

VIABILIZAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO EM CÂMARAS FRIGORÍFICAS

José Bione de Melo Filho – jbionef@chesf.gov.br

Rodrigo Barbosa de Lima – rodrigobalima@yahoo.com.br

Universidade de Pernambuco – Escola Politécnica – Departamento de Engenharia Mecânica

Rua Benfica 455, sala dos professores, Madalena, Recife-PE, CEP 50720-001, Brasil.

Telefone: (55) 81 2119-3855

Resumo. *O presente artigo aborda um estudo sobre a utilização da energia solar fotovoltaica em câmaras frigoríficas, especificamente câmara de resfriado, tendo sua aplicação em comunidade de pescadores, supermercados, mercadinhos, restaurantes e atacados, com o objetivo de atender a regiões sem energia elétrica, como também, a redução do consumo de energia elétrica destes consumidores. A escolha da câmara de resfriado foi influenciada por dois motivos: A Câmara de Resfriado possui uma potência instalada menor que a Câmara de Congelado fazendo com que diminua a potência do sistema fotovoltaico, diminuindo o custo do mesmo e outro fator foi uma pesquisa feita com alguns consumidores, tais como supermercados, mercados e restaurantes. Para adaptar o sistema fotovoltaico foi realizado, primeiramente, um estudo para verificar quais as características da câmara de resfriado. A câmara de resfriado em questão é utilizada para armazenamento de verduras, legumes, carnes, peixes ou frutas. A câmara funciona 20 horas por dia apresentando um consumo de energia elétrica de 929,64 KWh por mês. Com a utilização da energia solar fotovoltaica o consumidor (conectado em baixa ou alta tensão) irá deixar de pagar por este consumo que representa R\$5.582,52 por ano para o consumidor de baixa tensão e R\$2.517,16 por ano para o consumidor de alta tensão.*

Palavras-chave: *Energia Solar, Sistema Fotovoltaico, Câmara Frigorífica.*

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um país com uma faixa litorânea muito extensa, ao longo da qual a pesca é praticada por várias pequenas comunidades que, muitas vezes, não têm a infra-estrutura adequada no que se refere ao meio de transporte e nem mesmo energia elétrica para a estocagem dos produtos pesqueiros. Também, estas comunidades se vêem obrigadas a venderem seus produtos a preços baixos a atravessadores que possuam um caminhão frigorífico e possam transportar para o centro consumidor em condições mais adequadas. Tal situação, ainda existente não remunera adequadamente o pescador e não satisfaz plenamente ao atravessador, pois, muitas vezes, este volta com seu caminhão frigorífico sem a carga completa, o que, evidentemente, é um prejuízo financeiro. Além disso, ocorre uma agressão ao meio ambiente, pois a necessidade de um maior número de viagens acarreta um grande gasto de combustível com emissão de grande massa de poluentes. Assim sendo, penaliza-se duplamente o consumidor final, pois o peixe por ele adquirido, durante o tempo que esteve no barco pesqueiro não foi estocado em condições adequadas e ainda custa mais caro devido a não minimização do custo de transporte. Tal situação pode ser amenizada se a comunidade de pescadores puder ter acesso a uma câmara frigorífica que gere condições adequadas de congelamento.

Mediante também ao grande potencial turístico do Brasil, onde agrega mais de 10.000 restaurantes e bares espalhados pela sua região costeira, que apresentam dificuldades no armazenamento de alimentos, como também, aos restaurantes localizados em regiões urbanas que apresentam como item de seu custo a elevada conta de energia elétrica. Levaram a busca por novas tecnologias no fornecimento de energia elétrica com os objetivos de reduzir o consumo ou atender aos estabelecimentos sem energia. A utilização da energia solar fotovoltaica para alimentar câmaras frigoríficas de resfriados apresenta-se como uma solução para este problema. Este estudo mostra a possibilidade de um sistema fotovoltaico atender as necessidades energéticas de uma câmara frigorífica de resfriado, como também, a redução do consumo de energia e o seu tempo de retorno. Um sistema fotovoltaico possui uma vantagem de ser um sistema autônomo, de geração distribuída e isolada. É importante ressaltar que a falta de fornecimento de energia elétrica para câmara frigorífica pode provocar uma perda do produto armazenado causando prejuízo para a empresa.

2. CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO

Uma Câmara Frigorífica pode ser definida de uma maneira geral como um sistema fechado e isolado termicamente com a função de armazenagem, estocagem de produtos de vários ramos como, por exemplo, suínos, bovinos, aves, sorvetes e outros. Esta forma de estocagem pode ser feita em baixas temperaturas ou em altas temperaturas dependendo do produto a qual está sendo armazenado. Sua estrutura pode ser definida de uma maneira geral, como um sistema

composto de compressores, condensadores, evaporadores e componentes. A câmara frigorífica possui um fluxo de refrigeração ou ciclo de refrigeração que é representada por quatro etapas (Figura 1).

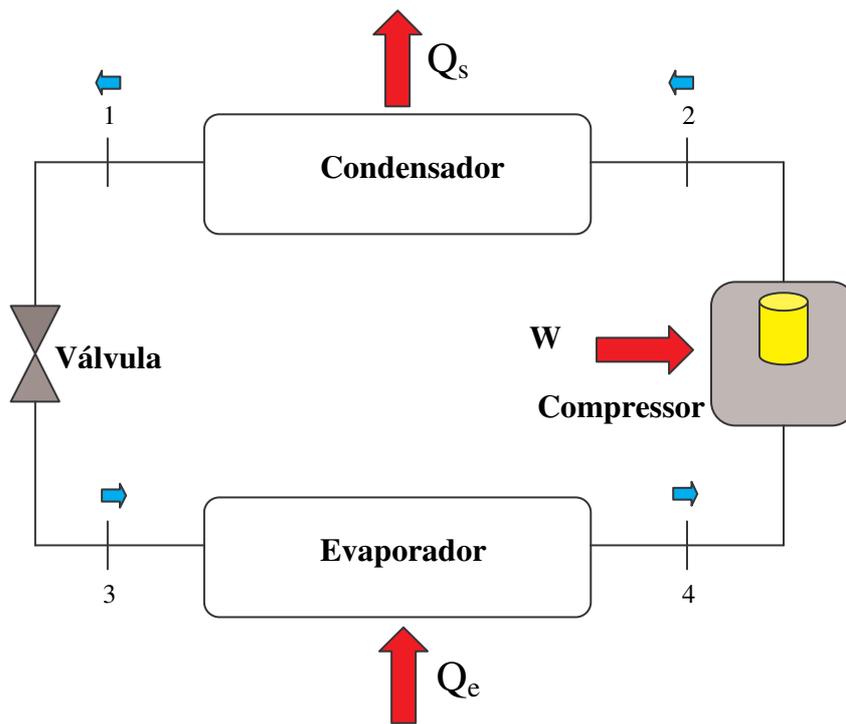


Figura 1 – Sistema de refrigeração.

Na etapa 1 o refrigerante após passar pelo condensador se encontra na forma líquida e a alta pressão. Após passar pelo condensador, o refrigerante vai passar pela válvula de expansão onde vai ocorrer uma diminuição da pressão chegando a etapa 3. Agora o refrigerante que se encontra na forma líquida, mas com pressão baixa vai passar pelo evaporador onde ocorre uma nova troca de calor fazendo com que este refrigerante passe para o estado de vapor passando agora pela etapa 4. Por fim o refrigerante chega ao compressor à baixa pressão e no estado de vapor onde vai sofrer um aumento de pressão devido a compressão sofrida no compressor iniciando novamente o ciclo, passando pela etapa 2, com o refrigerante no estado de vapor e a alta pressão.

A Câmara Frigorífica em estudo é uma Câmara de Resfriado podendo ser utilizada em supermercados, mercadinhos, restaurantes, atacados e peixarias. A escolha da Câmara de Resfriado foi influenciada por dois motivos:

1. A Câmara de Resfriado possui uma potência instalada menor que a Câmara de Congelado fazendo com que diminua a potência do sistema fotovoltaico, diminuindo o custo do mesmo;
2. Outro fator foi uma pesquisa feita com alguns consumidores, tais como supermercados, mercados e restaurantes objetivando a importância do uso da Câmara de Resfriado.

A potência instalada da Câmara de Resfriado pode ser calculada conforme a Equação 1:

$$E = P \times \Delta t \quad (1)$$

Onde:

E - energia consumida pelo equipamento em unidade de potência versus tempo;

P - potência do equipamento em Watts;

Δt - tempo em horas que o equipamento vai permanecer ligado.

Foi realizada uma pesquisa junto às empresas de supermercados e restaurantes a fim de verificar a importância do uso da câmara de resfriado para os estabelecimentos. A Tabela 1 mostra que 88% dos estabelecimentos pesquisados usam câmaras de resfriados, o motivo é que os produtos manipulados precisam de ter temperatura regulada até serem consumidos, chegamos a verificar que em alguns estabelecimentos eram usados ar condicionado de parede para controlar a temperatura, procedimento que provoca um aumento excessivo do consumo da energia elétrica.

Tabela 1 – Resultado da pesquisa.

Restaurantes / Supermercados	Possui Câmara de Resfriados	
	Sim	Não
Laçador	X	
Entre Amigos o Bode	X	
Portal do Picuí		X
Boi no Bafo		X
Portal do Derby	X	
Praça da Picanha	X	
Bompreço Afogados	X	
Bompreço Boa Viagem	X	
Bompreço Jaqueira	X	
Bompreço Aflitos	X	
Bompreço Arruda	X	
Bompreço Casa Amarela	X	
Carrefour	X	
Extrabom Curado	X	
Extrabom Boa Viagem	X	
Extrabom Beberibe	X	
Atacadão Extra	X	
Total	15	2
Total (%)	88%	12%

De acordo com a pesquisa, todos afirmaram que o processo de refrigeração é o responsável por 80% da conta de energia elétrica e o uso de câmaras de resfriado possibilita uma redução do consumo, confirmando a importância deste tipo de refrigeração para estes estabelecimentos. Desta forma, a possibilidade de incluir o sistema fotovoltaico no processo de refrigeração de câmaras de resfriado, como também, em sistemas de refrigeração autônomos, abriríamos um excelente mercado para o fotovoltaico.

2.1 Características e consumo da câmara de resfriado

Foi realizado um trabalho de consultoria junto aos fabricantes de câmara de resfriados para definirmos qual equipamento comercial apresentasse as características suficientes para atender a demanda dos estabelecimentos e fosse compatível com o espaço físico. Desta forma, ficou definido o seguinte equipamento:

- Dimensões
2,30 metros de comprimento
1,15 metros de largura
2,30 metros de pé direito (altura)
- Equipamentos em Estudo
01 compressor de gás de 1.518 Watts
01 condensador de 195 Watts
01 evaporador com um ventilador de 140 Watts
- Componentes da Câmara de Resfriado
Painel Frigorífico
Porta Tipo Correr
Alarme de Temperatura
Pallets
Porta Pallets

A câmara de resfriados em estudo pode trabalhar a uma temperatura de 0° C, utiliza como refrigerante o Freon-22. A temperatura de entrada do produto é em torno de 3 °C e a temperatura ambiente fica em torno de 15° C. Este tipo de câmara pode armazenar diversos produtos como, por exemplo, laticínios, verduras, legumes, carnes resfriadas, peixes

ou frutas. A câmara tem um funcionamento de 20 horas diárias. A porta da câmara fica fechada no horário das 11h00min as 13h00min e 20h00min as 22h00min evitando um maior consumo de energia neste período.

Para o cálculo do consumo de energia elétrica da Câmara de Resfriado basta conhecer a potência dos equipamentos em estudo, determinar a potência total da Câmara de Resfriados e calcular a energia elétrica consumida da seguinte forma:

- Compressor: 1.518 Watts.
- Condensador: 195 Watts.
- Evaporador: 140 Watts.

Somando as potências de cada equipamento, teremos: 1.853 Watts. Sabendo a potência total e o tempo que a câmara fica ligada, teremos o seu consumo de energia da seguinte forma:

Valores Conhecidos:

$$P = 1.853 \text{ Watts}$$

$$\Delta t = 20 \text{ Horas por dia}$$

Lembrando que a porta da câmara permanece fechada 4 horas por dia, fazendo com que das 20 horas de funcionamento diário, trabalhe 16 horas com o sistema completo e 4 horas somente com o condensador e o evaporador. Então:

$$E = P \times \Delta t$$

$$E = (1853 \times 16) + (335 \times 4) = 30.988 \text{ Watt*hora por dia}$$

A câmara possui um consumo de 30.988 Watt*hora por dia que multiplicado por 30 corresponde a um valor de 929.640 watt*hora por mês ou 929,64 Kwh por mês.

Não adotamos em nosso estudo a opção da solar térmica, por não apresentar sistemas comerciais para o tamanho adotado.

3. CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Para conseguir gerar energia elétrica, com confiabilidade, a partir da energia liberada pelo sol são utilizados alguns equipamentos que juntos formam o Sistema Fotovoltaico que por definição é: um conjunto de equipamentos que são utilizados na obtenção da energia elétrica. São partes do sistema fotovoltaico:

1. Placa Solar ou Módulo Fotovoltaico;
2. Unidade de Controle;
3. Armazenamento;
4. Usuário.

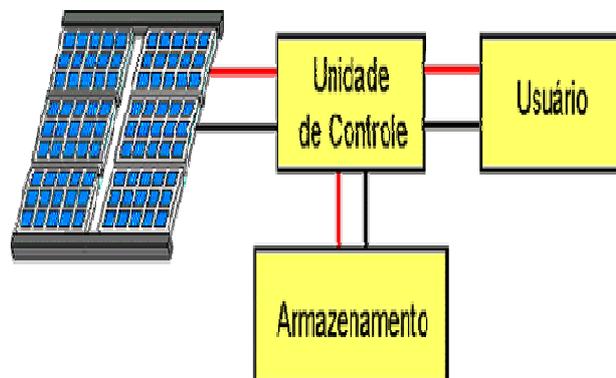


Figura 02 - Configuração básica de um sistema fotovoltaico.

Placa solar ou Módulo fotovoltaico: onde ocorre a absorção da energia irradiada pelo Sol e transformada em energia elétrica através do efeito fotovoltaico;

Unidade de controle: que representa o inversor onde vai ocorrer a transformação da tensão contínua, gerada pelo módulo fotovoltaico em tensão alternada a qual irá alimentar a câmara de resfriado. O controle de quem irá alimentar a câmara de resfriado, a placa solar ou as baterias, também é feito pela unidade de controle;

Armazenamento: que são as baterias que vai acumular energia enquanto o sistema estiver sendo alimentado pelas placas solares e irá alimentar a unidade de controle enquanto as placas solares estiverem fora do sistema fazendo com que o sistema torne-se confiável;

Usuário: que representa a câmara de resfriado, ou seja, o consumidor.

Módulo fotovoltaico escolhido:

- Potência de 80 Wp
- Tensão de 16,9 Volts
- Corrente de 4,73 Amperes

Utilizando um fator de segurança de 0,9 em cima da potência do sistema passaremos a possuir uma nova potência a qual será utilizada para o cálculo do número de módulos fotovoltaicos.

Potência com fator de segurança:

$$P_{fs} = P_s / 0,9$$

$$P_{fs} = 1.853 / 0,9$$

$$P_{fs} = 2.059 \text{ Watts}$$

Número de Módulos Fotovoltaicos em Série e Paralelo.

Será feito um arranjo com os módulos, ou seja, colocá-los em série e em paralelo para obter a tensão e corrente necessária para atender o sistema.

Como cada módulo fotovoltaico possui uma tensão de 16,9 Volts e a tensão que o conjunto de módulos terá que produzir para alimentar o conversor ser de 48 Volts, o número de módulos fotovoltaicos em série será de:

$$N^{\circ} = 48 / 16,9$$

$$N^{\circ} = 2,84$$

$$N^{\circ} = 3 \text{ módulos em série}$$

Buscando o mesmo raciocínio, cada módulo fotovoltaico possui uma corrente de 4,73 Amperes e a corrente que o conjunto de módulos terá que produzir ser de 42,90. O número de módulos fotovoltaicos em paralelo será de:

$$N^{\circ} = 42,90 / 4,73$$

$$N^{\circ} = 9,06$$

$$N^{\circ} = 9 \text{ módulos em paralelo}$$

Possuindo um número de 3 módulos em série e 9 módulos em paralelo, o conjunto de módulos será de:

$$N^{\circ} \text{ de Módulos} = 3 * 9$$

$$N^{\circ} \text{ de Módulos} = 27 \text{ módulos}$$

Custo do Módulo Fotovoltaico

O preço de um 1 Wp custa em média U\$3 que em reais está custando em torno de R\$5,67. Como o sistema precisa de 27 módulos fotovoltaicos e cada módulo possui 80 Wp, o custo para a obtenção dos módulos fotovoltaicos será de R\$12.247,2.

Bateria escolhida:

- Tensão de 12 Volts
- Corrente de 150 Amperes/hora com uma descarga mínima de 60%

Números de Baterias em Série e Paralelo.

Como cada bateria possui uma tensão de 12 Volts e terá que alimentar o inversor em 48 Volts, o número de baterias em série será de:

$$N^{\circ} = 48 / 12$$
$$N^{\circ} = 4 \text{ baterias}$$

Para calcular o número de baterias em paralelo, vai ser levada em conta a corrente de descarga mínima a qual leva a um valor de corrente de 90 Amperes/hora.

A câmara frigorífica ficará sendo alimentada pelo conjunto de bateria em torno de 9 horas por dia. Como cada bateria fornece 90 Amperes/hora, para funcionar 9 horas por dia este conjunto terá que fornecer 810 Amperes/hora.

Para conseguir gerar esta corrente serão necessárias 9 fileiras de baterias em paralelo.

Tendo um número de 4 baterias em série e 9 bateria em paralelo, o conjunto total de baterias será de:

$$N^{\circ}t = 4 * 9$$
$$N^{\circ}t = 36 \text{ baterias}$$

Custo da Bateria

O preço de uma bateria custa em média R\$ 360,00 (Delco) como o sistema precisa de 36 baterias, o custo para a obtenção das baterias será de R\$12.960,00.

Inversor Escolhido:

O Inversor escolhido possui as seguintes características:

- Potência de 2.000 Watts
- Tensão 48 DC / 220 AC

Custo do Inversor

O preço de um inversor com essas especificações custa em média R\$ 2.000,00 podendo variar de acordo com o fabricante.

Custo Total para a Obtenção do Sistema Fotovoltaico

Para a obtenção do sistema fotovoltaico basta somar os valores de cada equipamento.

Custo Total:

$$Ct = 12.247 + 12.960 + 2.000 = R\$27.207$$

4. ANÁLISE CUSTO X BENEFÍCIO

Para o cálculo do retorno para o investimento foi adotada a tarifa para um consumidor comercial de baixa e de alta tensão devido aos tipos de consumidores estudados no projeto.

Consumidor de Baixa Tensão:

Tarifa de energia: 0,50042R\$/KWh

Cálculo o consumo da Câmara de Resfriado.

Potência da Câmara: 1,853 KW

Energia Consumida pela Câmara de Resfriado:

Energia consumida = $(1,853 * 16) + (0,335 * 4) = 30,988$ KWh dia

Energia consumida = 929,64 KWh mensal

Preço pago pela energia consumida:

Preço pago = $0,50042 * 929,64 = R\$465,21$ por mês ou R\$5.582,52 por ano

Retorno do investimento:

Como o investimento para obtenção do sistema fotovoltaico é de R\$ 27.207,00 para saber em quanto tempo vai ser pago o investimento, divide-se o investimento pela economia obtida por mês ou por ano. O cálculo do retorno é feito da seguinte forma:

$$\text{Retorno} = 27.207,22 / 5.582,52$$

$$\text{Retorno} = 4,87 \text{ anos}$$

$$\text{Retorno} = 5 \text{ anos}$$

Verificado junto aos fabricantes de baterias para sistemas fotovoltaicos que a vida útil das mesmas fica em torno de 4 a 5 anos, permitindo considerar um novo ciclo de análise a partir dos cinco anos do sistema instalado, considerando apenas o investimento com as novas baterias.

Consumidor de Alta Tensão:

Tarifa de energia: 0,22564 R\$/KWh

Cálculo o consumo da Câmara de Resfriado.

Potência da Câmara: 1,853 KW

Energia Consumida pela Câmara de Resfriado:

$$\text{Energia consumida} = (1,853 * 16) + (0,335 * 4) = 30,988 \text{ KWh dia}$$

$$\text{Energia consumida} = 929,64 \text{ KWh mensal}$$

Preço pago pela energia consumida:

$$\text{Preço pago} = 0,22564 * 929,64 = \text{R}\$209,76 \text{ por mês ou R}\$2.517,16 \text{ por ano}$$

Retorno do investimento:

Da mesma forma como foi feito para o consumidor de baixa tensão vai ser adotado para o consumidor de alta tensão.

$$\text{Retorno} = 27.207 / 2.517,16$$

$$\text{Retorno} = 10,8 \text{ anos}$$

$$\text{Retorno} = 11 \text{ anos}$$

5. CONCLUSÃO

Como pode ser observado no estudo realizado, foi verificado que existe um sistema fotovoltaico que atende o sistema da câmara de resfriado. A câmara apresenta um consumo de energia elétrica de 929,64 Kwh por mês. Com a utilização da energia solar fotovoltaica o consumidor deixará de pagar na sua conta de energia R\$5.582,52 por ano para o consumidor de baixa tensão e R\$2.517,16 por ano para o consumidor de alta tensão.

O retorno para este investimento é uma função que depende de vários fatores: o tipo de consumidor estudado fazendo variar a tarifa de energia elétrica, o tempo em que o equipamento vai permanecer ligado variando o consumo de energia elétrica, dentre outros fatores. Com isso pode ser dito que a viabilidade do retorno deste investimento vai variar de consumidor para consumidor sendo este responsável pela utilização ou não deste tipo de sistema de acordo com a sua necessidade.

6. REFERÊNCIAS CONSULTADAS

AMBIENTEBRASIL. **Energia Solar**. Disponível em: <http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=/energia/index.html&conteudo=/energia/solar.html>. Acesso em: 20/10/2006

AONDE VAMOS. **Energia Solar Fotovoltaica**. Disponível em: <http://www.aondevamos.eng.br/textos/texto02.htm>. Acesso em: 20/10/2006

COEPBRASIL. **Energia Solar**. Disponível em: http://www.coepbrasil.org.br/noticias.asp?id_noticia=900. Acesso em: 09/08/2007

CRESEB –CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA. **Tutorial de Energia Solar**. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/>. Acesso em: 11/09/2006

DÂNICA. **Produtos**. Disponível em: <http://www.danica.com.br/pt/produtos.php>. Acesso em: 15/01/2007

EIFEL REFRIGERAÇÃO. **Câmaras Frigoríficas**. Disponível em: <http://www.eifernet.com.br/camaras/default.asp>. Acesso em: 13/01/2007

- FAE–FONTES ALTERNATIVAS DE ENERGIA. **Energia Solar**. Disponível em: <http://www.nea.ufma.br/fae.php>. Acesso em: 10/09/2006
- FEUP – UNIVERSIDADE DO PORTO. **Efeito Fotovoltaico**. Disponível em: http://paginas.fe.up.pt/~ee97234/efeito_fotovoltaico1.htm. Acesso em: 10/09/2006
- GEOCITIES. **Energia Solar**. Disponível em: <http://br.geocities.com/saladefisica5/leituras/solar.htm>. Acesso em: 20/10/2006
- IND. E COM. LTDA REFRESQUE. **Câmara Frigorífica**. Disponível em: <http://www.refresque.com.br>. Acesso em: 13/01/2007
- PROCOBRE. **Energia Solar**. Disponível em: http://www.procobre.org/pr/pdf/02_energia_solar_01_pr.pdf. Acesso em: 20/10/2006
- SOLETROL. **Efeito Fotovoltaico**. Disponível em: <http://www.soletrol.com.br/educacional/fotovoltaico.php>. Acesso em: 10/09/2006

Abstract. *The present article approaches a study it remains to the use of the photovoltaic solar energy in refrigerating chambers, specifically cold camera, tends your application in community of fishermen, supermarkets, local markets, restaurants and wholesales, with the objective of assisting to areas without electric power, as well as, the reduction of the consumption of these consumers' electric power. The choice of the cold camera was influenced by two reasons: The Camera of Cold possesses a potency installed smaller than the Frozen Camera doing with that it reduces the potency of the photovoltaic system, reducing the cost of the same and other factor was a research done with some consumers, such as supermarkets, markets and restaurants. To adapt the photovoltaic system was accomplished, firstly, a study to verify which the characteristics of the cold camera. The cold camera in subject is used for storage of green vegetables, vegetables, meats, fish or fruits. The camera works 20 hours a day presenting a consumption of electric power of 929,64 KWh a month. With the use of the photovoltaic solar energy the consumer will stop paying for this consumption that represents R\$5.582,52 a year for the consumer of low tension and R\$2.517,16 a year for the consumer of high tension..*

Key words: *Solar Energy, Photovoltaic System, Refrigerating Camera.*