



ISSN: 1984-3151

# ANÁLISE DE VIABILIDADE PARA A IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE ENERGIA SOLAR RESIDENCIAL

## FEASIBILITY ANALYSIS FOR THE IMPLEMENTATION OF RESIDENTIAL SOLAR ENERGY SYSTEM

Alexandre de Almeida Teixeira<sup>1</sup>; Matheus Costa Carvalho<sup>2</sup>;  
Leonardo Henrique de Melo Leite<sup>3</sup>

- 1 Engenheiro Eletricista. UniBH, 2011. Belo Horizonte, MG. Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais - [alexandrewell@oi.com.br](mailto:alexandrewell@oi.com.br).
- 2 Engenheiro Eletricista. UniBH, 2011. Belo Horizonte, MG. Centrais Elétricas de Minas Gerais - CEMIG. [teucosta@hotmail.com](mailto:teucosta@hotmail.com).
- 3 Doutorando em Engenharia Elétrica - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica - Universidade Federal de Minas Gerais. Fundação para Inovações Tecnológicas – FITec. Centro Universitário de Belo Horizonte, MG, Brasil. [leite@cpdee.ufmg.br](mailto:leite@cpdee.ufmg.br)

Recebido em: 30/11/2011 - Aprovado em: 20/12/2011 - Disponibilizado em: 30/12/2011

**RESUMO:** O estudo da viabilidade para implantação dos sistemas fotovoltaicos e termoconversão de energia solar é de extrema importância nos tempos atuais devido a necessidade de utilização de novas fontes de energia renováveis, pois as fontes de energias atuais são, em sua maioria, não renováveis contribuindo expressivamente para uma futura degradação ambiental. Devido a este exposto, ver-se-á necessidade de analisar por, meio de cálculos, as possibilidades técnicas e econômicas para implantação de um sistema de energia solar através da Termoconversão e da Fotoconversão em locais onde já possui a rede elétrica da concessionária para comparação dos dois sistemas em Belo Horizonte, em três tipos de cenários diferentes. Com isso a metodologia adotada consiste de pesquisa bibliográfica, de pesquisa documental sobre sistemas fotovoltaicos com utilização de baterias para armazenamento de energia e inversor e, também, sobre os sistemas de Termoconversão com reservatório térmico. Após análise dos cenários identificou-se que o cenário 3 – (sistema híbrido - Termoconversão, Fotoconversão e Concessionária) apresenta uma viabilidade de 62,6% em relação ao cenário 2 – (Termoconversão, Fotoconversão) e 135,96% em relação ao cenário 1 – (Fotoconversão).  
**Palavras chave:** Viabilidade de Implantação. Termoconversão. Fotoconversão.

**ABSTRACT:** The study of the feasibility of deployment of solar energy is extremely important nowadays because of the need for use of new renewable energy sources, because the current energy sources are mostly non-renewable contributing significantly to a further degradation the environment. Due to this exposure, see the need to analyze why, through calculations, technical feasibility and cost-effective deployment of a solar energy system through Termoconversão and photoconversion in places where it already has the power grid of the utility for comparison viability of the system in modern times in Belo Horizonte in three different types of scenarios. This methodology consists of a literature review, documentary research on photovoltaic systems use batteries for energy storage and drive and also on the Termoconversão systems with thermal storage tank. After analysis of the scenarios identified that scenario 3 - (Term híbrido - system conversion, and CTM photoconversion) presents a viability of 62.6% compared to scenario 2 - (Term conversion, photoconversion) and 135.96% over the Scenario 1 - (photoconversion).  
**Keywords:** Feasibility of Implementation. Termconversion. Photoconversion.

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo (RIBEIRO, 2008), o estudo da viabilidade de implantação da energia solar é de extrema importância nos tempos atuais devido a necessidade de utilização de novas fontes de energia renováveis, pois as fontes de energias atuais, são em sua maioria, não renováveis contribuindo expressivamente para uma futura degradação ambiental.

O presente trabalho visa analisar por meio de cálculos, as possibilidades técnicas e econômicas para implantação de um sistema de energia solar através da Termoconversão e da Fotoconversão em locais onde já possui a rede elétrica da concessionária, para comparação da viabilidade do sistema em Belo Horizonte em três tipos de cenários diferentes.

Desta forma há a necessidade de estudar os componentes básicos da termoconversão e fotoconversão para o dimensionamento dos mesmos nos cenários.

De acordo com (FRAIDENRAICH, 1995; QUEIRÓZ, 2005; E LION, 2007), a conversão da radiação solar direta em energia térmica, passa por dois estágios. No primeiro, a radiação solar é captada através de uma superfície de captação e refletida para o tubo absorvedor. No segundo, a radiação absorvida pelo tubo absorvedor é transferida ao fluido e ao ar atmosférico por convecção e por radiação.

O efeito fotovoltaico se dá através dos semicondutores. O semicondutor mais usado é o silício. Se as duas extremidades do de silício forem conectadas por um fio, haverá uma circulação de elétrons. Esta é a base do funcionamento das células fotovoltaicas. (CRESESB, 2006)

Essa tecnologia de geração se justifica pela preocupação com a demanda crescente de energia e

a falta de investimento em outras fontes renováveis de energia.

A motivação deste trabalho está na demonstração da viabilidade técnica e econômica de implantação de sistema solar em Belo Horizonte.

O plano de desenvolvimento consiste de pesquisa bibliográfica, pesquisa documental sobre sistemas fotovoltaicos com utilização de baterias para armazenamento de energia e inversor e também sobre os sistemas de Termoconversão com reservatório térmico e aplicação dos cálculos para o dimensionamento dos mesmos em cenários.

### 1.1. PROBLEMA DA PESQUISA

Como a energia solar pode interferir no consumo energético de uma residência?

### 1.2 OBJETIVOS

#### 1.2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar, por meio de cálculos, as possibilidades econômicas para implantação de um sistema de energia solar, através da Termoconversão e da Fotoconversão em locais onde já possui a rede elétrica da concessionária para comparação da viabilidade do sistema em Belo Horizonte em três tipos de cenários diferentes.

#### 1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Estudar os componentes básicos e o funcionamento de um sistema de termoconversão. (Boiler, Coletor solar térmico);

Estudar os componentes básicos e o funcionamento de um sistema de fotoconversão (Gerador Fotovoltaico, Bateria, Inversor de Frequência);

Dimensionar um sistema solar para uma residência de 4 pessoas baseado em três tipos de cenários diferentes.

Apresentar a viabilidade desta aplicação comparando os cenários com a energia da concessionária (CEMIG) em um período de 25 anos.

### 1.3 JUSTIFICATIVA

O trabalho se justifica pela preocupação com a demanda crescente de energia e a falta de investimento em outras fontes renováveis de energia.

Com isso, ver-se-á que nas áreas onde existe temperatura climática muito intensa pode-se utilizar a energia solar como a fonte principal a ser trabalhada, pois tem uma grande facilidade de montagem do sistema no próprio local de consumo.

Ver-se-á também, que já está na hora de ingressar na era das fontes alternativas de energia, devido a vários fatores, como por exemplo, dificuldades para construção de novas centrais hidroelétricas e termelétricas, o carvão mineral e outras fontes de energia suja, que causam degradação ambiental e não são renováveis.

Este tipo de tecnologia precisa ser mais empregada no Brasil, fazendo com que novas empresas do ramo se instalem aqui, gerando novas oportunidades de empregos e pesquisa científica para melhorar o processo da transformação e captação solar.

Com as pesquisas se obtém um aperfeiçoamento de todos os componentes do sistema, fazendo com que, futuramente, este tipo de energia possa ser

comparado com outras fontes de energias, como por exemplo, as hidroelétricas.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 APLICAÇÕES DA ENERGIA SOLAR

A energia solar é considerada uma fonte de energia inesgotável. Pode-se falar que é uma fonte de energia promissora. Indiretamente, o sol tem uma participação em quase todas outras fontes de energia. A evaporação, por exemplo, acontece por causa do sol, a origem das águas para os represamentos etc. A radiação solar também induz a circulação atmosférica em larga escala, causando os ventos. Petróleo, carvão e gás natural foram gerados a partir de resíduos de plantas e animais que, originalmente, necessitam da energia solar. Algumas formas de utilização da energia solar são apresentadas ao longo deste artigo (CRESESB, 2006).

O estudo da viabilidade de implantação de um sistema de energia solar é de extrema importância nos tempos atuais devido a necessidade de utilização de novas fontes de energia renováveis, pois as fontes de energias atuais são em sua maioria não renováveis, contribuindo expressivamente para uma futura degradação ambiental (RIBEIRO, 2008).

### 2.2 PANORAMA ATUAL DA ENERGIA SOLAR

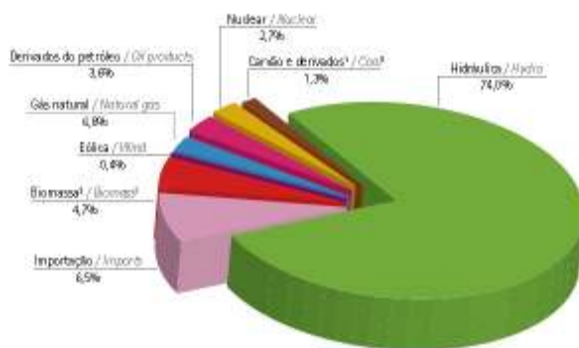
#### 2.2.1 ENERGIA ELÉTRICA DE ACORDO COM O BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL (BEN)

A geração de energia elétrica no Brasil em centrais de serviço público e autoprodutores atingiu 509,2 TWh em 2010, resultado 10,0% superior ao de 2009. Permanece como principal a contribuição de centrais de serviço público, com 87,5% da geração total. A

principal fonte é a energia hidráulica, que apresentou elevação de 3,7% em 2010. A geração a partir de combustíveis fósseis representou 9,8% do total das centrais de serviço público contra 8,9% em 2009. A geração de autoprodutores em 2010 apresentou expressivo crescimento de 18,4% com relação ao ano anterior, considerando o agregado de todas as fontes utilizadas.

Gráfico 1

## Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte



Fonte: Balanço Energético nacional (BEN-2010)

O Brasil apresenta uma matriz de geração elétrica de origem predominantemente renovável, sendo que a geração interna hidráulica responde por montante superior a 74,0% da oferta. Somando as importações, que essencialmente também são de origem renovável, pode-se afirmar que aproximadamente 86% da eletricidade no Brasil são originadas de fontes renováveis.

O setor residencial manteve a tendência de crescimento (6,6%), reflexo das políticas de inclusão social, além do aumento de renda per capita. Os demais setores – comercial, agropecuário, público e transportes – quando analisados em bloco apresentaram variação positiva de 4,4% em relação ao ano anterior.

Em 2010, com acréscimo de aproximadamente 7,1 GW, a capacidade instalada das centrais de geração de energia elétrica do Brasil alcançou 113.327 MW, na soma das centrais de serviço público e autoprodutoras. Deste total, as centrais hidráulicas representam 71,2%, ao passo que centrais térmicas respondem por 26,2% da capacidade total. As usinas nucleares participam com 1,8% sendo o restante (0,8%) de origem eólica.

## 2.3 TERMOCONVERSÃO

De acordo com (FRAIDENRAICH, 1995; QUEIRÓZ, 2005; E LION, 2007), a conversão da radiação solar direta em energia térmica, passa por dois estágios, como segue: no primeiro a radiação solar é captada através de uma superfície de captação e refletida para o tubo absorvedor. No segundo a radiação absorvida pelo tubo absorvedor é transferida ao fluido e ao ar atmosférico por convecção e por radiação. A Figura 1 mostra o esquema do processo de termoconversão da energia solar.

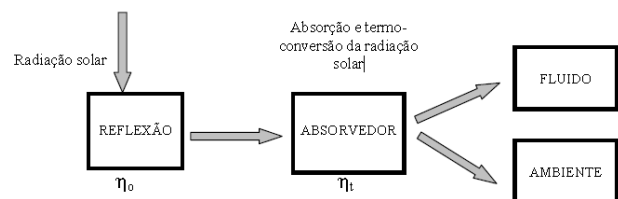


Figura 1. Esquema do processo de termoconversão da energia solar

Fonte: RIBEIRO, 2008

Segundo a (SOLETROL, 2011), o aquecedor solar é um equipamento utilizado para o aquecimento da água pelo calor do sol e seu armazenamento para uso posterior. É composto por coletores solares (placas), onde ocorre o aquecimento da água através dos raios solares e um reservatório térmico (boiler), onde é

armazenada a água Quente para ser utilizada posteriormente, ilustrada na Figura 2.



Figura 2 - Componentes do aquecedor solar.  
Fonte: Procobre, 2011.

### 2.3.1 COLETOR SOLAR

Quando os raios do sol atravessam o vidro da tampa do coletor solar, conforme ilustrado na Figura 3, esquentam as aletas que são feitas de cobre ou alumínio e pintadas com uma tinta especial e escura que ajuda na absorção máxima da radiação solar. O calor passa então das aletas para os tubos (serpentina) que geralmente são de cobre. Daí, a água que está dentro da serpentina esquenta e vai direto para o reservatório do aquecedor solar.

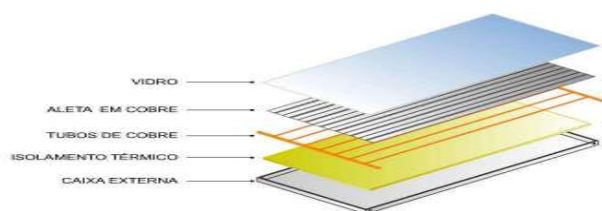


Figura 03 - Estrutura de um coletor solar fechado.  
Fonte: SOLETROL, 2011.

### 2.3.2 RESERVATÓRIO (BOILER)

O reservatório térmico, Figura 4, é como uma caixa d'água especial que cuida de manter quente a água armazenada no aquecedor solar. Esses cilindros são

feitos de cobre, inox ou polipropileno e depois recebem um isolante térmico.

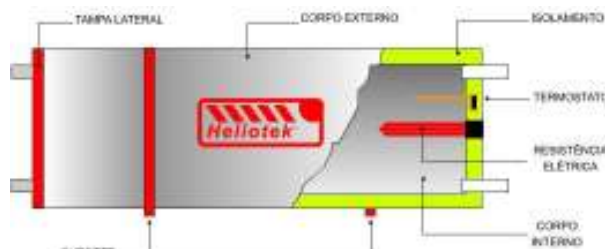


Figura 4 - Reservatório térmico.  
Fonte: HELIOTEK, 2011.

### 2.3.3 INSTALAÇÃO DOS COLETORES

Para que os coletores tenham um ótimo aproveitamento da luz solar, é recomendado o seu posicionamento ao norte geográfico, onde tem uma melhor captação da irradiação solar durante o dia.

A inclinação das placas é calculada em função da latitude do local. Quanto mais longe da linha do Equador, maior será a inclinação necessária. A Tabela 1 mostra a latitude de algumas cidades Brasileiras.

Quando a inclinação for menor que  $20^\circ$  é recomendada a instalação de um suporte, pois a inclinação mínima é de  $20^\circ$  para garantir o fluxo adequado de água.

A caixa de água fria alimenta o reservatório térmico do aquecedor solar, mantendo-o sempre cheio. Em sistemas convencionais, a água circula entre os coletores e o reservatório térmico através de um sistema natural chamado termossifão, conforme ilustrado na Figura 5. Nesse sistema, a água dos coletores fica mais quente e, portanto, menos densa que a água no reservatório. Isto ocorre até que a água existente no sistema solar de aquecimento (coletor e reservatório termicamente isolado) atinja o equilíbrio térmico, (BEZERRA, 2001), assim a água fria empurra

a água quente gerando a circulação. Esses sistemas são chamados de circulação natural ou termossifão.

Tabela 1

Latitudes de algumas cidades brasileiras e a inclinação dos coletores

Cidade	Latitude (grau)	Inclinação (grau)
São Paulo	24	34
Porto Alegre	30	40
Curitiba	25	35
Florianópolis	28	38
Rio de Janeiro	23	33
Campo Grande	20	30
Belo Horizonte	20	30
Salvador	13	23
Fortaleza*	4	14
Brasília	16	16
Manaus*	2	12
Cuiabá	16	26
Natal*	6	16
Recife*	8	18

Fonte: SOLETROL, 2007.

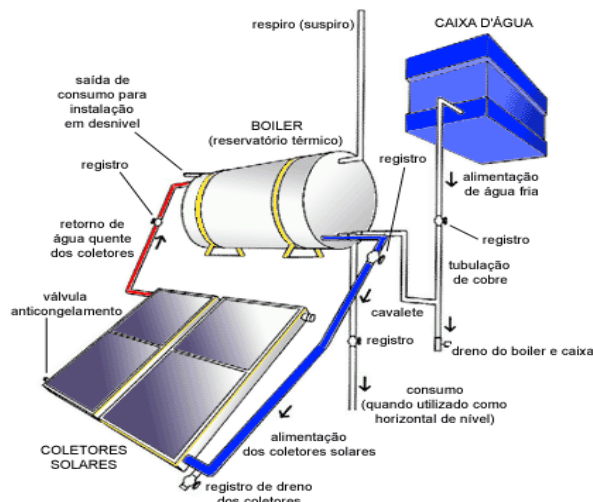


Figura 5 - Sistema de aquecimento solar convencional por termossifão.

Fonte: SOLETROL, 2011.

## 2.4 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Em 1839 Edmond Becquerel constatou uma diferença de potencial no extremo de uma estrutura semicondutora exposta à luz. Em 1876 foi montado o primeiro aparato fotovoltaico e em 1956 iniciou a produção inicial. (CRESESB, 2006).

Esta aplicação, que teve início nos programas espaciais, teve um grande avanço na tecnologia, melhorando a eficiência das células e seu peso.

Devido à crise de energia em 1973/74 houve uma preocupação de estudar novas tecnologias viabilizando também as células fotovoltaicas no meio terrestre para suprir o fornecimento de energia. Como as células fotovoltaicas tinham um custo muito elevado impossibilitava a sua aplicação em larga escala. Devido à ampliação dos mercados e várias empresas voltadas para a produção de células fotovoltaicas, o preço tem reduzido ao longo dos anos podendo ser encontrada hoje, para grandes escalas. As facilidades de um sistema fotovoltaico tais como: baixos custos de manutenção e vida útil longa fazem com que sejam de grande importância para instalações em lugares desprovidos da rede elétrica. (CRESESB, 2006).

### 2.4.1 EFEITO FOTOVOLTAICO

O efeito fotovoltaico se dá através dos semicondutores. O semicondutor mais usado é o silício. Seus átomos se caracterizam por possuírem quatro elétrons que se ligam aos vizinhos, formando uma rede cristalina. Ao adicionarem-se átomos com cinco elétrons de ligação, como o fósforo, por exemplo, haverá um elétron em excesso que não poderá ser emparelhado e que ficará "sobrando", fracamente ligado a seu átomo de origem. Isto faz



com que este elétron se livre, indo para a banda de condução (CRESESB, 2006).

Se uma junção pn for exposta a fótons, ocorrerá a geração de pares elétron-lacuna. Na região onde o campo elétrico é diferente de zero, as cargas serão aceleradas, gerando assim, uma corrente através da junção; este deslocamento de cargas dá origem a uma diferença de potencial ao qual chamamos de Efeito Fotovoltaico (Figura 6). Se as duas extremidades de silício forem conectadas por um fio, haverá uma circulação de elétrons. Esta é a base do funcionamento das células fotovoltaicas. (CRESESB, 2006)

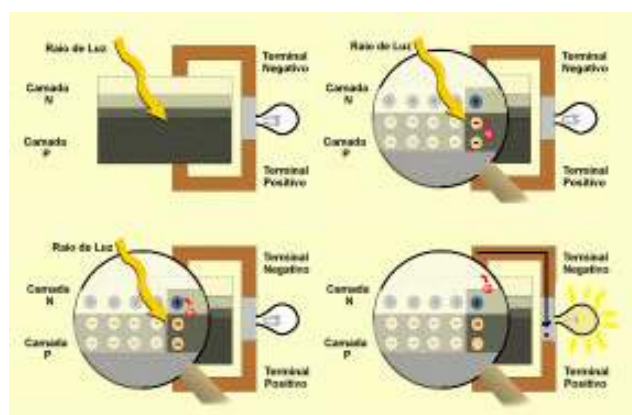


Figura 6 – Efeito fotovoltaico na junção pn  
Fonte: CRESESB, 2006

## 2.4.2 TIPOS DE CÉLULAS

### 2.4.2.1 SILÍCIO MONOCRISTALINO

A célula de silício monocristalino (Figura 7) é a mais utilizada e comercializada como conversor da energia solar em eletricidade. Para este silício funcionar como célula fotovoltaica necessita de um grau de pureza de 99,9999%. Dentre as células fotovoltaicas as monocristalinas apresentam maior eficiência que pode variar de 15% a 18% (CRESESB, 2006).

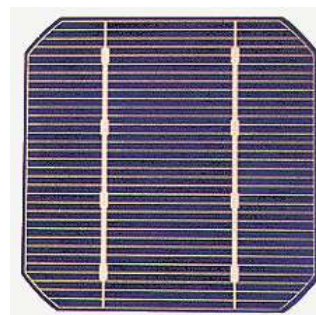


Figura 7 – Célula de silício monocristalino  
Fonte: CRESESB, 2006

### 2.4.2.2 SILÍCIO POLICRISTALINO

As células de silício (Figura 8) exigem um processo de preparação menos rigoroso. A eficiência, no entanto, cai um pouco em comparação as células de silício monocristalino. O processo de fabricação tem alcançado eficiência máxima de 12,5% em escalas industriais. (CRESESB, 2006).

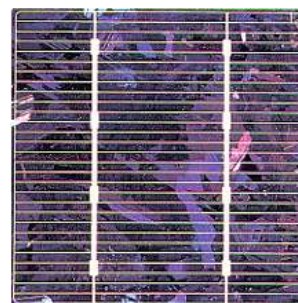


Figura 8 – Célula de silício policristalino  
Fonte: CRESESB

### 2.4.3. MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Pela baixa tensão e corrente de saída em uma célula fotovoltaica, agrupam-se várias células formando um módulo. Os arranjos das células nos módulos podem ser feitos conectando-as em série ou em paralelo.

Ao conectar as células em paralelo, somam-se as correntes de cada módulo e a tensão do módulo é exatamente a tensão da célula conforme a Figura 9, (CRESESB, 2006).

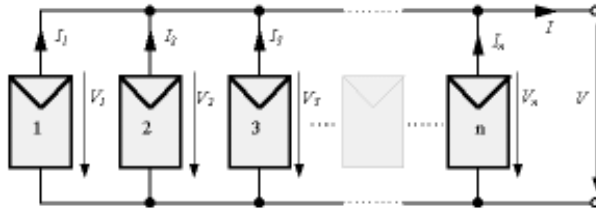


Figura 9 – Conexão de células em paralelo  
Fonte: CRESESB, 2006

A conexão mais comum de células fotovoltaicas em módulos é o arranjo em série. Este consiste em agrupar o maior número de células em série onde se soma a tensão de cada célula chegando a um valor final de 12 V o que possibilita a carga de acumuladores (baterias) que também funcionam na faixa dos 12 V, como mostra a Figura 10, (CRESESB, 2006).

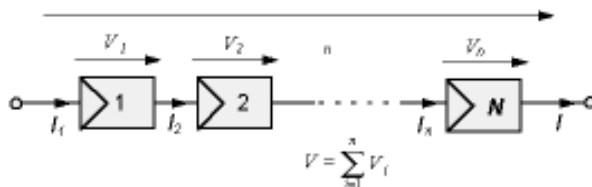


Figura 10 – Conexão de células em série  
Fonte: CRESESB, 2006.

### 2.4.3.1 CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Existem características elétricas que melhor caracterizam o funcionamento do módulo. As principais características elétricas dos módulos fotovoltaicos são:

- Tensão de Circuito Aberto ( $V_{oc}$ );
- Corrente de Curto Circuito ( $I_{sc}$ );
- Potência Máxima ( $P_m$ );
- Tensão de Potência Máxima ( $V_{mp}$ );
- Corrente de Potência Máxima ( $I_{mp}$ );

A condição padrão para se obter as curvas características dos módulos é definida para radiação de  $1000\text{W}/\text{m}^2$  (radiação recebida na superfície da Terra em dia claro, ao meio dia), e temperatura de  $25^\circ\text{C}$  na célula (a eficiência da célula é reduzida com o aumento da temperatura). (CRESESB, 2000).

Para cada ponto na curva  $I \times V$ , o produto corrente-tensão representa a potência gerada para aquela condição de operação. A Figura 11 mostra que, para uma célula fotovoltaica, e consequentemente, para o módulo, existe somente uma tensão e uma corrente, para a qual a potência máxima pode ser extraída. O ponto de potência máxima corresponde, então, ao produto da tensão de potência máxima ( $V_{mp}$ ) e corrente de potência máxima ( $I_{mp}$ ).

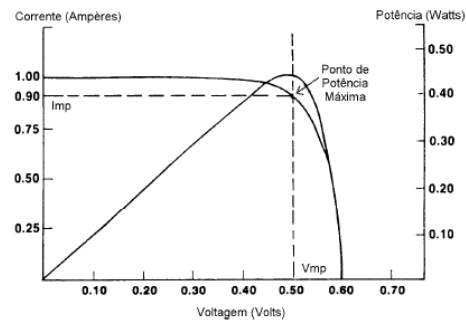


Figura 11– Parâmetros de potência máxima  
Fonte: CRESESB, 2006.

### 2.4.4 SISTEMAS ISOLADOS

Os sistemas isolados necessitam de armazenamento de energia em baterias. O controlador de carga é usado em sistemas pequenos onde os aparelhos utilizados são de baixa tensão e corrente contínua (CC). Para alimentação de equipamentos de corrente alternada (CA) é necessário um inversor, conforme a Figura 12. Este dispositivo geralmente incorpora um seguidor de ponto de máxima potência necessário para otimização da potência final produzida. Este sistema é usado quando se deseja mais conforto na



utilização de eletrodomésticos convencionais. (CRESESB, 2006)

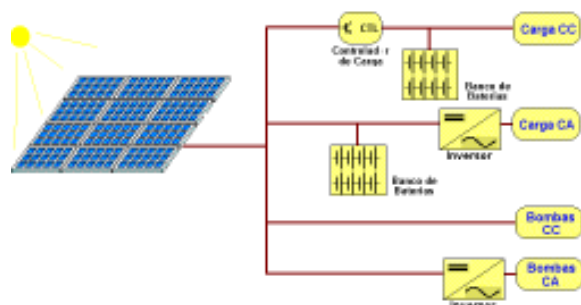


Figura 12 – Diagrama de sistemas fotovoltaico em função da carga utilizada  
Fonte: CRESESB, 2006

#### 2.4.4.1 SISTEMAS HÍBRIDOS

Sistemas híbridos são aqueles que apresentam várias fontes de geração de energia como pode ser observado na Figura 13 (CRESESB, 2006).



Figura 13 – Exemplo de um sistema híbrido  
Fonte: CRESESB, 2006,

#### 2.4.4.2 SISTEMAS INTERLIGADOS À REDE

Estes sistemas utilizam grandes números de painéis fotovoltaicos, e não utilizam armazenamento de energia, pois toda a geração é entregue diretamente na rede. Representam uma fonte complementar ao sistema elétrico de grande porte ao qual está

conectado. Todo o arranjo é conectado em inversores e logo em seguida guiado diretamente na rede (Figura 14). Estes inversores devem satisfazer as exigências de qualidade e segurança para que a rede não seja afetada. (CRESESB, 2006).

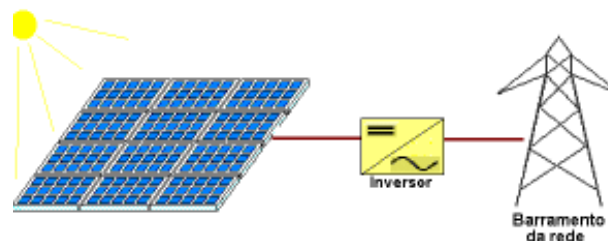


Figura 14 – Sistema conectado a rede  
Fonte: CRESESB, 2006.

### 3 METODOLOGIA

A metodologia adotada para a elaboração do presente trabalho consiste de pesquisa bibliográfica, de pesquisa documental sobre sistemas fotovoltaicos com utilização de baterias para armazenamento de energia e inversor e também sobre os sistemas de termoconversão com reservatório térmico. Objetiva-se demonstrar a análise técnica e econômica da aplicação da energia solar em diversos cenários e mostrar a viabilidade de sua aplicação em três tipos de cenários diferentes.

## 4. ANÁLISE TÉCNICO ECONÔMICA DE IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE ENERGIA SOLAR RESIDENCIAL

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DA PLANTA

Para calcular o dimensionamento do sistema solar, adotou-se uma residência típica para quatro pessoas, de acordo com a necessidade dos moradores.

Deve-se lembrar que cada projeto é analisado separadamente observando o consumo do mesmo. Neste será simulado a aplicação da energia solar através da termoconversão e da fotoconversão em três tipos de cenários diferentes para depois simular qual deles se apresenta técnica e economicamente mais viável.

A residência utilizada é composta de nove cômodos nos quais são distribuídas algumas cargas elétricas. A Tabela 2 mostra a quantidade de aparelhos elétricos que esta residência utiliza e a potência dos mesmos, a potência utilizada por dia e a potência mensal consumida.

Tabela 2

Levantamento de carga de uma residência.

Aparelho	Tensão	Potência	Wh/dia	KWh/mês
Chuveiros	120	11.000	3.300	99
Lâmpadas	120	275	1.375	41,25
Televisão	120	400	1.600	48
Demais aparelhos da residência	120	6480	3.961,5	118,845
Total		18.155	10.236,5	307.095

Existem regiões que, de acordo com a irradiação solar, pode-se obter um melhor rendimento. Para análise e implantação dos cenários, será considerada a radiação da cidade de Belo Horizonte, como mostra a Tabela 3.

Tabela 3

Radiação diária média em Belo Horizonte

Município: Belo Horizonte - MG		Radiação diária média mensal (Kwh/m².dia)													
Ângulo	Inclinação	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
Plano Horizontal	0° N	4,28	5,56	4,06	4,28	3,69	3,72	3,97	4,36	4,69	4,44	4,81	4,33	4,35	1,87
Ângulo igual à latitude	20° N	3,96	5,31	4,11	4,71	4,36	4,62	4,86	4,98	4,92	4,33	4,46	3,96	4,55	1,36
Maior média anual	21° N	3,93	5,29	4,10	4,72	4,38	4,66	4,90	5,00	4,92	4,31	4,44	3,93	4,55	1,36
Maior mínimo mensal	12° N	4,12	5,47	4,13	4,59	4,14	4,31	4,56	4,78	4,88	4,42	4,64	4,14	4,51	1,35

Fonte: CRESESB, 2011.

Para determinar o dimensionamento correto dos equipamentos, foi utilizado o método que a Universidade Federal de Lavras utiliza em seus cursos de pós-graduação para a geração fotovoltaica (BITTENCOURT, 2011).

Seguem abaixo as fórmulas para o dimensionamento adequado de todos os componentes que serão utilizados para a conversão fotovoltaica nos três cenários diferentes, utilizando como referência os dados da Tabela 02.

Para o dimensionamento dos painéis fotovoltaicos será utilizado a expressão abaixo:

Potência mínima do gerador ( $W_p$ ) =

$$\frac{\text{Consumo Total (Wh./dia)}}{\text{Horas Equivalente de sol pleno} \times F_{pp} \times F_{ps}} \quad (1)$$

Onde:

**Potência mínima do gerador ( $W_p$ ):** Potência mínima total do conjunto de módulos necessária para produzir a energia solicitada pela carga;

**Consumo total (Wh/dia):** Retirar da Tabela 02 o consumo Wh/dia correspondente a cada cenário.

**Horas Equivalente de sol Pleno (Horas/dia):** Depende da latitude e nível de nebulosidade do local.

Considerar o nível médio do mês mais crítico no plano escolhido para instalar os módulos. O módulo deve ter uma inclinação que privilegie o pior mês. Considerar entre 3,5 e 5 horas/dia de sol pleno para o pior mês de acordo com a localização escolhida. Esse dado poderá ser pesquisado através do site [www.cresesb.cepel.br](http://www.cresesb.cepel.br) (CRESESB, 2011).

**Fpp – Fator de perda de potência: 12V/Vmp = 0,68;** deve-se ao fato da tensão da bateria (12V) ser inferior a tensão de máxima potência do módulo a ser utilizado (Vmp=+/- 17V para nos módulos Kyocera 135 Wp em sistemas de 12V.). Essas perdas podem ser reduzidas através do uso de um controlador de carga com seguidor de máxima potência.

**Fps – Fator de perdas e segurança:** Para levar em conta a redução da geração do módulo devido a tolerância na fabricação, temperatura de trabalho, poeira, degradação, sombras, desalinhamentos e também as perdas elétricas na bateria, no controlador, na instalação além de incertezas sobre os dados utilizados e o consumo previsto. Valor típico: 0,8.

Para o dimensionamento correto de quantidade de bateria deve-se aplicar as duas equações a seguir. (será utilizado o maior valor entre as duas fórmulas).

$$\text{Capacidade (Ah)} = \frac{\text{Consumo Total (Wh/dia)} \times \text{Autonomia (dias)}}{\text{Tensão do banco de baterias(V)} \times \text{Profundidade da descarga no final da autonomia (pu)}} \quad (2)$$

**Consumo total (Wh/dia):** Retirar da Tabela 02 o consumo Wh/dia correspondente a cada cenário.

**Autonomia (dias):** Prevê um período sem insolação de 3 a 5 dias, de acordo com o clima local e a confiabilidade desejada. Normalmente em residência trabalha-se com 3 dias, em sistemas de telecomunicações 5 dias.

**Tensão do Banco de Baterias(V):** 12V (em sistemas muito grandes recomenda-se o uso de 24V ou 48V).

**Profundidade da descarga no final da autonomia (pu):** 0,6 (descargas mais profundas significam vida útil menor para as baterias, e menos profundas um investimento inicial maior). Quando usar baterias automotivas em vez de estacionárias (recomendadas) considerar 0,5.

$$\text{Capacidade (Ah)} = \frac{\text{Consumo Total (Wh/dia)}}{\text{Tensão do banco de baterias(V)} \times \text{Profundidade da descarga no final de cada noite (pu/dia)}} \quad (3)$$

**Consumo total (Wh/dia):** Retirar da Tabela 02 o consumo Wh/dia correspondente a cada cenário.

**Tensão do Banco de Baterias(V):** 12V (em sistemas muito grandes recomenda-se o uso de 24V ou 48V).

**Profundidade da descarga no final de cada noite (pu/dia):** No máximo 0,20. Valores menores aumentam a vida útil da bateria: 0,15 (vida útil de 5 anos) a 0,20 (vida útil 4 anos). Com baterias automotivas usar valores menores.

Como a residência não possui carga de CC não será aplicado o controlador de carga em nenhum dos casos.

Para o dimensionamento do inversor, deve-se verificar a potência total das cargas de corrente alternada CA e selecionar um inversor com capacidade mínima de 10% acima. A tensão de entrada deve ser igual a tensão das baterias e a de saída igual à tensão das cargas de corrente alternada.

O tamanho do aquecedor, dado pela área da placa coletora e pelo volume do reservatório térmico é, basicamente, uma função da insolação média local, do número de usuários, da temperatura requerida para a água, da quantidade de água consumida por banho e do número de banhos que cada usuário toma por dia.

A Norma Técnica Brasileira, (NBR - 128/ABNT,1963), que rege a instalação de água quente no Brasil, fornece as seguintes especificações para o

aquecimento de água residencial: temperaturas usuais para uso pessoal em banhos ou higiene: 35° a 50°C; cozinhas (dissolução de gorduras) 60° a 70°C. Consumo diário de água a uma temperatura média de 60°C: casa popular ou rural, 36 litros por pessoa; residencial, 45 litros por pessoa; apartamento, 60 litros por pessoa. Confirmando essa Norma, diversos autores adotam o consumo médio diário entre 30 e 50 litros por pessoa, a uma temperatura entre 50° e 60°C. Para o cálculo dos coletores, utiliza-se a seguinte fórmula:

$S = Q / (I \times n)$ , onde:

S = área dos coletores solares;

Q = Quantidade de energia necessária para elevar a temperatura de uma determinada quantidade de água em x °C;

I = Intensidade da radiação solar

n = Rendimento do coletor, fornecido pelo fabricante.

Considera-se o rendimento dos coletores solares de 60%.

## 4.2 ANÁLISE DE CENÁRIO

### 4.2.1 CENÁRIO 1 – SISTEMA AUTÔNOMO

Neste sistema considera-se que a residência é alimentada pelo sistema solar fotovoltaico no qual o dimensionamento dos equipamentos é feito com o consumo total diário da residência.

#### 4.2.1.1. DIMENSIONAMENTO DO BANCO DE BATERIAS

Para calcular a capacidade do banco de baterias em Ah utilizam-se duas expressões ao qual é considerado o resultado maior entre elas.

$$\text{Capacidade (Ah)} = \frac{\text{Consumo Total (Wh./dia)} \times \text{Autonomia (dias)}}{\text{Tensão do banco de baterias(V)} \times \text{Profundidade da descarga no final da autonomia (pu)}} \quad (2)$$

$$\text{Capacidade (Ah)} = \frac{10.236,5 \times 3}{12 \times 0,6}$$

$$\text{Capacidade (Ah)} = 4.265,208$$

$$\text{Capacidade (Ah)} = \frac{\text{Consumo Total (Wh./dia)}}{\text{Tensão do banco de baterias(V)} \times \text{Profundidade da descarga no final de cada noite (pu/dia)}} \quad (3)$$

$$\text{Capacidade (Ah)} = \frac{10.236,5}{12 \times 0,15}$$

$$\text{Capacidade (Ah)} = 5.686,94$$

O pior resultado é visto na fórmula 3. Para um menor número de baterias será utilizado o modelo DF4001 com capacidade de 240 (Ah) em 100 horas da FREEDOM.

Com isso:

$$\text{Número de baterias} = \frac{5.686,94}{240}$$

$$\text{Número de baterias} = 23,69$$

$$\text{Número de baterias} = 24$$

#### 4.2.1.2. DIMENSIONAMENTO DO GERADOR FOTOVOLTAICO.

Potência mínima do gerador (Wp) =

$$\frac{\text{Consumo Total (Wh./dia)}}{\text{Horas Equivalente de sol pleno} \times \text{Fpp} \times \text{Fps}} \quad (1)$$

$$\text{Potência mínima do gerador (Wp)} = \frac{10.236,5}{4,12 \times 0,68 \times 0,8}$$

$$\text{Potência mínima do gerador (Wp)} = 4.567,256 \text{ Wp}$$

Para o dimensionamento dos módulos fotovoltaicos será utilizado o modelo KD135SX – UPU com capacidade de gerar 135Wp da KYOCERA.

Numero de Módulos =

$$\frac{\text{Potência mínima do gerador}}{\text{Potência do modulo a ser utilizado}} \quad (4)$$

$$\text{Número de Módulos} = \frac{4.567,256 \text{ Wp}}{135 \text{ Wp}}$$

$$\text{Número de Módulos} \cong 34 \text{ módulos}$$

#### 4.2.1.4 DIMENSIONAMENTO DO INVERSOR.

Neste cenário a potência total das cargas de corrente alternada é dada através da Tabela 02 que corresponde a 18.155 watts.

$$\text{Potência total das cargas} = \text{Potência total da casa}$$

$$\text{Potência total das cargas} = 18.155$$

Acrescendo 10% em cima do valor total obtém o valor mínimo do inversor a ser utilizado que é de 19.970,5 watts.

#### 4.2.1.5 VALOR PAGO PELA ENERGIA DURANTE 25 ANOS.

O tempo de 25 anos se deve ao tempo de funcionamento dos módulos fotovoltaicos. Durante este período se tem a necessidade de substituir os outros componentes do sistema ao qual condiz com 3 vezes o Inversor e 5 vezes o banco de baterias. A Tabela 4 mostra o custo inicial para implantação de um sistema fotovoltaico gerando 4.567,256 Wpico e na Tabela 5 o custo para manter este sistema durante 25 anos.

Tabela 4

Custo de instalação de um sistema fotovoltaico de 4.567,256 Wpico.

Item	Preço unitário [R\$]	Valor total [R\$]
34 painéis fotovoltaicos 17,7V_7,63A_135WPICO	1.199,00	40.766,00
1 Inversor 12Vcc 20000W	25.000,00	25.000,00
24 Baterias 240Ah	929,00	22.296,00
<b>Valor total: R\$ 88.062,00</b>		

Tabela 5

Custo do sistema fotovoltaico de 4.567,256 Wpico durante 25 anos

Item	Custo
1x painéis	40.766,00
3 x inversores	75.000,00
5 x baterias	111.480,00
<b>Total: R\$ 227.246,00</b>	

#### 4.2.2 CENÁRIO 2 – SISTEMA HÍBRIDO FOTOCONVERSÃO E TERMOCONVERSÃO

Para este cenário a potência não será a mesma, pois neste também serão utilizados coletores solares para aquecimento de água para utilização dos chuveiros, assim não sendo preciso dimensionar o sistema solar fotovoltaico para a potência dos chuveiros. Com isso o consumo total da residência será de 6.936,5 Wh/dia.

#### 4.2.2.1 DIMENSIONAMENTO DO BANCO DE BATERIAS

Para calcular a capacidade do banco de baterias utiliza-se a metodologia do cenário 1.

$$\text{Capacidade (Ah)} = \frac{6.936,5 \times 3}{12 \times 0,6}$$

$$\text{Capacidade (Ah)} = 2.390,208 \quad (2)$$

$$\text{Capacidade (Ah)} = \frac{6.936,5}{12 \times 0,15}$$

$$\text{Capacidade (Ah)} = 3.853,61 \quad (3)$$

Com isso:

$$\text{Número de baterias} = \frac{3.853,61}{240}$$

$$\text{Número de baterias} = 16,05$$

$$\text{Número de baterias} = 17$$

#### 4.2.2.2 DIMENSIONAMENTO DO GERADOR FOTOVOLTAICO.

$$\text{Potência mínima do gerador (Wp)} = \frac{6.936,5}{4,12 \times 0,60 \times 0,0}$$

$$\text{Potência mínima do gerador (Wp)} = 3.094,88 \text{ Wp} \quad (1)$$

$$\text{Número de Módulos} = \frac{3.094,88 \text{ Wp}}{135 \text{ Wp}}$$

$$\text{Número de Módulos} \cong 23 \text{ módulos} \quad (4)$$

#### 4.2.2.4 DIMENSIONAMENTO DO INVERSOR

Neste cenário a potência total das cargas de corrente alternada é dada através da subtração da potência total da residência menos a potência dos chuveiros que será alimentado por coletores solares como mostrado nos cálculos abaixo.

Potência total das cargas =

Potência total da residência - Potência dos chuveiros

Potência total das cargas = 18.155 - 11.000

Potência total das cargas = 7.155 Watts

Acrescendo 10% em cima do valor total obtém o valor mínimo do inversor a ser utilizado que é de 7.870,5 watts.

#### 4.2.2.5. VALOR PAGO PELA ENERGIA DURANTE 25 ANOS.

O tempo de 25 anos se deve ao tempo de funcionamento dos módulos fotovoltaicos. Durante este período se tem a necessidade de substituir os outros componentes do sistema ao qual condiz com 3 vezes o Inversor e 5 vezes o banco de baterias. Na Tabela 6 mostra o custo inicial para implantação de um sistema fotovoltaico gerando 3.094,88 Wp e na Tabela 7 o custo para manter este sistema durante 25 anos.

Tabela 6

Custo de instalação de um sistema fotovoltaico de 3.094,88 Wpico.

Item	Preço unitário [R\$]	Valor total [R\$]
23 painéis fotovoltaicos 17,7V_7,63A_135WPICO	1.199,00	27.577,00
1 Inversor 12Vcc 10000W	5.299,00	5.299,00
17 Baterias 240Ah	929,00	15.793,00
<b>Valor total: R\$ 48.669,00</b>		

Tabela 7

Custo do sistema fotovoltaico de 3.094,88 Wpico durante 25 anos.

Item	Custo
1x painéis	27.577,00
3 x inversores	15.897,00
5 x baterias	78.965,00
<b>Total: R\$ 122.439,00</b>	

Para o dimensionamento dos coletores considerou-se a temperatura ambiente de 24 °C. Para chegar a temperatura esperada de 50 °C deve-se elevar 26 °C a temperatura da água.

Considerando a vazão de 7 litros/minuto para cada chuveiro e com um tempo médio de 8 minutos cada banho, tem-se uma vazão de 56 litros. Como na residência tem quatro pessoas:

Vazão = 4 Pessoas x 56 litros

Vazão = 224 litros.

Para uma melhor confiabilidade e um melhor armazenamento será considerada uma vazão de 250 litros/dia.

Considerando o tempo médio de funcionamento dos coletores solares de 4,51 horas (da Tabela 03), e uma insolação média de 0,95 cal/cm<sup>2</sup>.min.

O volume total de água de 250 litros por um período de 4,51 horas por dia corresponde a 55,44 litros/hora, ou seja, 55,44 Kg/hora. Portanto:

$$Q = 55,44 \text{ Kg/h} \times 1 \text{ kcal/Kg.}^\circ\text{C} \times 26^\circ\text{C} = 1.441,44$$

$$I = 0,95 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min} = 57,0 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{h} = 0,057 \text{ Kcal/cm}^2 \cdot \text{h}.$$

A área dos coletores solares será:

$$S = Q / (I \times n),$$

$$S = 1.441,44 / (0,057 \times 0,60) = 42.147,37 \text{ cm}^2$$

$$S = 4,22 \text{ m}^2$$

Portanto, para o aquecimento de 250 litros de água diariamente a uma temperatura para banho em torno de 50°C, tem-se uma área total de 4,22 m<sup>2</sup> de coletores solares.

O dimensionamento do boiler é feito através do volume total de água que pretende aquecer, portanto, o boiler terá uma capacidade de armazenamento de 250 litros.

Um sistema térmico para aquecer 250 litros de água e armazenar custa R\$ 4.045,80.

#### 4.2.3 CENÁRIO 3 – SISTEMA HÍBRIDO FOTOCONVERSÃO, TERMOCONVERSÃO E CONCESSIONÁRIA.

Neste cenário o consumo total que os painéis fotovoltaicos irão alimentar será de 2.975 Wh/dia, pois ele só alimentará as lâmpadas e as televisões da residência. Os coletores solares irão alimentar 3300 Wh/dia devido aos chuveiros e 3.961,5 Wh/dia serão alimentados pela concessionária (CEMIG).

##### 4.2.3.1 DIMENSIONAMENTO DO BANCO DE BATERIAS

Para os dimensionamentos será utilizada a metodologia dos cenários anteriores.

$$\text{Capacidade (Ah)} = \frac{2.975 \times 3}{12 \times 0,6}$$

$$\text{Capacidade (Ah)} = 1.239,58 \quad (2)$$

$$\text{Capacidade (Ah)} = \frac{2.975}{12 \times 0,15}$$

$$\text{Capacidade (Ah)} = 1.652,77 \quad (3)$$



Com isso:

$$\text{Número de baterias} = \frac{1.652,77}{240}$$

$$\text{Número de baterias} = 6,88$$

$$\text{Número de baterias} = 7$$

#### 4.2.3.2 DIMENSIONAMENTO DO GERADOR FOTOVOLTAICO

$$\text{Potência mínima do gerador (Wp)} = \frac{2.975}{4,12 \times 0,68 \times 0,8}$$

$$\text{Potência mínima do gerador (Wp)} = 1.327,36 \text{ Wp} \quad (1)$$

$$\text{Número de Módulos} = \frac{1.327,36 \text{ Wp}}{135 \text{ Wp}}$$

$$\text{Número de Módulos} \cong 10 \text{ módulos} \quad (4)$$

#### 4.2.3.4 DIMENSIONAMENTO DO INVERSOR

Neste cenário a potência total das cargas de corrente alternada é dada através da soma da potência total da iluminação da residência e das televisões mostrado nos cálculos abaixo.

$$\text{Potência total das cargas} =$$

$$\text{Potência total da Iluminação} + \text{Potência das Televisões}$$

$$\text{Potência total das cargas} = 230 + 45 + 400$$

$$\text{Potência total das cargas} = 675 \text{ Watts}$$

Acrescendo 10% em cima do valor total obtém-se o valor mínimo do inversor a ser utilizado que é de 742,5 watts.

#### 4.2.3.5. VALOR PAGO PELA ENERGIA DURANTE 25 ANOS

Para chegar aos valores das tabelas seguintes, foi adotada a mesma metodologia utilizada nos cenários passados. A Tabela 8 mostra o custo inicial para implantação de um sistema fotovoltaico gerando 3.094,88 Wp e na Tabela 9 o custo para manter este sistema durante 25 anos.

Tabela 8

Custo de instalação de um sistema fotovoltaico de **1.327,36 Wp**ico.

Item	Preço unitário [R\$]	Valor total [R\$]
10 painéis fotovoltaicos 17,7V_7,63A_135WPICO	1.199,00	11.990,00
1 Inversor 12Vcc 5000W	359,00	359,00
7 Baterias 240Ah	929,00	6.503,00
<b>Valor total: R\$ 18.852,00</b>		

Tabela 9

Custo do sistema fotovoltaico de **1.327,36 Wp**ico durante 25 anos.

Item	Custo
1x painéis	11.990,00
3 x inversores	1.077,00
5 x baterias	32.515,00
<b>Total: R\$ 45.582,00</b>	

Para o dimensionamento dos coletores considerou-se a temperatura ambiente de 24 °C. Para chegar a

temperatura esperada de 50 °C deve-se elevar 26 °C a temperatura da água.

Considerando a vazão de 7 litros/minuto para cada chuveiro e com um tempo médio de 8 minutos cada banho, tem-se uma vazão de 56 litros. Como na residência tem quatro pessoas:

Vazão = 4 Pessoas x 56 litros

Vazão = 224 litros.

Para uma melhor confiabilidade e um melhor armazenamento será considerada uma vazão de 250 litros/dia.

Considerando o tempo médio de funcionamento dos coletores solares de 4,51 horas (da Tabela 03), e uma insolação média de 0,95 cal/cm<sup>2</sup>.min.

O volume total de água de 250 litros por um período de 4,51 horas por dia corresponde a 55,44 litros/hora, ou seja, 55,44 Kg/hora. Portanto:

$Q = 55,44 \text{ Kg/h} \times 1 \text{ kcal/Kg.}^\circ\text{C} \times 26^\circ\text{C} = 1.441,44$

$I = 0,95 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min} = 57,0 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{h} = 0,057 \text{ Kcal/cm}^2 \cdot \text{h}$ .

A área dos coletores solares será:

$S = Q / (I \times n)$ ,

$S = 1.441,44 / (0,057 \times 0,60) = 42.147,37 \text{ cm}^2$

$S = 4,22 \text{ m}^2$

Portanto, para o aquecimento de 250 litros de água diariamente a uma temperatura para banho em torno de 50°C tem-se uma área total de 4,22 m<sup>2</sup> de coletores solares.

O dimensionamento do boiler é feito através do volume total de água que pretende aquecer, portanto, o boiler terá uma capacidade de armazenamento de 250 litros.

Um sistema térmico para aquecer 250 litros de água e armazenar custa R\$ 4.045,800 reais.

Para se fazer esse cálculo neste cenário será considerado um consumo de 3.961,5 Wh/dia.

A CEMIG cobra em relação a energia consumida (kWh/mês). Para chegar ao valor que será cobrado deve-se multiplicar o Wh/dia consumido por 30 (quantidade de dias em um mês);

$\text{KWh/mês} = 3.961,5 \times 30$

$\text{KWh/mês} = 118.845$

O Preço do KW que a CEMIG cobra em 2011 já adicionando os impostos está entre R\$ 0,60 e R\$ 0,62. Será considerado o maior valor para demonstrar a viabilidade do projeto.

Multiplicando o kWh/mês pelo preço do kW da concessionária tem-se:

$118.845 \times \text{R\$ } 0,62 = \text{R\$ } 73,68$

Acrescentando a este valor a taxa de iluminação pública que é dividida entre os consumidores da região, que é equivalente a R\$ 21,00, tem-se:

$73,68 + 21,00 = \text{R\$ } 94,68$

O valor de R\$ 94,68 é referente ao que o consumidor pagará para a Cemig durante um mês, consumindo 3.961,5 Wh/dia.

## 5 ANÁLISE DE RESULTADO BASEADO EM CENÁRIOS

Para fazer a comparação é necessário acrescentar um percentual de 25% no valor final de cada cenário que corresponde à contratação da mão de obra, suportes para instalação do sistema de energia solar, seja térmico ou fotovoltaico e gasto em geral garantindo também uma pequena margem de erro nos preços dos equipamentos.

### 5.1 CENÁRIO 1 - SISTEMA AUTÔNOMO

A fonte de energia deste cenário é o sistema fotovoltaico autônomo bateria e inversor. O custo deste projeto foi calculado em cima do consumo total da residência que é de 10.236,5 Wh/dia. Para a implantação deste sistema o consumidor deverá ter um investimento inicial de R\$ 88.062,00 referente aos painéis fotovoltaicos, banco de baterias e inversor utilizados.

Mas como os painéis solares tem uma vida útil de 25 anos todos os cálculos terão essa referência temporal.

Com isso, o consumidor, em 25 anos de geração fotovoltaica, irá gastar neste cenário um valor de R\$ 227.246,00 considerando que irá trocar, neste período 3 vezes o inversor e 5 vezes o banco de baterias.

Com o acréscimo de uma taxa percentual de 25% em cima do valor final, o consumidor irá gastar em 25 anos, um valor de **R\$ 284.057,50**.

### 5.2 CENÁRIO 2 - SISTEMA HÍBRIDO FOTOCONVERSÃO E TERMOCONVERSÃO

Para este cenário, foi feito o projeto para o sistema fotovoltaico considerando-se uma potência consumida diariamente de 6.936,5 Wh/dia, pois a termoconversão eliminará a potência dos chuveiros para este dimensionamento.

Para a implantação deste sistema o consumidor deverá ter um investimento inicial de R\$ 48.669,00 referente aos painéis fotovoltaicos, banco de baterias e inversor utilizados, somados a R\$ 4.045,80 devido a instalação dos coletores solares e reservatório.

Com isso:

O investimento inicial será de R\$ 48.669 + R\$ 4.045,8 = R\$ 52.714,80.

Mas como os painéis fotovoltaicos tem uma vida útil de 25 anos todos os cálculos terão essa referência temporal.

Com isso o consumidor, em 25 anos de geração fotovoltaica e termoconversão, irá gastar um valor de R\$ 130.530,60, considerando a troca neste período de 3 vezes o inversor e 5 vezes o banco de baterias e 2 vezes o sistema de termoconversão.

Com o acréscimo de uma taxa percentual de 25% em cima do valor final, o consumidor irá gastar em 25 anos no cenário 2 um valor de **R\$ 163.163,25**.

### 5.3 CENÁRIO 3 - SISTEMA HÍBRIDO FOTOCONVERSÃO, TERMOCONVERSÃO E CONCESSIONÁRIA

Neste cenário, foi considerada para o sistema fotovoltaico, uma potência consumida diariamente de 2.975 Wh/dia, devido a alimentação da iluminação e das tomadas para as televisões e 3.300 Wh/dia referente ao sistema de termoconversão. Também será utilizada a energia da concessionária, alimentar 3.961,5 Wh/dia de potência relativo aos demais aparelhos da residência (Tabela 02).

Para a implantação deste sistema o consumidor deverá ter um investimento inicial de R\$ 18.852,00 referente aos painéis fotovoltaicos, banco de baterias e inversor utilizados somados a R\$ 4.045,80 devido a instalação dos coletores solares e reservatório e uma conta mensal de R\$ 93,46 devido ao restante dos equipamentos que serão alimentados pela energia fornecida pela CEMIG.

O investimento inicial será de R\$ 18.852 + R\$ 4.045,80 + R\$ 93,46 = R\$ 22.991,26.

Os cálculos terão uma referência temporal de 25 anos, relativo ao tempo de vida útil dos painéis fotovoltaicos.

Com isso, o consumidor em 25 anos de geração fotovoltaica irá gastar neste cenário um valor de R\$ 45.582,00, considerando que irá trocar neste período 3 vezes o inversor e 5 vezes o banco de baterias, somados a um valor de R\$ 8.091,60 referente a troca de 2 vezes o sistema de termoconversão mais R\$ 28.038,00 devido a conta de energia da CEMIG.

Com a soma de todos os itens tem-se:

R\$ 81.711,60.

Com o acréscimo de uma taxa percentual de 25% em cima do valor final, o consumidor irá gastar em 25 anos no cenário 3 um valor de **R\$ 102.139,50**.

A Tabela 10 resume os custos de cada cenário.

Tabela 10

Custo de cada cenário

Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
R\$284.057,50	R\$163.163,25	R\$ 102.139,5

## 6 CONCLUSÃO

Após análise dos cenários identificou-se que o cenário 3 – (sistema híbrido - Termoconversão, Fotoconversão e Concessionária) apresenta uma viabilidade de 62,6% em relação ao cenário 2 – (Termoconversão, Fotoconversão) e 135,96% em relação ao cenário 1 – (Fotoconversão).

Através dos percentuais, verifica-se que a implantação dos cenários 1 e 2 torna-se inviável comparado com o cenário 3, devido ao alto custo atual dos componentes solares.

Apesar da inviabilidade financeira deve-se ressaltar a grande importância da instalação dos sistemas fotovoltaicos quando avaliados sob o foco da redução de impactos ambientais.

## REFERÊNCIAS

AMARAL; GONÇALVES; TOLEDO, Comparação do custo entre energia solar fotovoltaica e fontes convencionais, 2006. Dissertação (Graduação de Engenharia Elétrica), Faculdade de tecnologia da universidade de Brasília.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NB - 128/1963**: Instalações Prediais de água Quente.

BEZERRA, A. M. Artigos diversos. 2001. Disponível em: <<http://mourabezerra.sites.uol.br>>. Acesso em: 12 Out. 2011.

BEN – Balanço Energético Nacional, Relatório Anual, 2010.

BITTENCOURT, Estudo comparativo do aproveitamento da energia solar fotovoltaica em relação a rede de distribuição na eletrificação rural do estado de Tocantins, 2011. Dissertação (pós

Graduação de Engenharia), Universidade Federal de Lavras.

CRESESB - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito, Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br>>. Acesso em: 20 out.2011.

CRESESB - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito, disponível em <[http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial\\_solar\\_2006.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial_solar_2006.pdf)> Acesso em 15 nov. 2011.

FRAIDENRAICH, N.,Lyra,F.,Energia solar: Fundamentos e Tecnologia de conversão heliotérmelétrica e fotovoltaica, Ed.Universitária, Recife,1995.

HELIOTEK, Aquecedor Solar. Disponível em <[www.heliotek.com.br](http://www.heliotek.com.br)> Acesso em: 12 nov. 2011

JOSÉ, R. S. F, Construção e levantamento de desempenho de um concentrador cilíndrico parabólico com mecanismo automático de rastreamento solar, 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade do Rio Grande do Norte, 2008.

MINHA CASA SOLAR – Loja Virtual Disponível em: <http://minhacasasolar.lojavirtualfc.com.br/prod,idloja,14743,y,10565317387246,det,true,idproduto,2662113,painel-solar-fotovoltaico-135-watts--kyocera---kd135sx-> Acesso em : 13 out. 2011  
[aupu?gclid=coadv5uawcfq1x7aodvhtzpg](http://minhacasasolar.lojavirtualfc.com.br/prod,idloja,14743,y,10565317387246,det,true,idproduto,2662113,painel-solar-fotovoltaico-135-watts--kyocera---kd135sx-). Acesso em: 15 nov. 2011.

MINHA CASA SOLAR – Loja Virtual Disponível em: <http://minhacasasolar.lojavirtualfc.com.br/prod,IDLoja,14743,Y,4530569768992,IDProduto,2979258,inversor-de-tensao-inversor-12v-para-110v-inversor-5000w-xantrex-xpower---12v-120v>>. Acesso em: 16 nov. 2011.

MINHA CASA SOLAR – Loja Virtual Disponível em: <https://minhacasasolar.lojavirtualfc.com.br/prod,IDLoja,14743,Y,2276142871429,IDProduto,3137176,inversor-de-tensao-inversor-12v-para-110v-inversor-de-energia-de-750w-com-porta-usb-black---decker-bdi750---12v-127v>>. Acesso em: 07 dez. 2011.

MINHA CASA SOLAR – Loja Virtual Disponível em: <http://minhacasasolar.lojavirtualfc.com.br/prod,IDLoja,14743,Y,2763016660555,IDProduto,2790359,bateria-estacionaria-bateria-estacionaria-freedom-df4001-220ah-240ah>>. Acesso em: 15 nov. 2011.

PROCOBRE. Disponível em: <http://www.procobre.org/pr/index.html>>. Acesso em: 12 out. 2011.

SODRAMAR. **Aquecedor solar**. Disponível em: <http://www.sodramar.com.br>>. Acesso em: 04 set. 2011.

SOLETROL. Disponível em: <http://www.soletrol.com.br>>. Acesso em: 10 out. 2011.