o estágio de maturação dos frutos, ou seja, separando os cafés bóias (secos, brocados, mal formados e verdes) dos frutos perfeitos ou cerejas, que devem ser secados e armazenados separadamente.

Além de manter o potencial de qualidade do café recém-colhido, a lavagem ou separação reduz o desgaste das máquinas durante o descascamento, a secagem e o beneficiamento.

Após da separação de impurezas e lavagem, o café é então encaminhado para o processo de preparo, via seca ou via úmida. O processo via úmida consiste nas operações de descascamento, lavagem e retirada de parte da mucilagem antes café ser submetido à secagem, dando origem aos cafés descascados/lavados e despulpados.

Assim, os cafés despulpados têm a vantagem de diminuir consideravelmente a área de terreiro e o tempo necessário para secagem. Entretanto, apesar das inúmeras vantagens oferecidas pelo processamento via úmida, deve-se atentar às questões ambientais: a lavagem e despulpa de frutos do cafeeiro geram um grande volume de águas residuárias com alto potencial poluente, necessitando de tratamento prévio para o despejo em cursos d'água.

Ainda conforme a doutora Sampaio (2014) como inicialmente o teor de umidade e muito elevado, geralmente ao redor de 60%, a secagem do café é comparativamente mais difícil de ser executada do que a de outros produtos.

A velocidade de deterioração em sua primeira fase de secagem é maior, causando redução na qualidade do produto.

Deve-se, portanto, promover a sua secagem imediata logo após a colheita e promover o armazenamento em condições que permitam manter a qualidade do produto após a secagem.

Independentemente do método de secagem utilizado, devem ser ressaltados os seguintes aspectos para se obter êxito no processo pós-colheita do café: Evitar fermentação indesejável durante o processo; evitar temperaturas excessivamente elevadas (o café tolera a temperatura do ar de secagem próximo a 40 °C por um ou dois dias, 50 °C por poucas horas e 60 °C por menos de uma hora sem se danificar); secar os grãos no menor tempo possível até 18% b.u. de umidade e procurar obter um produto que apresente uniformidade em coloração, tamanho e densidade.(CAFEPPOINT,2014)

Neste artigo a doutora cita que o terreiro secador, desenvolvido pela UFV/CBP&D-Café, que segundo ela o mesmo tem como objetivo contornar as dificuldades da secagem em terreiros convencionais.

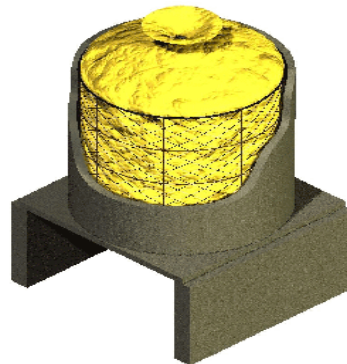
O terreiro secador nada mais é que um terreiro convencional, preferencialmente concretado, onde se adaptou um sistema de ventilação com ar aquecido por uma fornalha, para a secagem do café em leiras, na ausência de radiação solar direta ou em período chuvoso.

Essa tecnologia já disponível para o cafeicultor foi aprovada por produtores de diversas regiões do Brasil, caracterizando-se como mais uma alternativa para a secagem de café, onde é possível aliar baixo custo de implantação e qualidade final do produto, reduzindo assim expressivamente o custo de produção desta cultura. (CAFEPPOINT,2014)



**Figura 16:** Terreiro-secador  
**Fonte:** [www.cafepoint.com.br](http://www.cafepoint.com.br)

Os processos de secagem e armazenagem apresentam contribuições expressivas sobre a qualidade final do produto, sendo, portanto, muito importante na escolha correta da infra-estrutura para atender à fase final da produção de grãos. Vários fatores concorrem para dificultar a adoção de técnicas mais adequadas no processo de armazenagem. Entre os mais importantes podemos citar a tendência de muitos técnicos e extensionistas rurais em tratar separadamente produção, secagem e armazenagem, sendo que, pelo menos, as duas últimas etapas deveriam ser consideradas de forma integrada.



**Figura 17-** Formação da parede do silo-armazenador de descarga central  
**Fonte:** [www.cafepoint.com.br](http://www.cafepoint.com.br)

Na figura acima citada, pode-se apreciar uma unidade armazenadora de baixo custo e com capacidade de armazenar até 3,5 toneladas de grãos. Sua construção é simples, e todo material necessário pode ser encontrado em mercados próximos às propriedades rurais. (CAFEPPOINT, 2014).

### **3.4.1 Receptor**

O receptor é instalado na linha de foco dos concentradores e costuma ter de 25 a 150 metros de comprimento. Sua superfície é revestida por uma cobertura com alta absorvência a irradiação solar e baixa emitância para irradiação térmica (infravermelho) (KALOGIROU, 2009).

Em geral uma cobertura de vidro é usada ao redor do receptor para reduzir as perdas por convecção do receptor para o ar ambiente, reduzindo assim o coeficiente de perda de calor. Uma desvantagem é que a luz refletida pelo coletor tem de atravessar o vidro, adicionando assim uma transmitância (de aproximadamente 0,9 quando o vidro está limpo). Outra medida comum para redução das perdas por convecção é manter um vácuo no espaço entre o vidro e o tubo receptor (KALOGIROU, 2009).

### **3.4.2 Mecanismos de rastreamento**

O mecanismo de rastreamento deve ser confiável dentro de um limite de acuidade para rastrear o sol ao longo do dia, inclusive durante dias nublados intermitentes, e retornar à posição original ao fim do dia ou durante a noite (KALOGIROU, 2009).

Além disso, o mesmo sistema também é utilizado como mecanismo de proteção, desviando o concentrador do foco em caso de superaquecimento, rajadas de vento e falhas no mecanismo de escoamento do fluido (KALOGIROU, 2009). Os mecanismos podem ser divididos em (KALOGIROU, 2009):

- mecânico
- sistemas eletro-eletrônicos (maior confiabilidade e acuidade)

- mecanismos baseados em sensores que detectam a magnitude da iluminação solar para controlar o motor que posiciona o coletor
- mecanismos baseados em sensores que medem o fluxo solar no receptor
- rastreamento “virtual”

O rastreamento “virtual” dispensa os sensores utilizados no rastreamento tradicional e opera baseado em um algoritmo matemático que calcula a posição do sol em função da data e hora e da localização (coordenadas de latitude e longitude) da planta (KALOGIROU, 2009).

### **3.4.3 Coletor Fresnel**

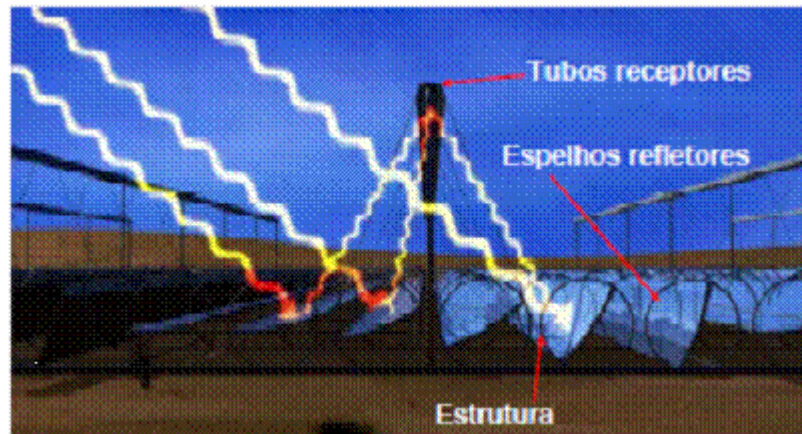
Os coletores Fresnel têm duas variações: o coletor Fresnel de lentes e o refletor linear Fresnel. O primeiro consiste de um material plástico transparente de modo a concentrar os raios a um receptor, enquanto o segundo é formado por uma série de tiras planas lineares de espelho (vide esquema na Figura 10 e fotos na Figura 11) (KALOGIROU, 2009).

O refletor linear Fresnel pode ter diferentes arranjos. Os espelhos podem ser alinhados como uma parábola. Outro arranjo possível é a disposição das tiras de espelho no chão (ou em outro terreno plano) e a luz ser concentrada em um receptor linear montado em uma torre. (KALOGIROU, 2009)

Uma desvantagem do refletor linear Fresnel é o cuidado necessário no projeto para evitar que um espelho cause sombra em outro, aumentando o tamanho da área a ser ocupada pela planta (KALOGIROU, 2009).

Os modelos Fresnel não são ainda uma tecnologia madura e a maior parte das plantas existentes no mundo são plantas piloto, com algumas poucas plantas comerciais de baixa potência (de 1 a 5 MW) em operação nos EUA e na Espanha (KALOGIROU, 2009).





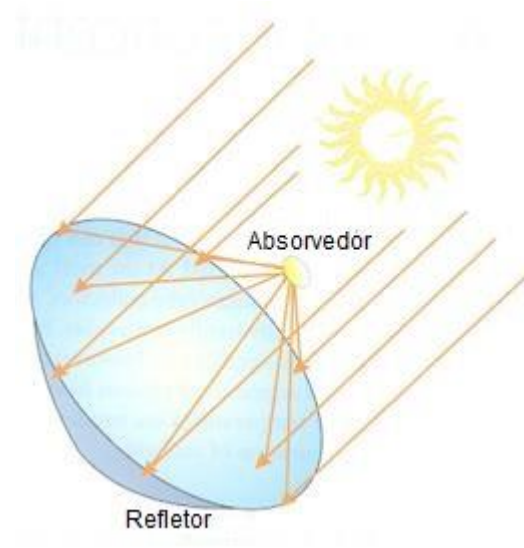
**Figura 18** – Desenho esquemático do refletor linear Fresnel  
**Fonte:** AREVA (2011) *apud* LODI (2011)



**Figura 19** – Refletor Fresnel  
**Fonte:** AREVA (2011) *apud* LODI (2011)

#### 3.4.4 Disco parabólico

O disco parabólico é um concentrador de foco pontual, (vide esboço na Figura 12 e foto na Figura 13). O disco rastreia o sol em dois eixos, e assim é capaz de apontar diretamente para o sol desde o nascer até o poente (KALOGIROU, 2009).



**Figura 20** - Esboço de um concentrador de disco parabólico  
**Fonte:** DGS (2005)



**Figura 21:** Foto de um concentrador de disco parabólico  
**Fonte:** GLOBAL NEVADACORP (2011)

Por possuir uma concentração pontual e sistema de rastreamento em dois eixos, o disco parabólico possui as maiores taxas de concentração (600 a 2000) e por essa razão é o coletor mais eficiente. Consequentemente atinge temperaturas mais altas (de 100°C a 1500°C), atrás apenas da torre de concentração (que pode atingir até 2000°C) (KALOGIROU, 2009).

O disco pode operar de forma independente (indicado para uso em regiões isoladas) ou como parte de uma planta composta por vários discos (KALOGIROU, 2009).

Os raios solares incidem sobre a parábola e são concentrados no ponto focal da parábola, onde aquecem o fluido circulante. Esse calor pode ser usado de duas maneiras (KALOGIROU, 2009):

- ser transportado por tubulação para um sistema central;
- ou ser transformado diretamente em eletricidade em um gerador acoplado diretamente no receptor (o mais comum é que o gerador opere de acordo com o ciclo Stirling, apesar de existirem outras configurações possíveis). Por esta razão o concentrador em disco também é chamado de *dish-stirling*.

O segundo modelo é o mais comum. Em geral é mais interessante tanto técnica (devido a perdas térmicas) quanto economicamente gerar eletricidade em cada disco, do que conduzir o calor de cada disco até um sistema de geração central (KALOGIROU, 2009).

Para uma melhor exemplificação a Tabela 5 apresenta algumas características do modelo disco parabólico da EuroDish.

Diâmetro do concentrador	8,5m
APERTURE	56,6m <sup>2</sup>
Distância focal	4,5m
Taxa de concentração média	2500
Capacidade elétrica bruta	9kW
Capacidade elétrica líquida	8,4kW
Refletividade	0,94
Fluido de trabalho	Hélio
Pressão do gás	20-150bar
Temperatura do receptor e do gás	650°C

**Tabela 3.1:** Características do modelo EuroDish.

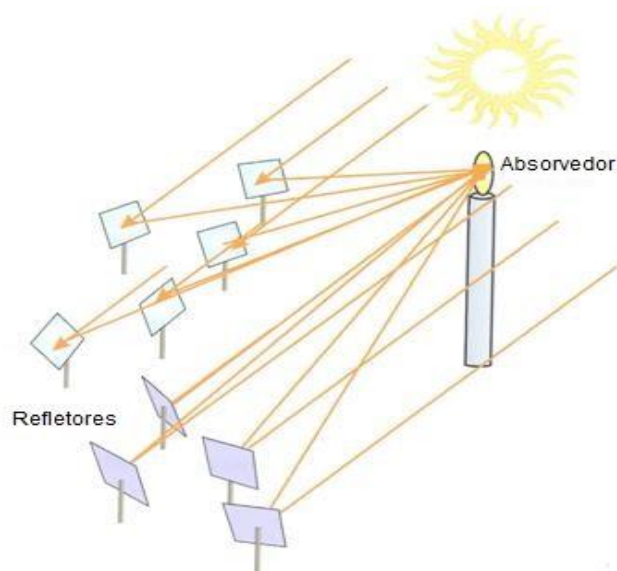
### 3.4.5 Torre Central

Um campo de coletores de heliostatos é composto de vários espelhos planos (ou levemente côncavos), capazes de rastrear o sol em dois eixos, e que reflete os raios do sol na direção de um receptor central, instalado no alto de uma torre, sendo assim, esse tipo de planta é conhecida como torre de concentração (KALOGIROU, 2009). A Figura 14 apresenta um esboço de uma planta de torre de concentração e a Figura 15 mostra uma vista aérea de duas plantas na Espanha.

Cada heliostato é composto por quatro espelhos instalados no mesmo pilar, com área refletora total de 50 a 150m<sup>2</sup> (KALOGIROU, 2009).

O calor concentrado absorvido no receptor é transferido para um fluido circulante que pode ser armazenado e/ou utilizado para produzir trabalho (KALOGIROU, 2009). A torre de concentração possui algumas vantagens (KALOGIROU, 2009):

- os espelhos coletam a luz solar e a concentram em um único receptor, minimizando assim o transporte de energia térmica;
- assim como o concentrador em disco, por concentrar os raios solares em um único receptor central e por rastrear o sol em dois eixos, possui altas taxas de concentração, de 300 a 1500, menor apenas que o disco;
- indicados para sistemas de maior porte (de 10 MW para cima).



**Figura 22**-Esboço de uma torre de concentração  
**Fonte:** DGS (2005)



**Figura 23-** Foto das torres de concentração PS10 e PS20 na Espanha  
Fonte: ABENGOA (2012)

---

[2] A taxa de concentração é a razão entre a área de abertura do coletor (não a área de superfície dos espelhos, mas sim a área do plano perpendicular ao raio incidente) sobre a área de absorção do receptor. O Concentrador reflete a radiação solar direta que incide em uma grande área em uma área menor (KALOGIROU, 2009).

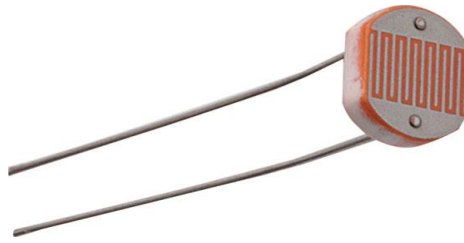
### 3.5 SENSORES

Os sensores são, basicamente, dispositivos sensíveis a um fenômeno físico, como temperatura, umidade, peso, luz, pressão, a presença de uma massa, etc. Eles podem fornecer direta ou indiretamente um sinal que indica a grandeza deste fenômeno físico. Quando operam diretamente, convertendo em uma energia neutra, são chamados transdutores.

Existem inúmeros tipos de sensores para as mais variadas aplicações. Em automação e controle eles são responsáveis pelo monitoramento do processo, enviando um sinal ao controlador que pode ser discreto (abertura ou fechamento de contatos), ou analógico.

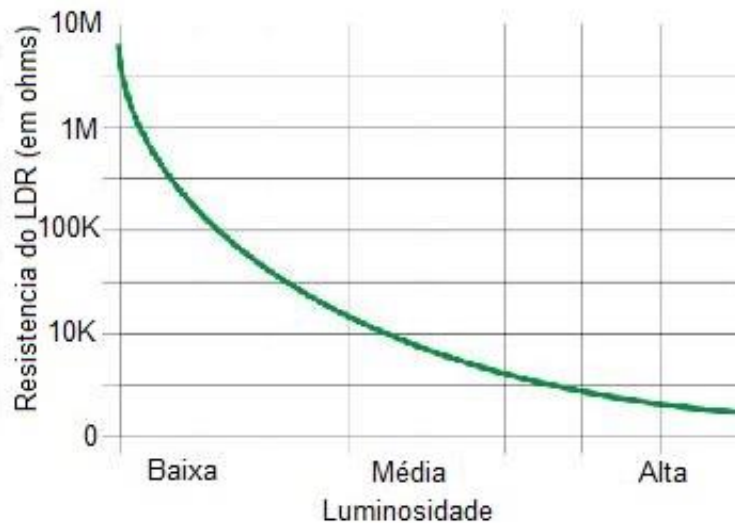
Os sensores podem utilizar diversas tecnologias e princípios físicos para detectar um fenômeno. Desta forma, podem ser classificados em: magnéticos, indutivos, capacitivos, ópticos, ultrassônicos e outros. (THOMAZINI, 2005, p.222).

## LDR - Light dependent resistor – Resistor dependente de luz



**Figura 24:** Sensor LDR.

Os LDRs são compostos por sulfeto de cádmio (CdS), um material semicondutor, que é disposto num traçado ondulado na superfície do componente. Esse material tem a propriedade de diminuir sua resistência à passagem da corrente elétrica quando a luminosidade sobre ele aumenta.



**Figura 25:** Gráfico de luminosidade do sensor LDR.

**Fonte:** <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAPOMAF/sensores-ldr>

## Sensor fotocélula

Este tipo de sensor pode ser de diversos tipos, ele possui a vantagem de ser muito rápidos não apresentam inércia e não possuem peças móveis, que podem ser quebradas ou desgastadas. Os sensores fotoelétricos podem ser de diversos tipos, entre eles: o sensor foto-resistor possui a superfície de sulfeto de cádmio que possui a sua resistência elétrica dependente da quantidade de luz incidente. Uma das vantagens deste tipo de sensor é que podem trabalhar com correntes relativamente elevadas, sendo muito sensíveis, e isto simplifica o projeto de seus circuitos. Porém a desvantagem está na sua velocidade de resposta. (THOMAZINI, 2005, p.222).



**Figura 26:** Relé fotocélula

- **Relé Fotocélula Tri-Fácil 220 V (AZUL) FCR2TF**

O Relé Fotocélula Tri-Fácil 220 V Exatron (FCR2TF) é ideal para o acionamento de pontos luminosos e outras cargas, mantém acesas luminárias ou outras cargas na ausência de luz natural e é insensível a variações bruscas de luminosidade, relâmpagos e faróis, pode ser instalado com qualquer tipo de lâmpada.



## **CAPÍTULO 4**

### **PROJETO DE UM SISTEMA DE COBERTURA AUTOMATIZADA DE ÁREA DE SECAGEM DE GRÃOS USANDO ENERGIA FOTOVOLTAICA**

Neste capítulo será relatado o modelo projeto de um sistema de cobertura automatizada de secagem de grãos utilizando a energia fotovoltaica. Tendo em vista que para a montagem deste tipo de projeto é necessário que seja um sistema confiável e funcional.

Será um projeto que precisara levar em conta a temperatura do ambiente, o valor da radiação solar do lugar onde está localizado o secador de grãos, pois para que a energia seja gerada com eficiência precisa destes dois fatores.

Este sistema captará a energia solar utilizando 4 células fotovoltaicas e armazenagem em um banco de 04 baterias de 150 Ah que são carregadas constantemente pela energia vinda das células.

As células solares convertem luz solar em eletricidade, a qual deve ser armazenada em bancos de baterias de alta capacidade, quando não for diretamente usada. Economicamente, o banco de baterias deve armazenar energia suficiente para minimizar os períodos noturnos e/ou de baixas intensidades de luz. (FELIX A. FARRET 2010).

A carga é alimentada diretamente pelo inversor de potência, para corrente alternada senoidal estabilizada que acionará dois motores M1 e M2 monofásicos de 0,75 CV cada, um em cada lado da cobertura, que dará partida através de um sensor de fotocélula, para indicar a presença de raios solares, que acionará o mecanismo de abertura ou fechamento da cobertura.



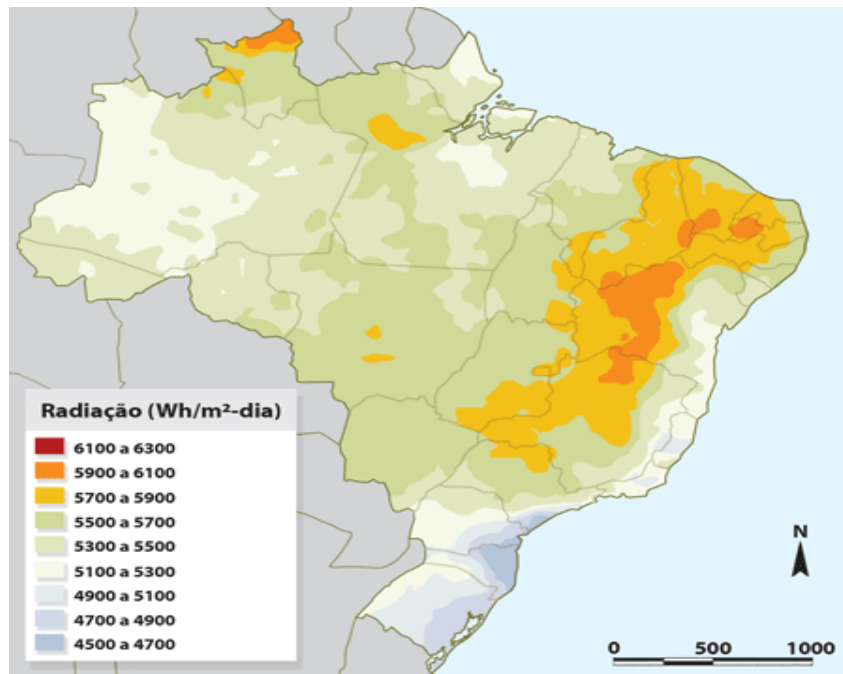
#### **4.1 DIMENSIONAMENTO DA COBERTURA AUTOMATIZADA DO TERREIRO SECADOR**

A Embrapa atualmente lançou um projeto onde esta em fase de teste o terreiro secador com cobertura móvel. Este secador com cobertura móvel proporciona a secagem homogênea dos grãos com a temperatura perto da ideal que é de 35 °C a 45° C. O tempo de secagem é de 3 a 4 dias. Segundo o engenheiro responsável e pesquisador Enrique Alves: “O terreiro de cimento de cobertura móvel é uma tecnologia viável ao produtor, pois diminui a mão de obra, uma vez que não é necessário fazer a amontoa do café nos períodos de chuva ou mesmo a noite”.

A cobertura automatizada seguirá o tamanho do terreiro secador que poderá ter em média 15x10m.

#### **4.2 - DIMENSIONAMENTO DO PAINEL SOLAR**

A escolha do painel solar é feita através de sua capacidade de geração em Ah. Com o valor da potência exigida em Watts por dia, divide o valor pela tensão do sistema (ex. 12 ou 24 V) e obterá a corrente/dia necessária:  $A = W / 12$  ou  $24$ . O resultado deve ser novamente dividido pelo tempo médio de insolação. (Ex.: 6 horas é a média para a posição geográfica do Brasil).



**Figura 27-**Mapa de índice de insolação no Brasil

**Fonte:** <http://revistaescola.abril.com.br/img/plano-de-aula/ensino-fundamental>.

Com o valor em Ah encontrado, escolha o painel que se iguala ou supera este valor. Para se obter uma quantidade alta de energia, utiliza-se da associação de vários painéis que, uma vez interligados, fornecem a potência necessária de geração elétrica. A escolha do painel solar deve ser feita escolhendo-se um ou mais painéis semelhantes que, sozinho ou reunido darão a potência maior e mais próxima do valor Watt / dia encontrado.

A associação de painéis é recomendada somente para painéis com potência e características elétricas semelhantes.

Como respondem à Lei de Ohm, com a associação obtemos:

- A cada painel adicionado, a soma das correntes [I], se conectarmos um painel a outro em PARALELO (positivo com positivo e negativo com negativo).
- A soma das tensões [V] em cada painel adicionado, quando conectamos um painel a outro em SÉRIE (positivo com negativo).

Conseqüentemente podemos associar e ter um sistema em múltiplos de tensões (12V /24V / 48V ... 96V, 108V, etc.); E com múltiplos de corrente.

Quanto à instalação, o local não poderá ter sombreamento ao longo do dia e ser o mais próximo possível do local de consumo. Os painéis podem ser fixados em telhados, lajes, postes, etc. e preferencialmente utilizando suportes específicos para isso. Sua direção deve sempre estar voltada para o Norte geográfico. Não poderá ser utilizada uma inclinação inferior à  $10^{\circ}$  para não acumular sujeira no painel. Os painéis solares geram eletricidade em corrente contínua (igual ao que é gerado em automóveis) e fornecem a energia polarizada, ou seja, um pólo é POSITIVO (+) e o outro pólo é NEGATIVO (-). Em sua grande maioria, são fabricados para atender a uma tensão de 12 ou 24 Volts nominal.

Levando em conta os dois motores de 0,75CV que em Watts fica em torno de 552W, e que em média serão acionados 2 vezes ao dia cada, ficará em torno de 2200W por dia de consumo.

Estando na média de 6h de insolação:  $2200 \text{ Watts} / 6 = 366,6 \text{ Wh}$ .

Será necessário gerar 366,6 Watts por hora para suprir o consumo de um dia. O sistema terá no mínimo tal capacidade.

### 4.3 DIMENSIONAMENTO DE BATERIAS

Some a corrente (Ampère) produzida pelo(s) painel(is), respeitando a regra da associação (Lei de Ohm). Multiplique pelas horas diárias de insolação e utilize um fator de segurança de 50% a mais. Deste valor encontrado, escolha a bateria ou o arranjo de baterias que acumulem essa energia. Quanto maior a quantidade de baterias, maior será a autonomia de seu sistema.

É conveniente ter a energia excedente acumulada, para dias chuvosos ou nublados. Exemplo: no caso de 12Volts, temos:

$$2200\text{W}/\text{dia} / 12\text{V} = 184\text{A} \quad 184 + 50\% = 276 \text{ A.}$$

Se escolhermos baterias de 115Ah:  $276 / 115 = 2,4$  ou seja 3 baterias.

Considerando a corrente de pico do motor ao dar a partida será acrescentado outra bateria, totalizando 4 baterias.

Multiplique o valor de consumo diário de corrente por 3 (três).

E recomendável utilizar uma bateria de 115 Ah, para cada placa de 0,6 metros quadrados. Sendo assim serão necessárias duas baterias de 115 Ah. Ex:

$$\begin{array}{rcl} 1 \text{ placa solar de } 0,6\text{m}^2 & \underline{\hspace{10em}} & 1 \text{ bateria de } 115\text{Ah} \\ 4 \text{ placas solares de } 0,6\text{m}^2 & \underline{\hspace{10em}} & X \end{array}$$

$X = 4$  baterias de 115 Ah

Uma boa opção é a bateria estacionária Bosch que tem capacidade de 105Ah(20hr) a 115Ah(100hr); dimensões de 330x172x240 (mm) e peso de 27Kg. Conta com a qualidade internacional Bosch e 02 anos de garantia para defeitos.

As baterias estacionárias Bosch são livres de manutenção e não necessitam de reposição de água ou eletrólito durante toda sua vida útil. Possuem 02 anos de garantia contra defeitos de fabricação e indicador visual do fim da vida da bateria.

As baterias Bosch Estacionárias são utilizadas em aplicações com energia solar, energia eólica, iluminação de emergência, UPS/No-break, PABX, centrais telefônicas, sinalizações, vigilância eletrônica, alarmes, monitoramento remoto e telecomunicações.



**Figura 28:** Bateria Bosch 150 Ah.

**Fonte:** [minhacasasolar.lojavirtualfc.com.br](http://minhacasasolar.lojavirtualfc.com.br)

#### 4.4 DIMENSIONAMENTO DO CONTROLADOR DE CARGA

O controlador de carga é definido pela tensão de trabalho dos módulos e pela corrente a ser exigida no sistema. A capacidade do controlador deve superar a corrente dos painéis ou do consumo, naquele que for maior: Será verificada a tabela do painel solar e sua corrente. O total vai ser obtido, levando em consideração a associação dos painéis, uma vez conectados em paralelo.

Sabendo a corrente máxima exigida pelos motores ( $I_n = 6,9$ ) que serão ligados ao sistema solar. Defina o controlador pelo maior valor encontrado (painel ou motor).

Exemplo: Supondo que o consumo diário representasse 750W hora/pico, divide-se este valor pela tensão do sistema (Ex.: 12 ou 24 Volts) e obtém-se a corrente pico necessário para escolher o controlador:

$$750 \text{ W} / 12 = 62,5\text{A} \quad 750\text{W} / 24 = 31,25 \text{ A}$$

Não é recomendável instalar sistemas que trabalhem em alta corrente, exceto em aplicações específicas; Tais sistemas são exponencialmente mais caros e requer muito mais cuidado com equipamentos, segurança e são potencialmente perigosos. Aconselha-se usar o balanceamento de carga, dividindo a potencia total em barramentos, no padrão semelhante ao utilizado em edificações.

Para a escolha certa do controlador de carga e preciso levar em conta a corrente do painel solar para a bateria. Neste projeto o painel será composto de 4 placas solares de (660 x 630 x 25) mm cada, que gera uma corrente de 3.08Ah cada. Consequentemente o controlador de carga devera suportar uma corrente de 12,32A. O escolhido pra ser usado é um controlador de 20 A para se ter uma margem superior boa.

<b>Corrente [A]</b>	<b>Utilização</b>
6	Recomendado para painéis formados por uma ou duas placas solares
12	Recomendado para painéis formados por três ou quatro placas solares
20	Recomendado para painéis formados por cinco ou seis placas solares
30	Recomendado para painéis formados por sete ou oito placas solares.

**Tabela 4.1:** Controladores de carga mais utilizados.

#### 4.5 DIMENSIONAMENTO DOS INVERSORES

Inversores são utilizados para energizar equipamentos em corrente alternada.

Estes equipamentos possuem um fator de eficiência ou potência (FP) que é dado em proporção à perda do próprio circuito. Calcule o consumo em Wh e compare com a capacidade REAL do inversor (Capacidade em W x FP). O inversor deve ter capacidade superior ao consumo.

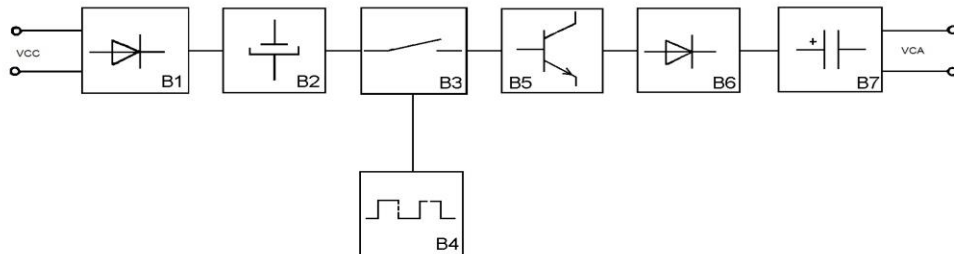
Para compor o sistema de cobertura automatizada com energia solar são usados (SOLARTERRA, 2008, p.45):

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 e os motores utilizam a corrente alternada.

Na fonte chaveada, aplica-se a tensão CC de entrada a uma etapa retificadora (de alta ou baixa tensão), filtra-se através de capacitores e a tensão resultante é "chaveada" ou comutada (transformada em tensão CA de alta frequência) utilizando-se

transistores de potência. Essa energia "chaveada" é passada por um transformador (para elevar ou reduzir a tensão) daí retificada e é filtrada.



Estrutura em blocos de uma fonte chaveada

B1: Circuito Retificador; B2: Filtro; B3: Circuito Chaveador; B4: Circuito PWM; B5: Circuito de Potência; B6: Circuito Retificador Final; B7: Filtro Final. Nota: Na entrada de tensão VCC normalmente encontra-se um filtro de linha, para eliminar as EMI (interferências eletro-magnéticas).

O circuito B1 promove a retificação da tensão que depois é filtrada em B2.

No estágio B3 encontram-se os elementos de chaveamento, ou seja, os transistores comutadores de alta frequência.

O estágio B4 contém os circuitos PWM (pulse width modulation), ou seja, modulação por largura de pulso.

Esse circuito controla quantidades de energia, através da largura dos pulsos, para efetuar a regulação da tensão de saída.

O circuito B5 é o circuito de potência que tem seus períodos de funcionamento controlados por B3. O circuito B6 promove a retificação final, já com níveis de tensão e corrente adequado à alimentação do circuito de carga.

O circuito B7 executa a filtragem final, obtendo-se então a tensão alternada. A regulação ocorre devido a um circuito de controle com realimentação que de acordo com a tensão de saída altera o ciclo de condução do sinal de chaveamento, ajustando a tensão de saída para um valor desejado e pré-definido. A vantagem é que o rendimento de potência é maior e a perda por geração de calor bem menor do que nas fontes lineares.

Além disso, necessita de transformadores menores e mais leves. A desvantagem é a emissão de ruídos e radiação de alta frequência devido à alta frequência de chaveamento. (<http://dc99.4shared.com/doc/LQyEXnAr/preview.html>).

Um Inversor de 1000W é o suficiente para alimentar um motor de cada vez. Pois não serão acionados dois motores ao mesmo tempo.

#### 4.6. DIMENSIONAMENTO DOS DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO

Em todo local de trabalho a preocupação com a segurança dos equipamentos e sempre levada em consideração. E preciso que haja no local um disjuntor que faça a segurança de todas as pessoas que irão trabalhar com o terreiro secador, evitando assim que haja algum surto de corrente ou tensão. Além disso, os disjuntores são confiáveis.

Disjuntores Termomagnéticos Monofásicos em função da corrente de desarme.

<b>Disjuntores Termomagnéticos Monofásicos que podem ser usados.</b>
5A, 10A, 15A, 20A, 30A.

**Tabela 4.2:** Tabela de disjuntores a serem usados.

##### 4.6.1 Contatores

Será usado um contator em cada motor, para o motor M1 será usado um com bobina de 12V que será acionado pelo sensor em paralelo com o termopar para abrir a cobertura, e para o motor M2 um com bobina 220V que será acionado por um relé fotocélula para fazer o fechamento da cobertura.





**Figura 29:** Contator auxiliar Siemens.

#### 4.7 MOTORES

Será usado dois motores monofásicos 0,75CV 2P 127/220V IP-21 CARC.B56 60HZ, de modelo WEG ou outro, e realizando a ligação de força e comando padrão de partida direta para motores monofásicos utilizando os dois contadores como o acionamento e um único botão de emergência para interromper o funcionamento em casos emergenciais.



**Figura 30:** Motor Monofásico 0,75CV.



Somente utilizar condutores de cobre flexível, observe o código de cores utilizado para sistemas de corrente contínua: vermelho para pólo positivo e preto para pólo negativo.

Tipo de Condutores (fios/cabos)	Distância	Para 1 Módulo	De 2 a 6 Módulos
Condutores Centrais (fios/cabos)	Até 30 metros	Usar bitola 4mm	Usar bitola 6mm
	Até 80 metros	Usar bitola 6mm	Usar bitola 10mm
	Até 150 Metros	Usar bitola 10mm	Usar bitola 10mm
Condutores Secundários (fios/cabos)	Qualquer	Usar bitola 2,50 mm	Usar bitola 2,50 mm

**Tabela 4.3:** Recomendações de bitolas em mm<sup>2</sup>, para condutores elétricos de cobre.

#### DO INVERSOR A BATERIA:

Modelo do inversor:	Distância até 3 metros:	Distância até 6 metros
175 Watts	4 mm <sup>2</sup>	10 mm <sup>2</sup>
400 Watts	10 mm <sup>2</sup>	25 mm <sup>2</sup>
700 Watts	16 mm <sup>2</sup>	35 mm <sup>2</sup>
1000 Watts	50 mm <sup>2</sup>	70 mm <sup>2</sup>
1750 watts	70 mm <sup>2</sup>	95 mm <sup>2</sup>
3000 Watts	120 mm <sup>2</sup>	Não usar

**Tabela 4.4:** Ramal de dimensionamento de cabo do Inversor à bateria.

Os ramais que deverão ser dimensionados são os seguintes:

- Ramal 1 (do painel solar até o controlador de cargas);
- Ramal 2 (do controlador de cargas até o conjunto de baterias);
- Ramal 3 (do controlador de cargas até o inversor);
- Ramal 4 (do inversor até o motor).

Para dimensionar o ramal 1, é necessário primeiro medir e assim obter o comprimento desse ramal, bem como a corrente que deverá conduzir.

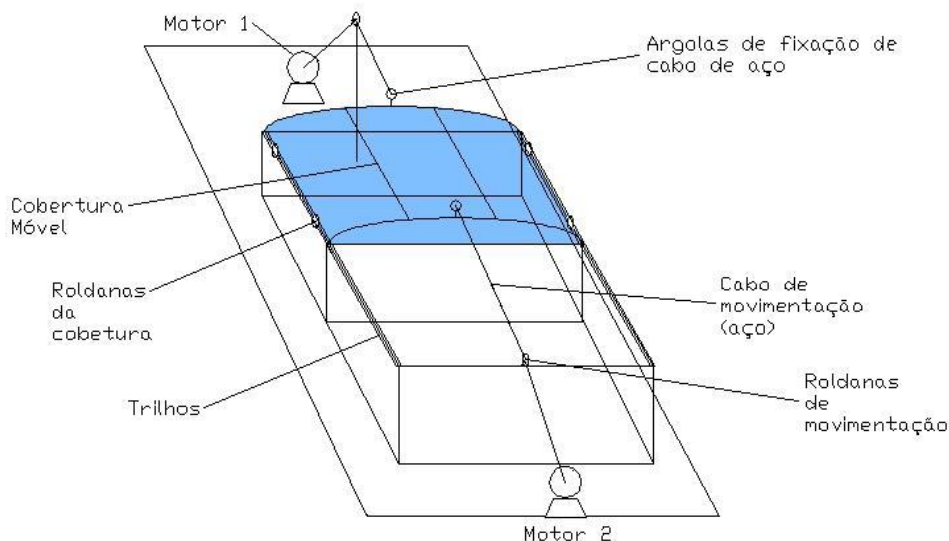
Já para dimensionar o ramal 2 será utilizada uma tabela com informações sobre a bitola dos condutores, em função da potência e da tensão, para uma distância máxima de 9 metros.

E para dimensionar o ramal 3 faz-se o mesmo procedimento, porém deve-se considerar as potências das cargas em corrente alternada, com um espaço de 10%, referente a eficiência do inversor.

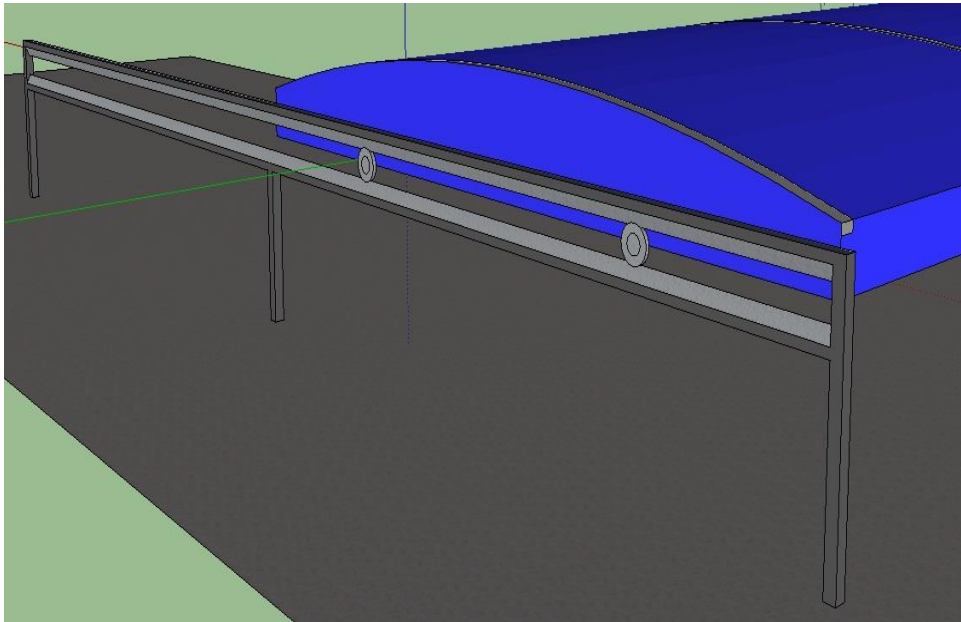
E por fim para dimensionar o ramal 4, deve-se realizar o mesmo procedimento do ramal 3.

#### 4.9 COBERTURA AUTOMATIZADA DE ÁREA DE SECAGEM DE GRÃOS

A cobertura automatizada poderá ser construída utilizando uma cobertura móvel, argolas de fixação, roldanas de cobertura, cabo aço para movimentação, roldanas de movimentação, trilhos, motor 1 e 2. Como mostra a figura abaixo:

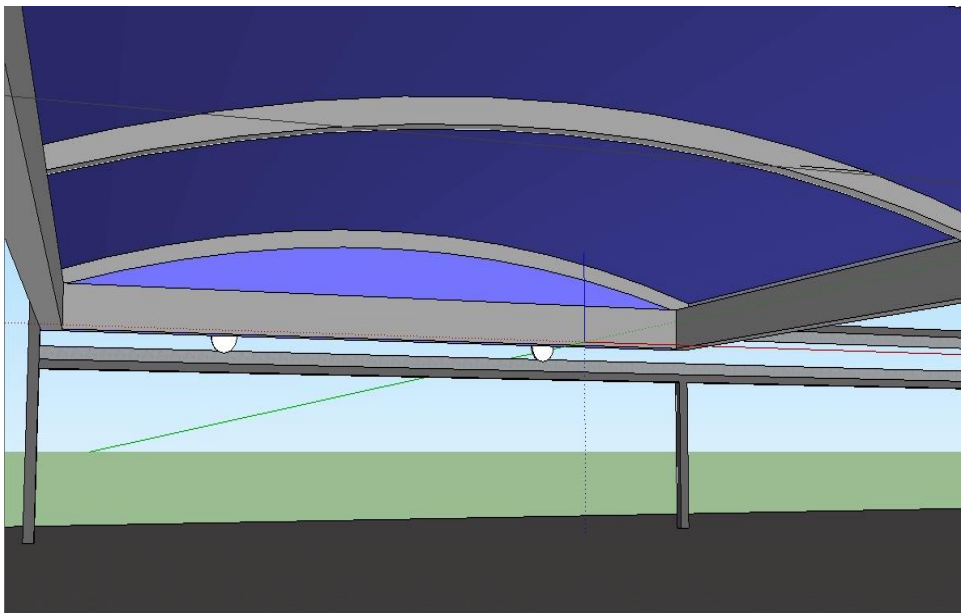


**Figura 32:** Esboço da cobertura.



**Figura 33:** Detalhe da fixação da cobertura pelas roldanas.

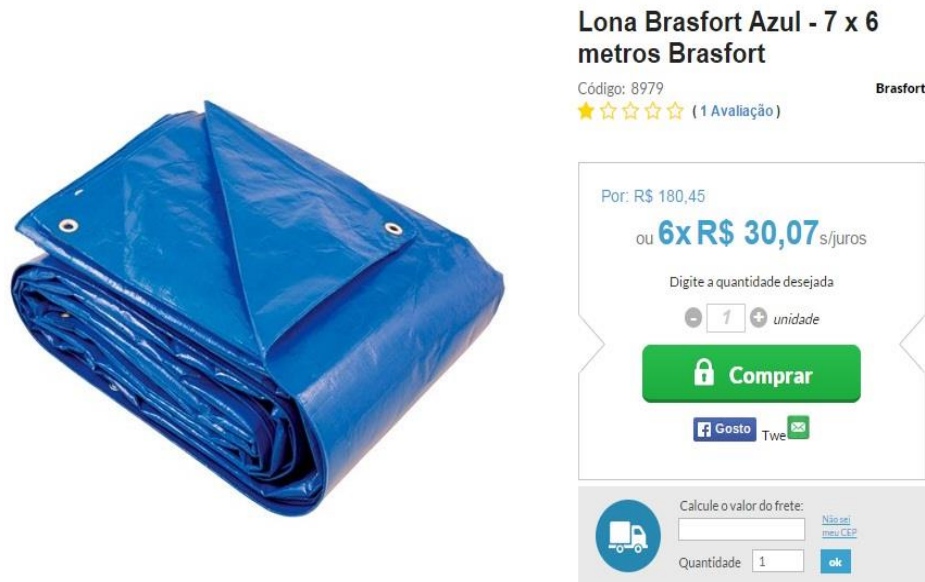
A cobertura será fixada nas roldanas de movimentação, através de dois trilhos, um embaixo onde ela realizará a rotação, e outro em cima, porém, não encostada na roldana, para impedir que a cobertura voe com o vento. As roldanas são fixadas lateralmente na cobertura atrás e um eixo resistente e fixo na cobertura.



**Figura 34:** Detalhe interno da cobertura junto com as roldanas.

Para a fabricação da cobertura poderá ser utilizado uma lona automotiva em PVC que possui uma boa durabilidade contra os eventos climáticos.

Este tipo de lona pode ser aplicado nos seguintes lugares: palcos, estruturas em eventos, coberturas em geral (box truss), coberturas de garagens, varandas, quintais, corredores, jardins, áreas de descanso ou laser, áreas externas, carrocerias de caminhões e etc.



**Figura 35:** Valor de lona disponível para compra.

**Fonte:** <http://www.elastobor.com.br/lona-brasfort-azul-7-x-6-m/p#.VUPSMSFViko>.

Como vimos em um site de vendas qualquer, o valor de uma lona de 7x6m gira em torno dos R\$180,00, ao comprar duas peças temos a metragem necessária pra aplicar na armação da cobertura, por um valor total de R\$ 360,90, e um peso em torno de 10kg.

Com relação aos motores, eles serão acoplados a um eixo girante para fazer o enrolamento do cabo de aço de arrasto da cobertura. O sensor relé fotocélula, que são usados em postes para ascender lâmpadas, que ativa quando não há claridade, será usado no usado no motor M1 fazendo o fechamento da cobertura. Já no motor M2 será usado o sensor LDR, cujo funcionamento será ao contrário, tendo a função de abrir a cobertura quando houver sol.

Foi realizada uma pesquisa de preço e informações técnicas com um metalúrgico da cidade, incluindo valores e peso final da cobertura.

Segundo ele, o material mais indicado para a cobertura é o metalão, por ser o metal mais leve para esse tipo de cobertura. Esse material é vendido por barra de 6 metros e 50x30mm que têm um peso de 9,5kg ou 1,58kg por metro, que será a base da cobertura.

Levando em consideração uma cobertura de 10x15m que é a média de tamanho dos terreiros, será preciso 50 metros de barra de 50x30mm para a base.

Para a parte arredondada da cobertura para o apoio da lona, será 32 metros de barra de 20x20mm, que é exatamente a metade de peso em relação à de 50x30mm, ou seja, 4,75kg por barra e 0,79kg por metro.

Fazendo o cálculo do peso da cobertura se tem um peso total de 104,28kg e o valor é de R\$4,00 por kg, dando um custo total de R\$418,12.

O custo da cobertura, incluindo a lona e a armação é de R\$780,00.

Será incluído 100 reais, relativos aos trilhos, às roldanas de movimentação e outros.

O custo de mão-de-obra para a montagem da cobertura é de R\$250,00, totalizando um valor total de R\$1.130,00, não há diferença de custo para ser acionada com energia convencional ou energia solar.

#### **4.9.1 CHAVE DE CONTATO FIM DE CURSO**

A chave fim de curso será usada para interromper a tensão do motor e, conseqüentemente, parar a cobertura quando ela chegar ao final do terreiro. Ela fica localizada na cobertura da área, fixada nos cantos superiores. Serão ligadas em NF, e no momento que a cobertura chegar ao fim, o contato se abrirá, interrompendo a energia do respectivo motor, M1 ou M2.

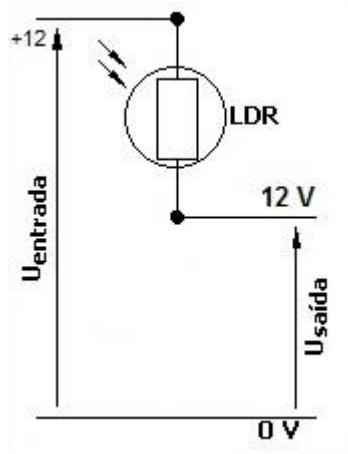
Será utilizado o modelo com roldanas, conforme modelo abaixo, por ser um modelo com pouca incidência de falhas.



**Figura 36:** Chave fim de curso.

#### 4.10 CIRCUITO DE MONTAGEM SENSOR LDR

O circuito da figura abaixo mostra como será ligado o sensor LDR, com a tensão de entrada ( $U_{entrada}$ ) de 12V vindas da bateria, e a tensão de saída ( $U_{saída}$ ) que acionará a bobina do contator de 12V, conforme for recebendo iluminação solar, fazendo o acionamento do motor M1.



**Figura 37:** Circuito de montagem sensor LDR.

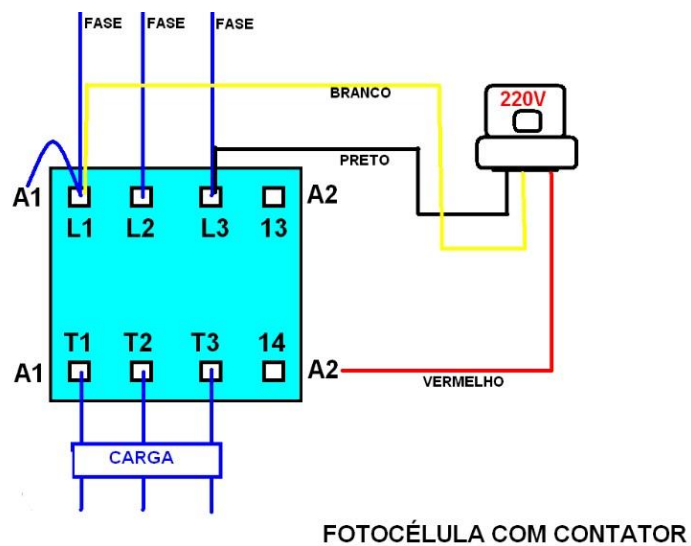


#### 4.11 SENSOR FOTOCÉLULA

O sensor fotocélula será usado para fazer o acionamento do motor M2, que fará o fechamento da cobertura.

Quando ele não detectar mais presença de luz, fechará o contato, acionando a bobina do contator, energizando o motor de fechamento.

A figura abaixo mostra uma ligação trifásica, porém, nosso sistema será monofásico (220V). Portanto, serão usados apenas dois contatos, mas o princípio é o mesmo.



**Figura 38:** Sensor fotocélula acionando contator

Foi levantado um orçamento de preço na empresa Eletrotrafo Materiais Elétricos e Iluminação para os equipamentos que serão necessários para o acionamento, movimentação e parada da cobertura.

O custo com os equipamentos será de R\$1.396,00, como veremos na imagem do orçamento abaixo.



 		<b>Pague em até 48x</b> <b>no cartão BNDES.</b> <b>Consulte-nos!</b>		Emissão 14/04/15 Atendimento 501694 Venda Loja 313928 Pedido Pagina 1					
AV. DR. FCO. LACERDA JR., 1551 - CORNELIO PROCOPIO - PR / Fone: 55-43-35205000 Fax: 004335205060 / CNPJ: 80224785000115 / LE: 5340082879									
Empresa : 000002 - 01 Nome : CLIENTE PF 18% ICMS Ender. : RUA 1, S/N Munic : CORNELIO PROCOPIO - PR CPF/CNPJ : IE/RG :			Contato : CLIENTE PESSOA FISICA E-Mail : Telefone : 043 0 Celular : 0						
Cond. Pagto : A VISTA Forma Pagto : R\$ Prev. Entrega : Imediata - SUJEITO AO ESTOQUE DIA Transportad. : ELETROTRAFO PRODUTOS Frete : R\$ 0,00 - CIF Despesas : R\$ 0,00 Validade : 19/04/15 Icms : 18% Incluso			Atendimento : 501694 Vendedor : Telefone :						
Vencdo Forma Valor 14/04/15 R\$ 1.396,00		Vencdo Forma Valor		Vencdo Forma Valor		Vencdo Forma Valor			
Marcel Lemana -									
It	Localiz	Produto	Descrição	UM	Qtde	Vlr Unit.	Vlr Item	Cl. Fiscal	ICMS
01		05100064	MOTOR WEG MONO NEMA - B56 3/4CV 2POLOS 3600RPM 110/220V 10019829	PC	2,00	590,336	1.180,67	85030090	18,00
02		00190002	RELE FOTO ELETRICO FOTO-ELETRICO REF RFR2FS 220V	PC	1,00	13,030	13,03	85364900	
03		00190005	BASE P/RELE FOTO ELETRICO REF TGBROLP	PC	1,00	5,395	5,40	85366910	
04	CS1 AD3	00232901	CONTATOR SIEMENS 3TS32 10-0AN2 18A 220V	PC	1,00	51,771	51,77	85364900	
05		09990010	** CONTATOR 12V NAO COTADO *** SOMENTE POR ENCOMENDA **	PC	1,00	0,012	0,01		18,00
06		03070061	CHAVE MICRORUPTOR HASTE FLEX/ROLD S2.A6/SWA-C1 (M3R) *** VERIFICAR ***	PC	2,00	18,845	37,69	85365090	
07	D 2 BE5	18580064	DISJUNTOR SCHNEIDER/MERLIN GERIN C BIPOLAR K32A2C10/EZ9F33210 10A	PC	2,00	20,868	41,74	85362000	
08		09990010	*** SENSOR LDR NAO COTADO ***	PC	1,00	0,012	0,01		18,00
09	D 8 PB0	31880029	BOTAO DE COMANDO MAX BOTTON COD. S-PRN1 - VERMELHO	PC	2,00	7,780	15,56	85389090	
10	D 8 PD0	31880045	ELEMENTO MAX BOTTON DE CONTATO COD. S-PL41 INF	PC	2,00	6,475	12,95	85389090	
11	D 8 PC0	31880034	BOTAO DE COMANDO MAX BOTTON TP. COG. C/TRAVA SLPFN1R4 40MM VERMELHO	PC	2,00	11,507	23,01	85389090	
12	D 8 PD0	31880045	ELEMENTO MAX BOTTON DE CONTATO COD. S-PL41 INF	PC	2,00	6,475	12,95	85389090	
13	C 5 BB2	02020041	FUSIVEL DIAZED 10A - ELETROMECC/SIMILAR	PC	1,00	1,341	1,34	85361000	
Total das quantidades: 20,00						Valor total dos Produtos: 1.396,13 Valor ICMS/ST: 0,00 Valor total do Pedido: 1.396,00			

Figura 39: Orçamento Eletrotrafo Materiais Elétricos e Iluminação.

## **CAPÍTULO 5**

### **ORÇAMENTOS, RESULTADOS E CUSTOS.**

Foram levantados orçamentos também em uma companhia de energia elétrica e em uma distribuidora de equipamentos de energia solar, para se ter uma idéia de valores e custos de tais modos de energização, para se mostrar a vantagem que uso de energia solar tem em relação à energia elétrica convencional, tais como valores de peças, infra-instrutora, custo de instalação e custos pós-instalação.

#### **5.1 EMPRESA DE ENERGIA SOLAR**

A empresa solicitada para a realização de orçamento na parte de energia solar foi a Neosolar Energia Ltda ME, que enviou um orçamento com valores de placas solares, inversores, controlador e baterias.

Não foi incluído valores de cabos, instalação e frete, por isso foi deduzido um valor de 5 a 6 mil reais para esses serviços adicionais.





dos dois motores elétricos que seriam alimentados pela energia elétrica, e estipulado um tempo de uso de 1 hora por dia dos motores.

**COPEL** Simulador de consumo de energia elétrica

1 Adicione um cômodo para iniciar a simulação do consumo. 2 Escolha o tipo de cômodo, selecione os aparelhos e defina suas características e tempo de uso. 3 Acompanhe o resultado da simulação através dos índices localizados na lateral e no final da página.

Ajuda Download

Nome do cômodo:  + Adicionar cômodo

Quarto  
Consumo aproximado  
R\$ 29,24  
44,16 kWh

Item:	Qtd.:	Potência em Watts:	Tempo de uso:	Período:	kWh por mês:	Custo por mês (R\$)
Ventilador	2	736	1	Horas/Dia	44,16	R\$ 29,24

Confirmar

**Resultado da Simulação**  
Soma total dos valores dos aparelhos elétricos adicionados em cada cômodo

Consumo aproximado da conta de luz: **44,16 kWh**

Valor aproximado: **R\$ 29,24**

\* Não esqueça de verificar a configuração de sua impressora.  
\*\* O resultado apresentado é apenas uma estimativa, podendo haver diferença em relação ao seu consumo real, devido às características específicas de cada equipamento.

Figura 42: Simulação de consumo da COPEL.

A simulação mostra um consumo aproximado de R\$ 29,24 ao mês, em um ano em torno de R\$ 350,88 e em 25 anos, cerca de R\$ 8.772,00 de consumo com energia elétrica no mesmo tempo de uso ininterrupto da energia solar.

Adicionado esse valor de consumo ao custo total de instalação pela empresa, gira em torno de R\$ 41.708,20.

A seguir tem-se uma pequena planilha com os custos totais do projeto, tanto para energia convencional, quanto para energia solar.

<b>Componentes</b>	<b>Energia convencional</b>	<b>Energia solar</b>
<i>Custos com geração, transmissão e mensal no prazo determinado.</i>	R\$ 41.708,20	R\$ 18.000,00
<i>Custo com os equipamentos necessários para acionamento, movimentação e parada da cobertura.</i>	R\$ 1.396,00	R\$ 1.396,00
<i>Custos com a cobertura</i>	R\$ 1.130,00	R\$ 1.130,00
<i>Custo total do projeto</i>	R\$ 44.234,20	R\$ 20.526,00

**Tabela 5.1:** Planilha total de custos.

Como observado nos orçamentos das empresas, os custos para um sistema com energia solar fica muito mais em conta do que a instalação da energia elétrica convencional, se levar em conta a mensalidade do uso da energia elétrica, esse valor aumenta ainda mais, vale lembrar que na aplicação solar, é viável se ter uma assistência técnica de tempos em tempos para verificar o funcionamento do sistema, se está tudo nos conformes, por isso foi aplicado um valor relativamente maior do que apenas os equipamentos de montagem.

Outra boa economia com esse sistema, não só na parte da energia, mas também na automatização da cobertura, é a diminuição de custos com mão-de-obra para realizar esses procedimentos de cobrir e descobrir o terreiro de café.

Esse processo de secagem do café em terreiro, sem sombra de dúvidas é um procedimento essencial na produção do café, visto que as condições climáticas mudam, e que se é necessário se ter essa cobertura, e a economia de mão-de-obra para esse procedimento é bem considerável.

As economias com esse sistema são mais consideráveis em longo prazo, o que poderá ser observado ao longo do tempo para pequeno e grande produtor.

## CONCLUSÃO

O ser humano com o passar dos tempos tem utilizado cada vez mais os recursos do nosso planeta, e com o desenvolvimento tecnológico e a globalização o uso da energia tem aumentado cada vez mais.

Diante disso, a humanidade tem buscado outras fontes de energia, assim a energia solar tornou-se uma opção de fonte renovável e limpa. Para isso, iniciou-se o uso de painéis solares, os quais possuem a função de transformar a energia solar em energia elétrica. Este tipo de equipamento nos dias atuais tem expandido sua utilização não apenas para casas e indústrias, mas também esta tecnologia também pode ser aplicada em locais afastados de linhas eletrificadas, iluminação externa de casas e espaços públicos, auxílio nas telecomunicações em locais remotos, telefonia rural, dentre outros.

Este trabalho teve como principal objetivo idealizar uma cobertura automatizada para secagem de grãos utilizando a energia fotovoltaica. E assim melhorar a qualidade dos grãos e preservar o meio ambiente.

No Brasil a energia solar aos poucos vem sendo difundida e por meio de projetos do governo federal visando atender as comunidades carentes e isoladas.

Espera-se que este desperte o estudo utilização da energia solar para a agricultura e colabore com trabalhos futuros.

O presente trabalho fica como contribuição para o acervo acadêmico, e esperam-se futuros estudos nesta área para contribuição para a matriz energética, visto que, a energia solar é renovável e não apresenta nenhum tipo de poluição.

Entretanto, o presente acadêmico coloca-se a disposição para os futuros pesquisadores a fornecer informações e verificação prática do presente trabalho.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APLICAÇÕES DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA. Disponível em: <http://www.domosolar.net/domotica/aplicacoes-da-energia-solar-fotovoltaica>. Acesso em: 15 de maio de 2014.

BAKKER-ARKEMA, F.W., LEREW, L.E., BROOK, R.C., BROOKER, D.B. **Energy and capacity performance evaluation of grain dryers**. St. Joseph, Michigan, ASAE, 1978. 13p. (ASAE Paper, 78-3523).

BÁRTHOLO, F. G.; MAGALHÃES FILHO, A. A. R. de; GUIMARÃES, P. T. G.; CHALFOUN, S. M. Cuidados na colheita, no preparo e no armazenamento do café. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 14, n. 162, p. 33-44, jul. 1989.

CORREA, P.C. **Simulação de secagem de café em camada espessa**. Viçosa, MG, UFV, Imprensa Universitária, 1982. 47p. (Tese MS).

DE LEVA, F.; SALERNO C.; GUIMARÃES J. **Modelo de um projeto de um sistema fotovoltaico, Núcleo de Eletricidade Rural e Fontes Alternativas de Energia, Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia**, 2001. Núcleo de Eletricidade Rural e Fontes Alternativas de Energia, Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia. Disponível em: [www.proceedings.scielo.br](http://www.proceedings.scielo.br). Acesso em 05 de junho de 2014.

ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA. Disponível em: <http://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/energia-solar-fotovoltaica>. Acesso em: 23 nov. 2013.

ENERGIA SOLAR - PRINCÍPIOS E APLICAÇÕES. (2006). Disponível em: [www.cresesb.cepel.br](http://www.cresesb.cepel.br). Acesso em 12 de maio de 2014.

FARRET, F. A. **Aproveitamento de pequenas fontes de energia elétrica**. Santa Maria: Ed. Da UFSM, 2010.

FONTES CHAVEADAS. Disponível em: <http://dc99.4shared.com/doc/LQyEXnAr/preview.html>). Acesso em 18 de junho de 2014.

GIOMO, G. S. **Café**. Disponível em: [http://sna.agr.br/wp-content/uploads/alav688\\_cafe.pdf](http://sna.agr.br/wp-content/uploads/alav688_cafe.pdf). Acesso em: 10 jan. 2014.

KALOGIROU, S. A., 2009. Solar energy engineering: processes and systems. 1ª edição, Academic Press, Elsevier, EUA. Disponível em: [www.cresesb.cepel.br](http://www.cresesb.cepel.br) Acesso em: 19 de junho de 2014.

LACERDA FILHO, A.F. de. **Avaliação de diferentes sistemas de secagem e suas influências na qualidade do café (Coffea arabica L)**. Viçosa, MG, UFV, Imprensa Universitária, 1986. 136p. (Tese MS).

MALTA, M. R. **Análise sensorial e fisiológica de cafés armazenados submetidos a diferentes formas de processamento e secagem.** Disponível em: <[http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/spcb\\_anais/151.pdf](http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/spcb_anais/151.pdf)>. Acesso em: 28 jan. 2014.

PRETE, C. E. C. **Condutividade elétrica do exsudato de grãos de café (*Coffea arabica* L.) e sua relação com a qualidade da bebida.** 1992. 125 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1992.

RIBEIRO, D. M. **Qualidade do café cereja descascado submetido a diferentes temperaturas, fluxos de ar e períodos de pré-secagem.** 2003. 86 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2003.

SAMPAIO, Cristiane Pires. **Alternativas tecnológicas para secagem e armazenagem de café.** Disponível em:

SILVA, Juarez de Sousa e, NOGUEIRA Roberta Martins, Domenici Consuelo ROBERTO. **Terreiro híbrido: alternativa de baixo custo e alta eficiência para a secagem do café.** Disponível em: <http://m.cafepoint.com.br/radares-tecnicos/poscolheita/terreiro-hibrido>

ROSSI, S. J., ROA, G. **Secagem e armazenamento de produtos agropecuários com uso de energia solar e ar natural. Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia.** Academia de Ciências do Estado de São Paulo. Publicação ACIESP n 22, 1980. 295p.

SOARES, A.G.O., SILVA, J.S., DALPASQUALE, V.A., OLIVEIRA, J.L. **Secagem de café em secadores de fluxo concorrente.** Informe agropecuário, Belo Horizonte, v.9, n.99. 1983. p.18-24.

THOMAZINI, Daniel. ALBUQUERQUE, Pedro U.B. **Sensores Industriais-Fundamentos e Aplicações**, 5° ed. São Paulo: Érica, 2005. 222p.

UTILIZAÇÕES DA ENERGIA SOLAR NA CIDADE E NO CAMPO. Disponível em: <<http://www.ruralnews.com.br/visualiza.php?id=986>>. Acesso em: 27 jan. 2014.

VANTAGENS E DESVANTAGENS DA ENERGIA SOLAR. Disponível em: <http://www.portal-energia.com/vantagens-e-desvantagens-da-energia-solar/>. Acesso em: 28 de maio de 2014.

VALLÊRA, BRITO (2006). **Meio século de energia fotovoltaica.** Disponível em: [http://www.academia.edu/1776319/MEIO\\_SECULO\\_DE\\_HISTORIA\\_FOTOVOLTAICA](http://www.academia.edu/1776319/MEIO_SECULO_DE_HISTORIA_FOTOVOLTAICA). Acesso em: 25 de abril de 2014.

WALISIEWICZ, Marek. **Energia alternativa.** São Paulo: Publifolha, 2008. (Mais ciência).

**FOTOCELULA-PARA-ILUMINACAO.**

[http://www.esferatronic.com.br/ecommerce\\_site/produto\\_12479\\_9676\\_RELE-SENSOR-FOTOCELULA-PARA-ILUMINACAO](http://www.esferatronic.com.br/ecommerce_site/produto_12479_9676_RELE-SENSOR-FOTOCELULA-PARA-ILUMINACAO)