



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
COLEGIADO DO CURSO DE ENGENHARIA
DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO - CECAU**



RAPHAEL AUGUSTO DOS SANTOS RIBEIRO

**SISTEMAS DE ENERGIA SOLAR EM CONJUNTOS HABITACIONAIS COM ÊNFASE
EM SUSTENTABILIDADE**

**MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE CONTROLE E
AUTOMAÇÃO**

**Ouro Preto
2018**

RAPHAEL AUGUSTO DOS SANTOS RIBEIRO

**SISTEMAS DE ENERGIA SOLAR EM CONJUNTOS HABITACIONAIS COM ÊNFASE
EM SUSTENTABILIDADE**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Engenheiro de Controle e Automação.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Fernando Rispoli
Alves

Co-orientador: Prof. M.Sc. Diógenes Viegas
Mendes Ferreira

Ouro Preto
Escola de Minas – UFOP
Dezembro/2018

R484s Ribeiro, Raphael Augusto dos Santos.
Sistemas de energia solar em conjuntos habitacionais com ênfase em sustentabilidade [manuscrito] / Raphael Augusto dos Santos Ribeiro. - 2018.

51f.: il.: color; graf.; tabs.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Fernando Rispoli Alves.

Coorientador: Prof. MSc. Diógenes Viegas Mendes Ferreira.

Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia de Controle e Automação e Técnicas Fundamentais.

1. Fotovoltaico. 2. Energia Solar. 3. Inclusão Social. 4. Sustentabilidade. 5. Rentabilidade. I. Alves, Luiz Fernando Rispoli. II. Ferreira, Diógenes Viegas Mendes. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU: 681.5

Catálogo: ficha.sisbin@ufop.edu.br

Monografia defendida e aprovada, em 13 de dezembro de 2018, pela comissão avaliadora constituída pelos professores:



Prof. Dr. Luiz Fernando Rispoli Alves - Orientador



Prof. M. Sc. Diógenes Viegas Mendes Ferreira – Professor Convidado



Prof. Dr. Paulo Marcos de Barros Monteiro – Professor Convidado

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente a Deus e a Nossa Senhora Aparecida por esta e todas as bênçãos presentes em minha vida.

Agradeço a meu pai, José Januário Ribeiro; minha mãe, Zilda Geralda dos Santos Ribeiro; e meu irmão, Matheus Yoseph dos Santos Ribeiro, que sempre estiveram ao meu lado dando todo amor e conforto que foram fatores determinantes para o sucesso desta jornada.

Agradeço a todos os meus amigos, em especial “Os Spyros”, Lorena Silva Araujo, Luiz Antônio da Silva Alfenas e colegas de curso.

Agradeço a Sílvia dos Santos Brangioni, minha namorada, por todo companheirismo e amor que me motivaram a ser sempre alguém melhor.

Agradeço a todos os moradores e ex-alunos da grandiosa República Kome Keto, por todos os ensinamentos e experiências vividas em conjunto, superando obstáculos e evoluindo como uma família.

Agradeço aos professores com os quais tive a oportunidade de aprender valores imprescindíveis para minha carreira e para a minha vida pessoal, tornando a gloriosa Escola de Minas a melhor experiência educacional da minha vida.

RESUMO

O presente trabalho visa um estudo de Sistemas de Energia Solar direcionado à sustentabilidade, economia e inclusão social, como também estudo de caso. O grande objetivo deste estudo teórico é levantar as vantagens da geração de energia elétrica a partir da energia solar em sistemas prediais para conjuntos habitacionais e, a partir deste trabalho, uma análise dos benefícios que a sustentabilidade trará a estes sistemas, como redução de custos e gastos, conforto, rentabilidade, não-agressão ao meio ambiente, valorização da propriedade e redução do consumo de energia elétrica concedida pela cidade, devido ao uso de sistemas fotovoltaicos e sistemas de aquecimento de água. Após este estudo será proposto a realização de futuros trabalhos, visando quaisquer melhorias para melhor adequação ao mercado e sociedade.

Palavras chave: fotovoltaico, energia solar, inclusão social, sustentabilidade

ABSTRACT

The present work aims at a study of Solar Energy Systems directed to sustainability, economics and social inclusion, as well as a case study. The main objective of this theoretical study is to raise the advantages of electric energy generation from solar energy in residential systems and, from this work, an analysis of the benefits that sustainability will bring to these systems, such as cost reduction and expenses, comfort and leisure, profitability, non-aggression to the environment, valorization of the property and reduction of the electricity consumption granted by the city, due to the use of photovoltaic systems and water heating systems. After this study will be proposed the accomplishment of future works, aiming any improvements for better adaptation to the market and society.

Keywords: photovoltaic, solar energy, social inclusion, sustainability

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Composição de uma Célula Fotovoltaica.....	21
Figura 2 – (a) Junção pn e o Acúmulo de Cargas. (b) Campo Elétrico Resultante	22
Figura 3 – Formação de um Módulo Fotovoltaico	23
Figura 4 – Célula Fotovoltaica do tipo Monocristalina	24
Figura 5 – Célula Fotovoltaica do tipo Policristalina	24
Figura 6 – Diagrama de Blocos de um Sistema Fotovoltaico Básico	25
Figura 7 – Principais Componentes de um Sistema Fotovoltaico	26
Figura 8 – Esquema Básico de Coletor Solar	28
Figura 9 – Componentes do Pannel Solar	29
Figura 10 – Aquecedor de Água por Termossifão	30
Figura 11 – Movimento de Translação Solar e Variação da Altura Solar.....	31
Figura 12 – Projeto Completo da Casa Padrão do Conjunto.....	37
Figura 13 – Planta Baixa da Casa Padrão do Conjunto.....	38
Figura 14 – Sistema de Aquecimento de Água por Coletor Solar.....	42
Figura 15 – Tarifas de Consumo para Residências de Baixa Renda	44
Figura 16 – Geração e Consumo de Energia Elétrica.....	46
Figura 17 – Viabilidade Econômica para a Casa Padrão do Conjunto.....	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Relação de Componentes e Materiais para o Coletor Solar	29
Tabela 2 - Relação de Consumo Diário da Casa Padrão do Conjunto	43

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1 Origem e Importância do Trabalho	12
1.1.1 Objetivo Geral	12
1.1.2 Objetivos Específicos	12
1.2 Justificativa.....	13
1.3 Metodologia.....	13
2 REVISÃO TEORICA	14
2.1 Contexto Político-Social Brasileiro	14
2.1.1 Conjuntos Habitacionais no Brasil	14
2.2 Sustentabilidade e Desenvolvimento Sustentável	15
2.2.1 O Conceito de Sustentabilidade.....	15
2.2.2 Divisões da Sustentabilidade	16
2.3 Energia Elétrica	16
2.3.1 Geração de Energia Elétrica	17
2.3.2 Energia Solar	17
2.4 Sistemas Fotovoltaicos	18
2.4.1 Sistemas	19
2.4.2 O Efeito Fotovoltaico	20
2.4.2.1 Histórico do Efeito Fotovoltaico	20
2.4.3 Células Fotovoltaicas.....	21
2.4.4 Configuração de um Sistema Fotovoltaico.....	23

2.5 Sistema de Aquecimento de Água por Coletores Solares	28
2.5.1 Aquecimento de Água por Termossifão	28
2.6 Economia no Consumo de Energia	31
2.6.1 Sistema de Compensação de Energia Elétrica.....	32
2.6.1.1 Regulamentação da ANEEL para Geração Fotovoltaica	32
2.6.2 Financiamentos para Energia Solar no Brasil.....	35
3 ESTUDO DE CASO: CONJUNTO HABITACIONAL SUSTENTÁVEL.....	36
3.1 Casa Padrão do Conjunto	36
3.1.1 Planta Baixa.....	36
3.2 Iluminação Econômica	38
3.3 Fornecimento de Água Quente	39
3.3.1 Dimensionamento.....	39
3.4 Geração de Energia Elétrica	41
3.4.1 Dimensionamento.....	42
3.5 Resultados.....	45
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	46
4.1 Conclusão	46
4.2 Recomendações para Trabalhos Futuros	47
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48

INTRODUÇÃO

1.1 Origem e Importância do Trabalho

A utilização da Energia Solar Fotovoltaica tem se tornado, a cada década que passa, uma ótima opção de diminuição dos gastos com energia elétrica nas novas construções de unidades residenciais. Além disso, pode ser responsável por um sistema de caráter limpo e renovável na produção de eletricidade, nos dando os efeitos de sustentabilidade e eficiência energética, regulamentados pela Agência Reguladora de Energia e propostos pelas empresas distribuidoras de energia.

Para todos os casos, este mercado de fornecimento de energia elétrica para residências é, ainda, iniciante na utilização de energias alternativas. O mercado fotovoltaico brasileiro ainda precisa ganhar escala de produção de sistemas fotovoltaicos, de modo a reduzir o seu custo. Para tal, é necessário que se tenha conhecimento de qual a real dimensão deste mercado, como pode-se encontrar os equipamentos necessários para instalação de um sistema e todas as condições técnicas para isso. Sendo assim, é possível ter clareza de todos os custos associados e qual a rentabilidade do investimento.

Este trabalho propõe um estudo inicial sobre como seria possível a implementação desses sistemas em conjuntos habitacionais, visando sua sustentabilidade, de modo a gerar um abatimento mensal no consumo de energia elétrica fornecida pela concessionária, representando uma grande opção de economia para a classe social moradora dessas habitações, além de proporcionar maiores alternativas de conforto e facilidades que a automação predial pode trazer.

1.1.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo principal propor uma alternativa de economia de energia elétrica e conforto para classes sociais menos favorecidas através de sistemas de energia solar, de modo a tornar suas habitações sustentáveis e rentáveis.

1.1.2 Objetivos Específicos

Destacam-se, ainda, alguns objetivos secundários que dão suporte ao objetivo principal. São eles:

- Planejamento de sistemas de energia solar residenciais: descrição de sistemas, dimensionamento, aplicações e alternativas.
- Sustentabilidade: conceito de sustentabilidade, aplicações e resultados.

1.2 Justificativa

A motivação pela escolha do tema se dá pela necessidade de economia de energia elétrica e pela crescente utilização de sistemas de energia solar residenciais. A partir disso, tem-se a intenção de desenvolvimento de uma metodologia para a criação de um sistema sustentável e que represente rentabilidade.

É possível e preciso que seja dada prioridade ao uso de tecnologias de baixo custo, de modo a demonstrar que os Sistemas de Energia Solar podem, e devem, ser ferramentas a serem utilizadas por várias classes sociais, bem como desenvolver aplicações e criar ambientes personalizados.

Outra grande motivação está no caráter social do trabalho. Pode-se ter a partir deste, em um futuro próximo, uma atenção maior da inclusão da tecnologia fotovoltaica na vida das pessoas, principalmente aquelas que contam com problemas em sua habitação como falta de luz e de água quente e higiene precária.

1.3 Metodologia

Para o presente trabalho, a metodologia utilizada foi o levantamento bibliográfico acerca do tema discutido, bem como das técnicas mais conhecidas e eficientes para um efetivo dimensionamento de sistemas de energia solar para utilização em residências e conexão à rede elétrica. A fim de obter-se dados mais concisos e fidedignos para estudo, foi feita uma pesquisa documental com base em análises de mercado, projetos existentes e orçamentos referentes ao ramo de energia solar. A título de análise de viabilidade, foi usado como referência um estudo de caso particular, com o intuito de trabalhar os custos atrelados a sistemas de energia solar, seu retorno financeiro a curto e longo prazo e sua especificação técnica.

2 REVISÃO TEORICA

2.1 Contexto Político-Social Brasileiro

No Brasil, atualmente, a população enfrenta uma das maiores crises políticas e econômicas de sua história. Desde 2013, quando ocorreu um grande movimento político popular no país, temos um cenário preocupante no que se refere a empregos, moradias, saúde, segurança e educação. Isso se deve às consequências da corrupção, má gestão pública e irregularidades dos governos anteriores.

Tal cenário gera um aumento da pobreza em um país considerado subdesenvolvido, colocando várias pessoas à margem da sociedade em condições tristes de miséria: sem emprego, sem acesso a uma educação ou saúde de qualidade e, em vários casos, sem moradia própria. Neste contexto, entra a necessidade das Habitações Sociais, conhecidas também como Conjuntos Habitacionais.

2.1.1 Conjuntos Habitacionais no Brasil

Estes se referem a um aglomerado de casas de arquitetura semelhante endereçadas a uma população de uma baixa renda que dificulta ou inviabiliza a aquisição de moradia própria. Estas habitações foram colocadas em prática dentre várias outras medidas populares e urbanistas da Era Vargas, no decorrer do século XX. Desde então, tais moradias passaram por diversas transformações sociais que resultaram no contexto atual.

A partir dos anos 90, a política de habitação social destinada à esfera social de baixa renda foi uma espécie de auxílio através de programas sociais. Porém, no geral, tal prática não tem conseguido abater as grandes consequências da desigualdade social no âmbito de moradia no Brasil. Casas sem saneamento básico, energia elétrica ou até mesmo estrutura física satisfatória para uma boa qualidade de vida são debilidades sentidas na sociedade brasileira.

Infelizmente, os recursos financeiros fornecidos pelo governo destinados à criação e manutenção de conjuntos habitacionais para as pessoas de baixa renda são poucos. Como forma de minimização deste efeito, este trabalho sugere uma aplicação de estratégias de manipulação hídrica, solar e elétrica. Normalmente, quem habita tais residências são pessoas que fazem parte do grande montante de trabalhadores com renda de um salário mínimo ou menos, que mantêm

gastos fixos mensais inerentes ao seu lar. Contas de água e energia elétrica costumam ser parcelas expressivas das finanças destas pessoas; portanto, uma vez que as condições de salário e mercado são instáveis, é proposta uma economia a estes nestas contas, com o intuito de melhoria de sua qualidade de vida.

2.2 Sustentabilidade e Desenvolvimento Sustentável

Um conceito que vem ganhando força nos últimos anos é o de Sustentabilidade. A ação humana vem prejudicando o meio ambiente ao longo de vários anos e, hoje em dia, soluções de engenharia devem se preocupar intensamente com a causa ambiental. Neste contexto, a alternativa de fornecimento de energias renováveis vem mostrando-se cada vez mais presente quando o assunto é economia. Seu uso pode representar uma grande economia de energia elétrica ocasionando, também, em uma maior conservação dos nossos recursos hídricos, além de benefícios a serem apresentados a seguir.

2.2.1 O Conceito de Sustentabilidade

A sustentabilidade vem sendo conhecida como o conceito da moda no que se refere a desenvolvimento. O ser humano, a cada ano que passa, vem se preocupando cada vez mais com o impacto que ele mesmo causa no meio ambiente. Sendo assim, vêm sendo trabalhadas ideias de promover projetos de menor impacto ambiental possível. Foram desenvolvidos estudos, teorias, novos hábitos e, em geral, uma crescente conscientização.

Vários dos conceitos associados a sustentabilidade se referem às edificações e à questão urbana, de construção e modificação de seu habitat natural preservando suas ações para ser menos impactante à natureza.

Isso se deve a um conjunto simples de atitudes básicas, visando a conscientização de uma continuidade de nosso planeta, como:

- a) ter consciência no uso de todos os recursos hídricos;
- b) ter consciência no uso de toda e qualquer energia renovável;
- c) diminuir o uso de materiais de construção;

- d) escolher os materiais menos impactantes ao homem e ao ambiente;
- e) procurar ter a maior durabilidade possível de uma edificação.

“Sustentabilidade é viver dentro da capacidade de suporte do planeta e desenvolvimento sustentável é aquele desenvolvimento que conduz à sustentabilidade.” (GIBBERD, 2003)

2.2.2 Divisões da Sustentabilidade

Podemos dividir o conceito de sustentabilidade em diversas áreas (SACHS, 1993):

- a) sustentabilidade social: procura uma igualdade na distribuição de rendas e bens, o que provoca uma diminuição das diferenças entre camadas sociais;
- b) sustentabilidade econômica: considera os termos macrossociais e macroeconômicos como variáveis da eficiência econômica;
- c) sustentabilidade ecológica: procura reduzir o número de resíduos e intensifica a reciclagem, provocando uma maior conscientização quanto ao uso de recursos, principalmente os esgotáveis. É a área responsável também por desenvolver pesquisas e aplicar a tecnologia ambiental nas políticas de proteção do meio ambiente;
- d) sustentabilidade geográfica ou espacial: busca o equilíbrio entre a zona rural e a urbana, visando uma diminuição em concentrações urbanas, bem como uma difusão das práticas econômicas, de agricultura e de proteção ao meio ambiente;
- e) sustentabilidade cultural: busca transformações que sejam condizentes a um contexto que provoque uma continuidade cultural.

2.3 Energia Elétrica

A energia elétrica é, hoje, a maior referência de fonte de energia no mundo. Ela é produzida através da diferença de potencial entre dois pontos de um condutor estabelecendo-se o movimento ordenado de elétrons, ao qual se dá o nome de corrente elétrica. A manipulação de tal corrente pode provocar o efeito de luz, movimento ou calor, dependendo da aplicação. Foi uma

descoberta do filósofo grego Tales de Mileto, ao realizar uma experiência e descobrir as cargas elétricas.

2.3.1 Geração de Energia Elétrica

Existem várias formas de obtenção de energia elétrica. Por ser uma forma de energia secundária, ou seja, necessita da transformação de alguma forma de energia proveniente da natureza, tendo esta manipulação associada a custos e impactos ambientais.

Considerando a situação de custo-benefício de cada ambiente, podemos analisar as seguintes formas de conversão de energia elétrica:

- a) Hidrelétricas: é a forma de geração de energia elétrica de uso mais abundante no Brasil, resultante da força hidráulica da água aplicada a um rotor gerador que utiliza a energia potencial de quedas d'água;
- b) Energia Eólica: utilizando a energia mecânica provocada pela ação dos ventos em uma turbina ligada a um gerador de eletricidade, a produção de energia elétrica se dá de forma mais bem-sucedida nas regiões de maior potencial eólico no Brasil (Norte e Nordeste, parte da Bahia e Minas Gerais e na região Sul);
- c) Energia Nuclear: utilizando o elemento químico urânio, uma reação química dá origem a uma energia que gera calor através da radiação. Ligado a uma turbina, o vapor origina a energia elétrica. É o tipo de geração de energia mais criticado pelos seus impactos ambientais e sociais.
- d) Energia Solar: pela captação de raios solares acontece um efeito fotoelétrico que gera energia elétrica. Pode ser adquirida da forma térmica ou fotovoltaica;
- e) Termelétrica: ligada a uma turbina a queima de materiais (bagaço de cana, palha de arroz, madeira, gás natural, diesel, etc.) provoca calor e vapor, produzindo energia;
- f) Co-geração: por gaseificação ou vapor d'água, gera energia elétrica através da utilização da carburação de resíduos orgânicos.

2.3.2 Energia Solar

O uso de radiação solar pode ser relacionado de forma direta à origem da energia térmica, provocando aquecimento de ambientes e fluidos e/ou geração de potência mecânica ou elétrica. Através do efeito fotovoltaico e termoelétrico, também é capaz de produzir energia elétrica diretamente.

A iluminação natural pode ser usada para aquecimento de ambientes (aquecimento solar passivo), proveniente da absorção de radiação solar nas edificações. Com isso, diminui-se boa parte das necessidades de iluminação e de aquecimento. Sendo assim, com as técnicas corretas podemos obter um melhor uso da radiação solar.

O aproveitamento térmico para aquecimento de fluidos é feito através de coletores e concentradores solares. Coletores são destinados a aplicações residenciais e comércios, enquanto os concentradores proporcionam temperaturas mais elevadas, tendo sua aplicação mais voltada à indústria agrícola em processos. É possível, portanto, gerar energia mecânica através de uma turbina a vapor ligada a um gerador de energia elétrica.

Através dos efeitos da radiação, ou seja, calor e luz, em semicondutores, é possível converter-se, diretamente, a energia solar em energia elétrica. Com este fim, destacamos os efeitos termoelétrico e fotovoltaico. No primeiro, em condições específicas, surge uma diferença de potencial na junção de dois metais, ao passo que no segundo os fótons da luz visível reagem com as células solares e geram energia elétrica.

As formas de manipulação da energia solar mais usadas são o aquecimento de água e a geração fotovoltaica de eletricidade. Porém, para viabilidade de ambos processos faz-se necessária uma análise climática do local em questão, de modo a atender melhor necessidades pontuais. Por exemplo, nas regiões Nordeste e Norte do Brasil, de elevadas temperaturas e escassez de rede elétrica em alguns lugares, é de suma importância sistemas destinados à geração de eletricidade. Já nas regiões Sul e Sudeste, iremos encontrar mais facilmente sistemas destinados ao aquecimento de água.

Ademais, sistemas residenciais de aproveitamento de energia solar, além de serem formas limpas de aplicação da geração de energia, provocam a redução de gastos de eletricidade e, conseqüentemente, o efeito da economia que pode chegar a até 95%.

2.4 Sistemas Fotovoltaicos

Sistemas fotovoltaicos são aqueles nos quais acontece a conversão da energia solar em elétrica. Ele se dá através da junção de determinados componentes elétricos, condições climáticas e cargas. São divididos em dois tipos de sistema:

- **Sistemas Fotovoltaicos Autônomos:** Conhecidos também como Sistemas Fotovoltaicos Off-Grid, operam sem a necessidade de conexão à rede elétrica oferecida pela concessionária. Eles têm como função alimentar diretamente as cargas consumidoras de energia elétrica através somente do recurso solar. Têm maior utilização em lugares distantes da zona urbana, onde não chega a distribuição de energia.
- **Sistemas Fotovoltaicos Conectados:** Conhecidos também como Sistemas Fotovoltaicos On-Grid, operam com vínculo à conexão à rede elétrica oferecida pela concessionária. Desta forma, destinam o período de incidência solar para fornecimento de potência à rede, representando uma fonte complementar de energia ao sistema elétrico ao qual está conectado.

Para seu fiel entendimento, o conhecimento de alguns conceitos e componentes se faz necessário, como descritos a seguir.

2.4.1 Sistemas

A fim de chegar a uma ideia concisa do significado de “Sistemas”, são destacadas as definições:

“Conjunto de partes relacionadas, apesar de independentes, sendo, cada uma delas dependentes entre si” (BERTALANFFY, 1950).

“Sistema pode ser definido como um conjunto de elementos interdependentes que interagem com objetivos comuns formando um todo, e onde cada um dos elementos componentes comporta-se, por sua vez, como um sistema cujo resultado é maior do que o resultado que as unidades poderiam ter se funcionassem independentemente. Qualquer conjunto de partes unidas entre si pode ser considerado um sistema, desde que as relações entre as partes e o comportamento do todo sejam o foco de atenção” (ALVAREZ, 1990, p. 16).

“O Sistema é um conjunto de partes interagentes e interdependentes que, conjuntamente, formam um todo unitário com determinado objetivo e efetuam determinada função” (OLIVEIRA, 2002, p. 35).

A partir das três noções, é possível associarmos a palavra “Sistema”, tecnicamente, à interação, organização e totalidade, chegando à concepção de que se trata de uma unidade total de organização através de relações internas entre seus parâmetros.

2.4.2 O Efeito Fotovoltaico

A nomenclatura “efeito fotovoltaico” dá-se ao fenômeno físico em que ocorre a geração de tensão ou corrente elétrica a partir da incidência de luz. Existe uma considerável diferença nos conceitos de efeito fotovoltaico e efeito fotoelétrico, embora sejam comumente associados. No primeiro, dentro do material que recebe a incidência de luz, os elétrons que são gerados são compartilhados das bandas de valência para as bandas de condução, o que dá origem, por dois eletrodos, à diferença de potencial (tensão elétrica). Já no segundo, ocorre a aplicação de uma dada exposição à radiação onde, quando suficiente, faz com que elétrons sejam ejetados da superfície do material.

2.4.2.1 Histórico do Efeito Fotovoltaico

O efeito fotovoltaico teve origem na pioneira observação de Alexandre-Edmond Becquerel, como demonstra na linha do tempo abaixo, bem como a evolução de sua utilização:

- 1839: Becquerel foi determinante no conceito do Efeito Fotovoltaico ao provar que seria possível converter radiação luminosa em energia elétrica. Para tal, seria necessário mergulhar um eletrodo em uma solução de eletrólito com luz incidindo.
- 1877: Adams e Day observaram este mesmo efeito no selênio.
- 1883: é produzida a primeira célula solar, feita com selênio, porém de baixa eficiência de conversão (1%).

- 1930: Lange, Grondahl e Schottkl, propuseram ideias de suma importância para o real entendimento contemporâneo acerca deste efeito em junção do estado sólido.
- 1941: Ohl dá origem à primeira fotocélula de silício monocristalino.
- 1949: Billing e Plessnar, fornecem grandes contribuições a partir da medição da eficiência de fotocélulas de silício cristalino. Shockely divulga A Teoria da Junção P-N.
- 1954: tem origem a fotocélula de silício. Esta possuía características parecidas às encontradas hoje e sua eficiência era de 6%.
- 1958: marca o início, com grande sucesso, da utilização de fotocélulas nos programas espaciais, sendo este o principal uso das células solares até o final da década de 70. Após a crise mundial de energia, em meados de 1973, a geração fotovoltaica para uso terrestre teve um crescimento significativo.
- Fim dos anos 70: superioridade na utilização terrestre à espacial, com grandes inovações e melhoria na eficiência da conversão de energia. Isso provocou uma redução substancial no custo.
- Dias de hoje: com o intuito de melhoria da eficiência de conversão de energia e da redução do custo dos materiais envolvidos, vem-se estudando as possibilidades de uso de um elemento diferente do silício monocristalino, estudando-se a utilização do silício policristalino e amorfo, o arseneto de gálio e o sulfeto de cádmio. Porém, o silício permanece como o usado nesta tecnologia, pelo fato de ser mais abundante na terra, principalmente.

2.4.3 Células fotovoltaicas

Na natureza encontramos determinados materiais cuja nomenclatura é dada por semicondutores. Estes materiais têm como característica o fato de terem uma banda de valência preenchida em sua totalidade por elétrons e uma banda de condução que, à baixa temperatura, está completamente vazia. A separação entre as bandas se dá pela ordem de 1eV, fazendo com que tenham a característica de maior condutividade na presença de temperaturas mais elevadas, uma vez que a excitação térmica provoca movimentação daqueles que se localizam na banda de valência para a banda de condução. Os fótons, por sua vez, excitam elétrons que estão na banda de condução, o que representa o principal fator de funcionamento das células fotovoltaicas, mas

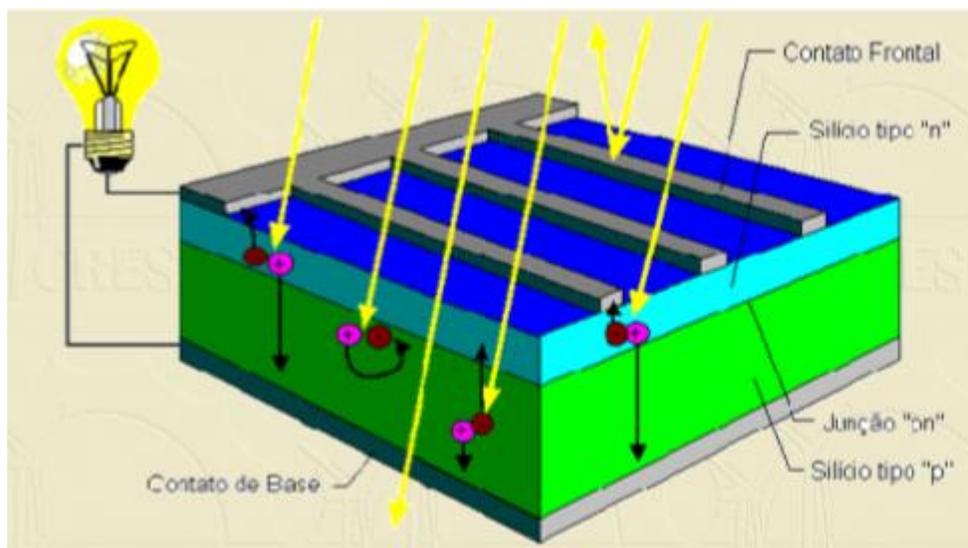
não o único. Com uma estrutura determinada é possível que estes elétrons excitados façam parte de um movimento ordenado, definição de corrente elétrica.

Dentre os semicondutores existentes, o de maior utilização é o silício. Este material tem a característica de seus átomos possuírem quatro elétrons de ligação que, ao promoverem ligação aos seus vizinhos, formam uma rede cristalina. No ato de adicionar-se átomos com cinco elétrons de ligação, a exemplo do fósforo, um elétron acabará por ficar sobrando e fracamente ligado ao átomo que pertence, o que permite que este elétron fique livre na presença da menor energia térmica inserida no sistema. Desta forma, o fósforo passa a ser um dopante doador de elétrons, ou simplesmente dopante n.

Neste contexto, se forem inseridos átomos cuja característica é possuir três elétrons de ligação, a exemplo do boro, um elétron acabará por ficar faltando e esta lacuna que deixará adquire a possibilidade de recebimento de um elétron da vizinhança, na presença da menor energia térmica inserida no sistema. Desta forma, o boro passa a ser um dopante aceitador de elétrons, ou simplesmente dopante p.

A energia térmica fornecida pela temperatura ambiente já é considerada suficiente para que ambos elementos citados acima tenham tais características e, no caso de um silício puro, com a inserção de átomos de fósforo e boro em suas metades, teremos o que chamamos de junção pn, como na Figura 1. Nela, os elétrons livres em n passam para o lado p, encontrando as lacunas, o que provoca uma concentração de elétrons neste ponto, fazendo com que fique eletricamente negativo.

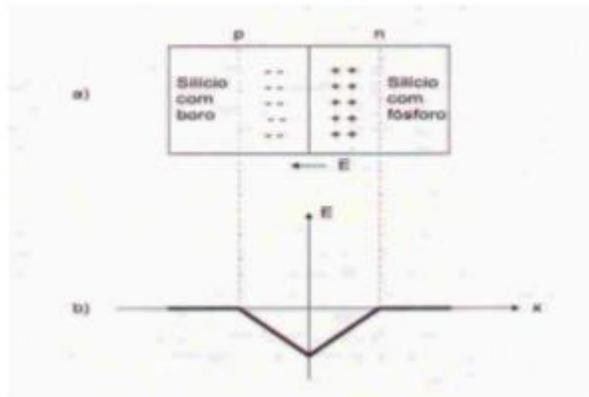
Figura 1 – Composição de uma célula fotovoltaica.



Fonte: FADIGAS (2014)

Analogamente, ocorre uma redução de elétrons no outro lado (n), fazendo com que fique eletricamente positivo. Tais cargas dão origem a um campo elétrico de característica permanente que limita a passagem de elétrons de n para p, como descrito na Figura 2.

Figura 2 – (a) Junção pn e o acúmulo de cargas; (b) Campo elétrico resultante.



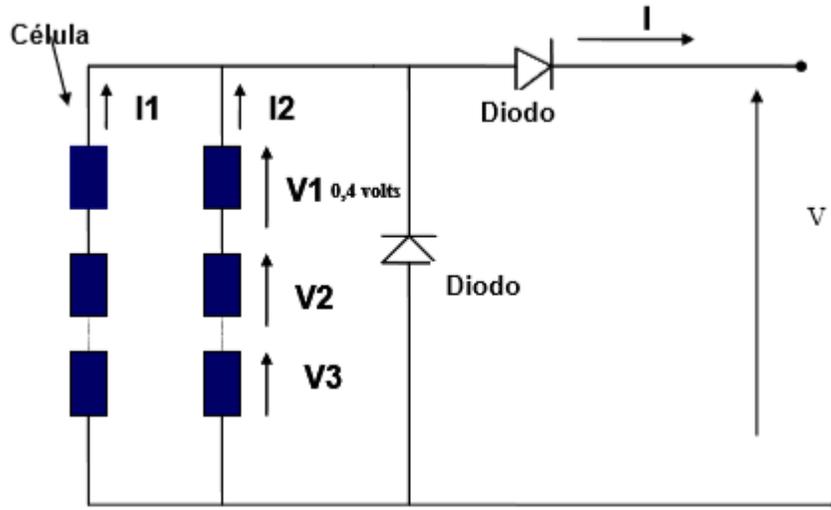
Fonte: FADIGAS (2014)

Com a chegada dos fótons na junção pn, serão gerados pares de elétron-lacuna. Caso isso ocorra na região na qual o campo elétrico não é igual a zero, provocará aceleração das cargas, o que gerará uma corrente elétrica, dando origem a uma diferença de potencial (Efeito Fotovoltaico).

2.4.4 Configuração de um Sistema Fotovoltaico

A tensão presente nos terminais de uma célula fotovoltaica é extremamente baixa (aproximadamente 0,6V), o que faz com que sua corrente também seja muito pequena, na ordem de miliamperes. Com base nisso, faz-se necessária a ligação em série e/ou paralelo para provocar um aumento de potência e, conseqüentemente, alimentar determinada carga. A essa configuração, ilustrada na Figura 3, dá-se o nome de módulo fotovoltaico.

Figura 3 – Formação de um Módulo Fotovoltaico.



Fonte: FADIGAS (2014)

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n$$

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n$$

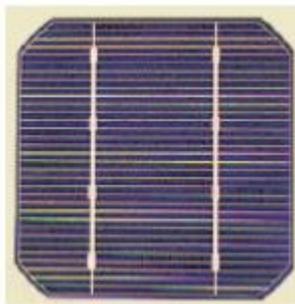
Uma informação de extrema importância para avaliar e dimensionar determinado sistema fotovoltaico é a eficiência do módulo. A instituição responsável pela avaliação e certificação dos módulos é o INMETRO, em todo território nacional, fornecendo, aos mesmos, selo do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – PROCEL, confirmando sua eficiência. Assim, podemos definir a eficiência da conversão feita pelo módulo pela seguinte expressão:

$$\eta = \text{Potência Elétrica gerada pelo módulo} / \text{Potência presente na incidência solar}$$

Existem dois tipos de células fotovoltaicas de silício (Figuras 4 e 5) capazes de compor esses módulos:

- Silício Monocristalino: Eficiência de conversão entre 15% e 18% (mais utilizadas no mercado);

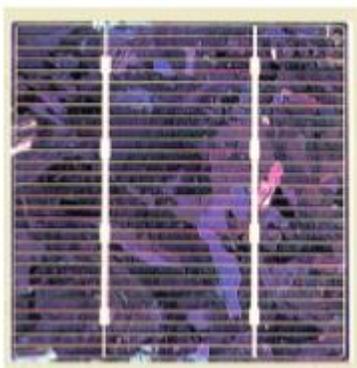
Figura 4 – Célula Fotovoltaica do tipo Monocristalina.



Fonte: FADIGAS (2014)

- Silício Policristalino: Eficiência de conversão de até 12,5%;

Figura 5 – Célula Fotovoltaica do tipo Policristalina.



Fonte: FADIGAS (2014)

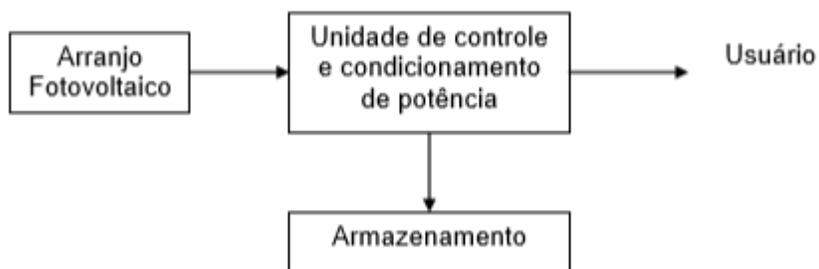
Além destes, existem os tipos de células fotovoltaicas Silício Amorfo, com eficiência de conversão entre 5% e 9%, e de Arseneto de Gálio, que possui uma estrutura parecida com a do silício e tem maior aplicação em sistemas concentradores e/ou espaciais. Sua eficiência de conversão gira em torno de 20%.

A partir da forma de configuração das células (série, paralelo ou em série-paralelo) definimos a potência do módulo, que tem sua parte frontal com revestimento em resina ou vidro temperado de alta transparência, altamente resistente a intempéries, poeira e umidade. O módulo gera uma corrente contínua (CC), podendo alimentar de forma direta equipamentos com esse funcionamento e promover carregamento de baterias, e é composto por 28 a 40 células de silício cristalino, no geral.

À associação de módulos, conexões, diodos de proteção e estruturas de suporte dá-se o nome de arranjo fotovoltaico. De modo a tê-lo visando organização, as estruturas de suporte permitem interligação dos módulos de uma forma simples e comumente são feitas de madeira, aço ou alumínio. Internamente ao arranjo, é possível que hajam dispositivos de orientação do módulo, com base no movimento solar e visando uma melhor extração da radiação solar incidente, o que pode promover um aumento de até 40% na energia anual produzida. No entanto, tais dispositivos demandam manutenção e influenciam no custo geral do sistema.

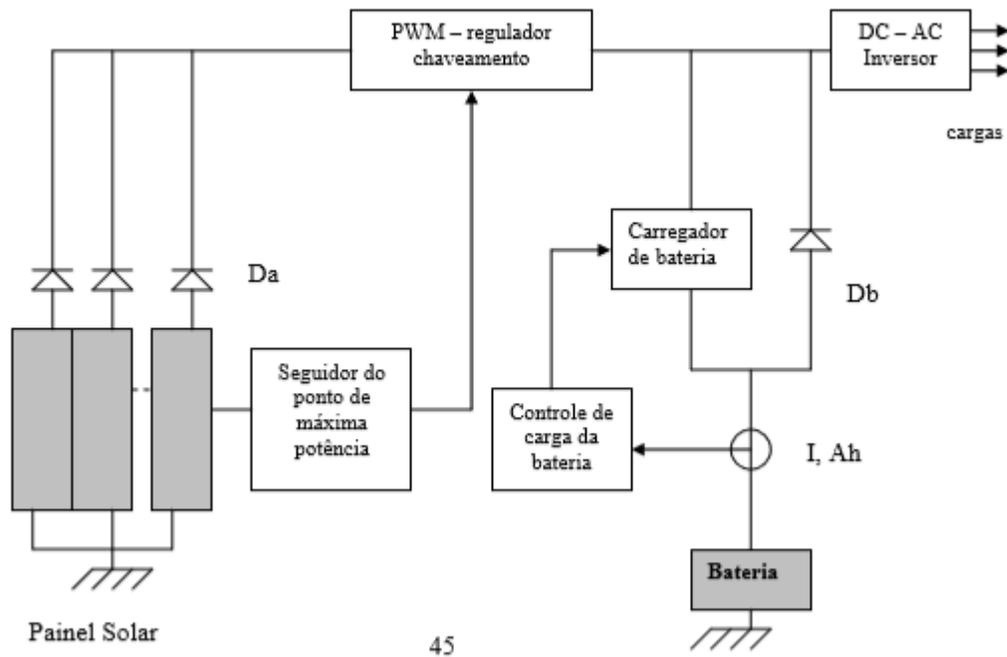
Associado ao nosso arranjo fotovoltaico é necessário o funcionamento de um sistema de condicionamento de potência, cuja função é coletar a energia proveniente do arranjo, em corrente contínua, e condicioná-la até a carga, seja ela CC ou CA. Controlam o acionamento ou não do sistema fotovoltaico, bem como o controle de carga da bateria, proteção e conversão de CC em CA, como demonstrado nas figuras 6 e 7.

Figura 6 – Diagrama de Blocos de um Sistema Fotovoltaico Básico.



Fonte: FADIGAS (2014)

Figura 7 – Principais Componentes de um Sistema Fotovoltaico.



Fonte: FADIGAS (2014)

Tendo os módulos como principal, um sistema fotovoltaico conta com outros componentes que são extremamente necessários para uma conversão adequada. São eles:

- **Baterias:** Responsáveis pelo armazenamento de energia, existem vários tipos de baterias capazes de serem empregadas em sistemas fotovoltaicos. As de chumbo-ácido são as mais utilizadas comercialmente, em principal por ter menor custo. As de níquel-cádmio têm sido cada vez mais empregadas nos sistemas que necessitam de bateria do tipo selada, tendo como desvantagem o seu custo mais elevado, em relação à anterior.
- **Controlador de carga:** Para sistemas que fazem uso de bateria, faz-se necessária a adequação deste componente, que é responsável por promover desligamento da carga quando a bateria chega em nível mínimo de descarga especificado. Analogamente, é responsável também por promover desconexão do arranjo fotovoltaico assim que a bateria assume seu nível máximo de carregamento permitido.

- Inversor de Frequência: É o componente responsável pela conversão da corrente contínua fornecida pelo sistema para corrente alternada, com o intuito de alimentar determinada carga. Podem ser estáticos ou eletromecânicos.

2.5 Sistema de Aquecimento de Água por Coletores Solares

É de conhecimento geral que o uso de chuveiro elétrico é um dos grandes gastos mensais nas faturas de energia elétrica fornecidas por concessionárias. Estima-se que cerca de 25% dos gastos com energia elétrica são diretamente atribuídos ao aquecimento de água, principalmente para banho, utilizando este componente que pode gastar até 6kWh. Grande parte desta demanda de gastos ocorre no período de fim de tarde, conhecido também como horário de pico, gerando sobrecarga no sistema elétrico, problema que poderia ser atenuado com o uso da energia solar.

A utilização deste recurso para aquecimento de água, seja em escala doméstica ou industrial, tem sido um grande sucesso ao redor do mundo, ao oferecer uma alternativa energética de baixo custo a longo prazo e de fonte inesgotável e não-poluente.

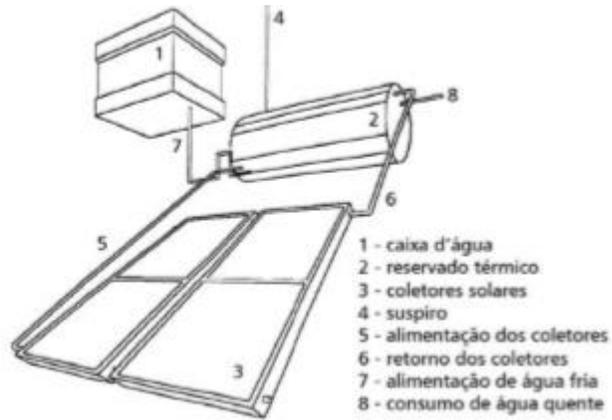
No Brasil, boa parte da população, em principal a de baixa renda, utilizam a energia elétrica para o aquecimento de água. Imaginando, portanto, um cenário nacional de uso de aquecimento solar, seria possível que houvesse grande redução de gastos dos recursos energéticos provenientes de hidrelétricas e outras fontes de energia não-renováveis, promovendo uma considerável diminuição da demanda geral de energia elétrica da rede, atenuando a possibilidade de problemas institucionais como racionamento de energia e gerando economia ao cidadão sem degradar o meio ambiente.

2.5.1 Aquecimento de Água por Termossifão

Dentre os vários sistemas desenvolvidos para uso doméstico de aquecimento de água, pode-se destacar o sistema de circulação natural ou termossifão. Tal sistema possui baixo custo e eficiência, o que o torna acessível a boa parte da população de baixa renda.

A seguir, na Figura 8, é apresentado um esquema de disposição dos componentes de um coletor solar para aquecimento de água por termofissão:

Figura 8 – Esquema básico de coletor solar.

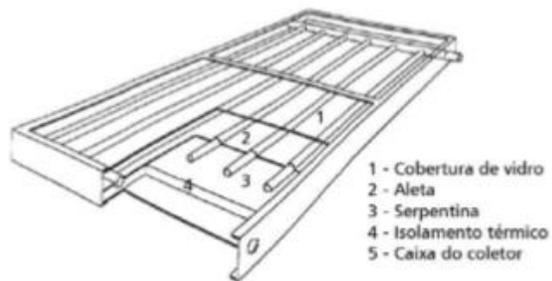


Fonte: ABRAVA (1996)

Alguns dos componentes e fatores são de extrema importância para o bom funcionamento do sistema:

1. Painel Coletor: Recebe a incidência solar, de modo a absorvê-la pelas superfícies escuras, o que o aquece e conseqüentemente a água presente nele (Figura 9 e Tabela 1).

Figura 9 – Componentes do painel solar.



Fonte: ABRAVA (1996)

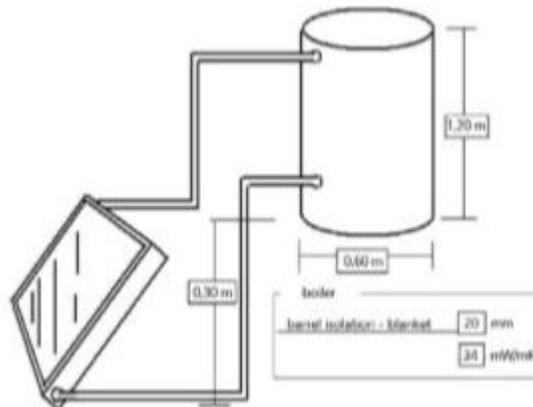
Tabela 1 – Relação de componentes e materiais para o coletor solar.

Componente	Material
Caixa do coletor	Metal ou madeira - deve resistir às intempéries
Cobertura	Vidro - é opcional e aumenta consideravelmente o desempenho
Tubos	É por onde circula a água. Pode ser de cobre, aço galvanizado ou PVC rígido. Deve ter grande condutibilidade térmica e resistir à corrosão
Aletas	Conduzem calor até os tubos, de material de elevada condutividade térmica. São pintadas com tinta preta fosca para aumentar a absorção da energia incidente
Isolamento térmico	Para evitar perda de calor no fundo e laterais, deve ser resistente a altas temperaturas, tal como a lã de vidro, serradura seca, palha, etc. (STONER, 1974)
Tinta	Pode ser usada uma mistura de óleo de linhaça e pigmento de carvão (STONER, 1974)

Fonte: SATTLER (2007)

- Reservatório Térmico: A água que é aquecida no coletor solar deve ser armazenada de modo a se preservar contra perda de calor. Deste modo, na Figura 10 é demonstrado o funcionamento do sistema por termossifão.

Figura 10 – Aquecedor de água por termossifão.

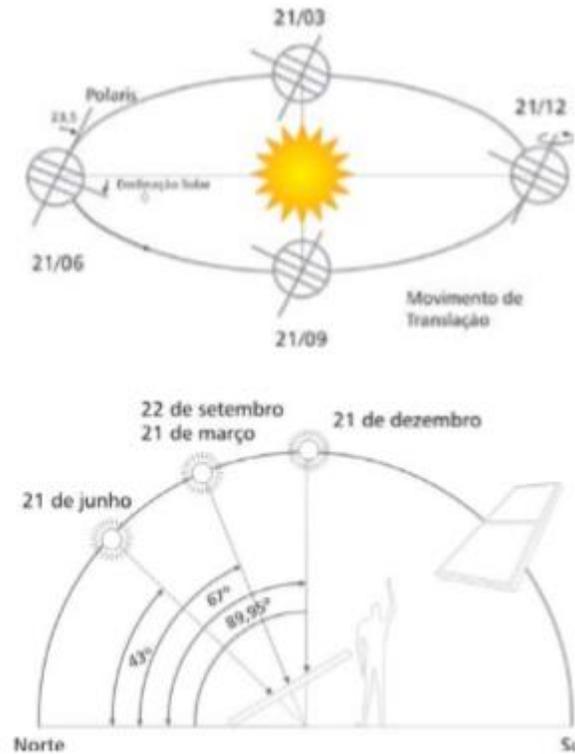


Fonte: SZOKOLAY (1978)

Para que haja um bom funcionamento do sistema, faz-se necessário o isolamento térmico deste reservatório. Tal isolamento pode ser feito utilizando papel, fibra vegetal ou poliestireno expandido e seu revestimento externo deve resistir às intempéries, estando o reservatório a, no mínimo, 30 cm acima da parte superior do coletor solar, de modo a garantir boa eficiência do sistema. (SATTLER, 2007; SZORKOLAY, 1978).

3. Posição do Coletor Solar: Para lidar com as formas diferentes de incidência solar ao longo do ano devido aos movimentos (translação e rotação) da Terra, deve-se atentar aos ângulos de inclinação com base na altitude solar e azimute e verificar, assim, a posição de melhor aproveitamento dos coletores (Figura 11).

Figura 11 – Movimento de translação solar e variação da altura solar.



Fonte: ABRAVA (1996)

Posicionando-se o painel solar de maneira perpendicular ao fluxo de radiação solar, este terá acesso à insolação máxima, o que gera uma quantidade maior de energia.

2.6 Economia no Consumo de Energia

Nos dias de hoje, principalmente meio a tantas oscilações econômicas e políticas, é essencial um plano de economia satisfatório. As pessoas buscam alternativas de obter uma

máxima redução de gastos, em essencial os desnecessários, para que possam ter uma condição de vida melhor, seja para lazer e luxo ou simplesmente para ter como se alimentar.

O uso de energia solar em residências chega como opção de anulação de boa parte dos gastos com energia elétrica. Sendo assim, o valor economizado pode funcionar como recurso financeiro para compra de suprimentos, equipamentos ou manutenção de gastos mensais. Tal economia pode ser atingida, porém, gastando-se um valor inicial de investimento.

2.6.1 Sistema de Compensação de Energia Elétrica

Este tipo de sistema é definido pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) como:

“Sistema no qual a energia ativa injetada por unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa.”
(RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 687, Art 2º, Parágrafo III)

É estranho falarmos de economia e ao mesmo tempo dizer que para obtê-la será necessário dispor de capital inicial. No entanto, o investimento feito por um sistema fotovoltaico on-grid retorna, em média, dentro de 6 a 10 anos, variando de acordo com a robustez do sistema, e a partir deste tempo a economia se converte em lucro, ou seja, trabalhará como uma fonte geradora de renda dentro da residência enquanto estiver ativo.

Isso acontece através do Sistema de Compensação de Energia Elétrica, que tem como função o fornecimento de Créditos de Energia gerados na concessionária se a quantidade de energia produzida for maior que a consumida, em unidades domésticas. O proprietário da residência, pode usar esses créditos como forma de abatimento do valor na fatura de energia elétrica ao término do mês, aplicando diretamente a economia proporcionada pelos sistemas solares, fornecedores de energia limpa. No entanto, para que tenha este recurso, é necessário que o beneficiário esteja ciente da Regulamentação da ANEEL para que saiba o que é legal dentro desta geração independente de energia.

2.6.1.1 Regulamentação da ANEEL para Geração Fotovoltaica

No Brasil, a responsável por controlar a geração, transmissão e distribuição de energia elétrica é a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Esta, em 2012, com o intuito de organizar melhor a geração independente, publicou a regulamentação (RESOLUÇÃO NORMATIVA N° 482, DE 17 DE ABRIL DE 2012) referente a mini (entre 75 kw e 5 mw) e microgeração (até 75 kw) de energia elétrica distribuída proveniente do uso da energia solar fotovoltaica. Já em 2015, trouxe uma atualização (RESOLUÇÃO NORMATIVA N° 687, DE 24 DE NOVEMBRO DE 2015) desta visando uma maior clareza das informações e melhor aproveitamento pelo consumidor. Neste mesmo ano, em pleno período de crise, mesmo com a economia brasileira recuando mais de 3%, no setor fotovoltaico em sistemas de micro e minigeração ocorreu um crescimento de 300% no país.

Após essa evolução, houve grande interesse dos brasileiros por possuir em suas casas sistemas desta natureza, visando geração de energia limpa e, principalmente, economia. No entanto, quem pode participar do sistema de compensação de créditos de energia elétrica são apenas os usuários conectados à determinada concessionária energética, não contemplando consumidores livres, ou seja, quem compra sua energia sem conexão com a distribuidora.

Além disso, para instalação e conexão do sistema fotovoltaico à rede elétrica, é necessária uma solicitação de acesso, que é realizada mediante registro formal da unidade geradora juntamente à distribuidora. Então, ocorre a emissão de parecer de acesso pela distribuidora dentro de 15 (microgeração) a 30 (minigeração) dias. Em seguida, o consumidor receberá as exigências para a instalação do seu sistema e, em até 120 dias a partir da emissão do parecer, poderá solicitar à distribuidora a vistoria para analisar a conformidade do sistema. Em até 7 dias após, é realizada uma vistoria para avaliação da instalação e, no prazo de 5 dias, a distribuidora gerará um relatório, cuja função é detectar pendências referentes ao sistema. Após regularização de possíveis pendências, o consumidor solicita uma nova vistoria pela concessionária, que por sua vez, caso a instalação esteja adequada, aprova o ponto de geração de energia e instala o relógio medidor bi-direcional, que tem como função avaliar a geração em excesso injetada na rede, bem como o que foi consumido de energia proveniente da rede pública de eletricidade. Os custos associados à instalação do novo relógio são de responsabilidade da unidade geradora e são de, aproximadamente, R\$ 400,00. A partir da aprovação do ponto, a concessionária torna-se

responsável por quaisquer encargos referentes à operação, manutenção ou quaisquer adequações inerentes ao sistema de medição.

A regulamentação permite a instalação de, no máximo, 5000 kWp, o que representa cerca de 35000m² de placas fotovoltaicas. Para grandes consumidores de energia elétrica, é também estabelecido pela regulamentação que o sistema fotovoltaico não pode possuir uma potência maior que a demanda contratada.

Os créditos podem ser usados como fator atenuante de valor da fatura da energia elétrica, em até 60 meses, de modo que a unidade geradora, agora regulamentada, irá utilizar o período de incidência solar para fornecer um montante de energia elétrica à rede pública. Após o horário de pico, na parte da noite, o consumidor irá utilizar da energia fornecida pela cidade.

Caso firmado em contrato, pode-se realizar a transferência dos créditos entre propriedades cuja fatura de energia elétrica proveniente da concessionária esteja sobre o mesmo CPF/CNPJ ou CPFs/CNPJs diferentes, podendo o proprietário da unidade geradora independente transferir tais créditos para alguma outra propriedade sua, ou até mesmo fazê-lo mediante participação de empresas, amigos, cooperativas ou consórcios, com o intuito de aumentar a geração e, conseqüentemente, dividir uma maior produção de energia elétrica. Para tal, é necessário que o consumidor defina a ordem de prioridade entre os participantes do sistema de compensação, sendo a maior delas a unidade geradora.

A energia produzida também pode ser compartilhada entre vizinhos e condôminos, em kWh, podendo ser usada para áreas comuns a eles ou compartilhada entre todas as faturas de energia elétrica enviadas pela concessionária. Desta forma, nesta presente abordagem acerca da viabilidade de uso de sistemas fotovoltaicos para conjuntos habitacionais, poderá haver o aproveitamento de energia entre casas.

Com relação à tributação associada à energia solar fotovoltaica, grande parte do território nacional já fornece isenção do ICMS, em respeito à revogação pelo Ministério da Fazenda, em 2015, do convênio responsável por orientar a tributação de energia injetada na rede de eletricidade pública. Desta forma, cabe a cada estado a cobrança desta tributação, sendo que os únicos estados a não isentar a energia solar de ICMS são o Amazonas, Paraná e Santa Catarina. Nestes estados, ocorre uma redução dos créditos, de acordo com a porcentagem do ICMS. Através da Lei nº 13.169, o Governo Federal decidiu isentar a energia solar injetada na rede de eletricidade pública o PIS e COFINS.

2.6.2 Financiamentos para Energia Solar no Brasil

Um Sistema Fotovoltaico tem uma durabilidade de cerca de 30 anos e, de modo a facilitar o acesso a essa tecnologia no Brasil, existem uma gama de financiamentos. Para redução expressiva da conta de energia elétrica, como visto em 2.5.1, é necessário um investimento. Na atual conjuntura do país, torna-se extremamente desafiante que a população de baixa renda consiga fazer tal investimento necessário para aquisição do sistema à vista. Contudo, existem programas de financiamento para as empresas que desejam trabalhar nessa tecnologia como:

- I. Caixa Econômica Federal: Tendo uma taxa de juros por volta de 1,95% ao mês, pode-se ter o investimento parcelado em até 20 anos e pode ser feito por portadores de CPF e/ou CNPJ.
- II. Santander: Com um parcelamento em até 5 anos e disponível para portadores de CPF e/ou CNPJ, a taxa de juros tem sua variação atrelada aos valores e prazos determinados pelo usuário do financiamento.
- III. BNDES: Financia até 80% do valor total do sistema, sob uma taxa de 7,5% de juros, ao ano.
- IV. Banco do Nordeste: Com uma linha de financiamento própria para sistemas de micro e minigeração (FNE Sol), abrange o Nordeste e nortes de Minas Gerais e Espírito Santo. Financia todo o custo do sistema, podendo ser parcelado em até 12 anos, com carência de 6 meses a 1 ano, e possibilidade de aceitar os equipamentos adquiridos pelo financiamento como garantia e utilização do valor economizado mensal no abatimento ou quitação das parcelas do financiamento.
- V. Sicredi: Com juros de 1% a 3% ao mês, parcela em até 5 anos.
- VI. Desenvolve SP: Com juros de 0,53% ao mês, parcela em até 10 anos.
- VII. Pronaf: Financia Sistemas Fotovoltaicos em até R\$ 300.000,00, com juros de 2,5% a 5,5% ao ano e parcelamento em até 3 anos.
- VIII. Banco do Brasil: Com parcelamento em até 6 anos e taxa de juros variando de acordo com o relacionamento do cliente com o banco, financia até R\$

1.000.000,00, limitado a 80% do valor total do projeto. Atende pessoas jurídicas do Distrito Federal, Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso.

- IX. Banco da Amazônia: Destinado a pessoas jurídicas com juros de 0,59% a 1,02% ao mês, parcela em até 12 anos, com 48 meses de carência.

3 ESTUDO DE CASO: CONJUNTO HABITACIONAL SUSTENTÁVEL

3.1 Casa Padrão do Conjunto

A fim de explicitar a viabilidade do estudo teórico anteriormente apresentado neste trabalho, bem como trazer soluções para os problemas gerados pela falta de economia de energia e sustentabilidade, é desenvolvido um estudo de caso, com o intuito de simular a existência de um conjunto habitacional teórico, cuja função é trazer qualidade de vida, redução de gastos e commodities.

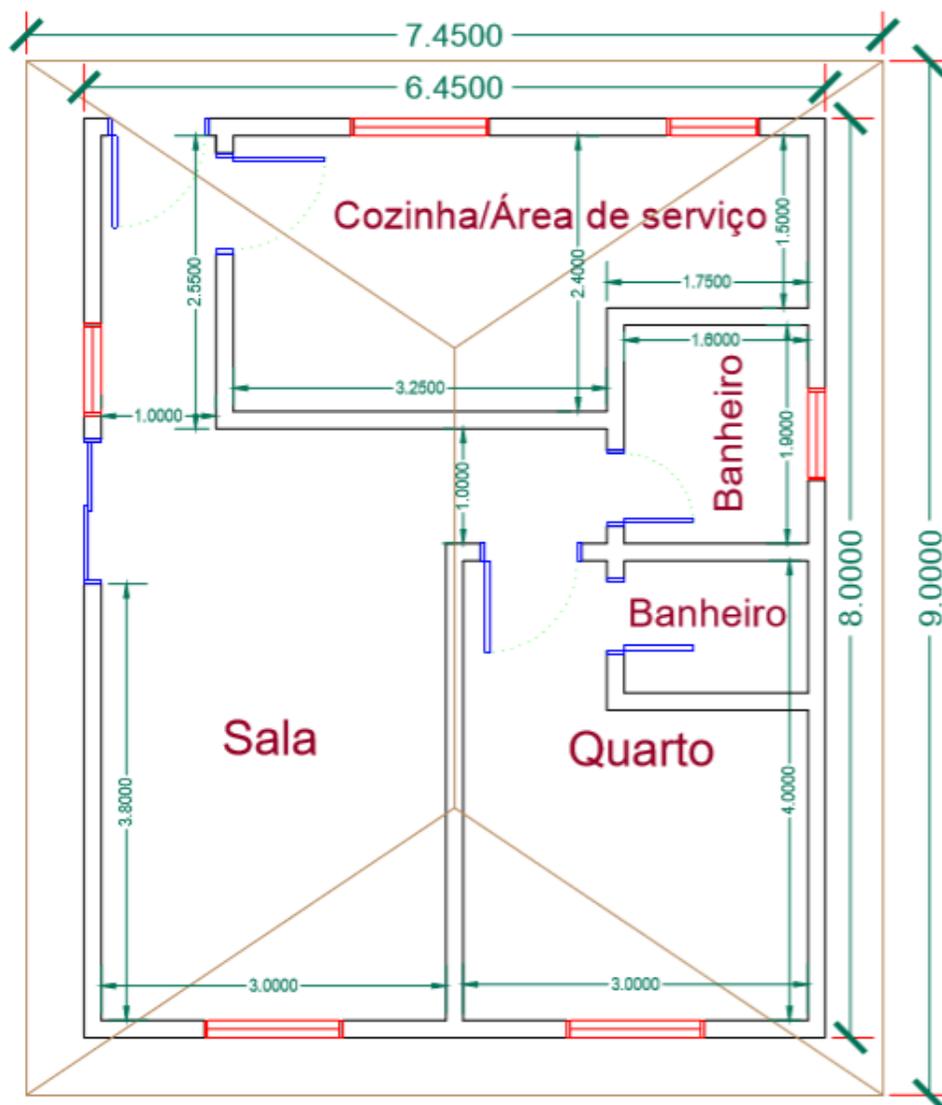
Para tal, foi desenvolvida uma casa padrão do conjunto, ou seja, uma casa que representa a estrutura e disposição de cada uma das diversas casas, presentes lado a lado em um mesmo lote. Desse modo, todas as definições e análises feitas individualmente da Casa Padrão podem ser ampliadas, de forma geral, ao Conjunto Habitacional Sustentável, nos possibilitando uma análise quantitativa de viabilidade econômica de toda a Habitação Social.

É feito um comparativo entre uma casa padrão inicial e uma casa padrão final, sendo a primeira uma residência convencional e a segunda uma com aplicação de um sistema fotovoltaico conectado à rede pública de eletricidade, um sistema de aquecimento de água por coletores solares e uma iluminação econômica com uso de lâmpadas LED. Em ambas moradias, é considerada a existência de 4 moradores.

3.1.1 Planta Baixa

De modo a ilustrar e mensurar as aplicações propostas e utilizando o software AutoCAD, foi desenvolvido o projeto completo da Casa Padrão (Figura 12), utilizando dados fictícios de endereço e documentação. A cidade em que a mesma e, conseqüentemente, o conjunto habitacional se localiza é em Ouro Preto, Minas Gerais.

Figura 13 – Planta Baixa da Casa Padrão do Conjunto



3.2 Iluminação Econômica

Boa parte do consumo de energia elétrica de uma residência destina-se à iluminação artificial gerada por lâmpadas. Neste contexto, um consumo maior é verificado por lâmpadas incandescentes, com potência de 100W. Para a nossa Casa Padrão serão necessárias duas lâmpadas pra sala, duas para cozinha/área de serviço, uma para o quarto, uma para cada banheiro e uma para o corredor. Utilizando-se lâmpadas incandescentes, este consumo seria de 700W por

um período de atividade médio de 6 horas por dia (em uma família de 4 pessoas), totalizando um consumo diário de 700 Wh ou 0,7 kWh.

A partir do uso de lâmpadas LEDs, conseguimos reduzir este consumo de forma notória, uma vez que sua potência é de cerca de 6W. Mesmo com um custo unitário maior (valor estimado de R\$ 13,00) que o da lâmpada incandescente, a longo prazo é altamente compensatório, tendo em vista a vida útil do componente.

3.3 Fornecimento de Água Quente

O fornecimento de água quente é um dos grandes “vilões” do alto consumo de energia elétrica gerado por residências. Isso se deve pelo uso de chuveiros elétricos, cuja potência é de cerca de 5500W, em um tempo total de uso médio de 1 hora por dia (em uma família de 4 pessoas).

Para eliminação deste consumo, é utilizado na nossa Casa Padrão (que possui dois ambientes para banho) um Sistema de Aquecimento de Água por Termossifão, o que nos garante o fornecimento de água quente sem que utilizemos da demanda do chuveiro elétrico. Ou seja, teremos uma expressiva redução de gastos de energia em relação a uma casa com dois chuveiros elétricos, que possuiria, para uma família de 4 pessoas, um consumo diário de cerca 11 kWh quando ligados ao mesmo tempo.

3.3.1 Dimensionamento

Desta forma, é feito um dimensionamento do sistema, considerando um volume de água aquecida a ser usada única e exclusivamente para banho. Estimamos, portanto, o volume de água consumido diariamente (para quatro pessoas), em Ouro Preto, Minas Gerais:

- Número de moradores = 4
- Vazão de chuveiro econômico = 4 litros/min
- Duração de um banho = 8 min
- Consumo = 4 pessoas x 4 litros/min x 8 min = 128 litros \cong 128 kg

- Temperatura desejada da água: $T_f = 40 \text{ }^\circ\text{C}$
- Temperatura ambiente (estimativa para média mensal do mês de dezembro/18): $T_i = 16 \text{ }^\circ\text{C}$
- Insolação (estimativa para média mensal do mês de dezembro/18): $H = 15,03 \text{ MJ/m}^2$
- Calor específico da água: $c = 4,186 \text{ kJ/kg }^\circ\text{C}$
- Eficiência do coletor (RISPOLI, 2018): $\eta = 50\%$

Sendo a eficiência de um coletor solar adquirida através da expressão:

$$\eta = Q/(H*A) \quad (\text{Equação 01})$$

onde,

η = eficiência do coletor;

Q = quantidade de energia térmica para atingir a temperatura desejada);

H = insolação sobre o painel;

A = área do painel solar para absorção da radiação proveniente do sol.

É possível obter a quantidade de energia térmica para aquecimento de $16 \text{ }^\circ\text{C}$ a $40 \text{ }^\circ\text{C}$ da água pela expressão:

$$Q = c * m * \Delta T \quad (\text{Equação 02})$$

onde,

c = calor específico da água;

m = massa da água; e

$\Delta T = T_f - T_i$, variação da temperatura.

Sendo assim:

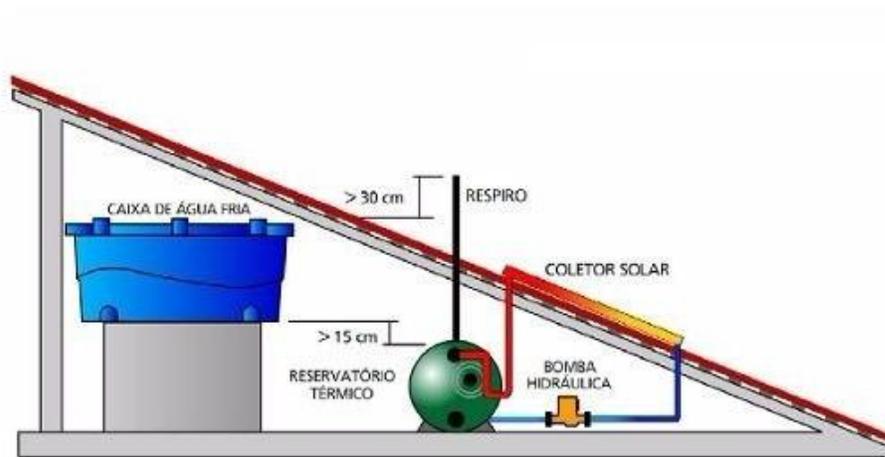
$$Q = (4186 \text{ J/kg}^\circ\text{C}) * (128 \text{ kg}) * (40 \text{ }^\circ\text{C} - 16 \text{ }^\circ\text{C}) = 12,9 \text{ MJ}$$

Relacionando a Equação 01 com a Equação 02 temos que:

$$A = (12,9 \text{ MJ}) / ((15,03 \text{ MJ/m}^2) * (0,5)) \cong 2 \text{ m}^2$$

Logo, será necessário um único coletor solar de área 2x1 m², como demonstra a Figura 14:

Figura 14 – Sistema de Aquecimento de Água por Coletor Solar.



Fonte: WG SOL (2018)

O custo estimado deste coletor no mercado é de R\$ 780,00 e do reservatório térmico de 200 litros R\$ 850,00, que é o ideal para a aplicação. O que totaliza um investimento inicial de R\$ 1.630,00.

3.4 Geração de Energia Elétrica

Para quantificarmos a geração de energia elétrica necessária para suprir o consumo associado aos componentes presentes na residência, faz-se necessária uma análise de consumo

geral. Com base nesta, é possível estimar a quantidade de módulos fotovoltaicos a serem instalados no sistema, juntamente com o inversor de frequência (com seu valor estimado de mercado de R\$ 810,00), e definir o custo do sistema e sua viabilidade econômica.

3.4.1 Dimensionamento

Na Casa Padrão, o consumo geral ocorrerá a partir do consumo associado às lâmpadas, geladeira e televisão. Com base nas especificações de mercado destes componentes, é estimado um valor de potência e de atividade média, que nos fornece o consumo. Desta forma, a Tabela 2 nos demonstra o consumo geral:

Tabela 2 – Relação de Consumo Diário da Casa Padrão do Conjunto

Componente	Quantidade	Potência (W)	Atividade Média (h/dia)	Consumo Diário (Wh)
Lâmpada LED	7	6	6	252
Geladeira	1	300	12	3600
Televisão	1	100	10	1000
				4852

Totalizando, em um período de 30 dias, um consumo mensal de 146 kWh, aproximadamente.

Na Figura 15, vemos as tarifas para moradias de baixa renda cobradas pela CEMIG.

Figura 15 – Tarifas de Consumo para Residências de Baixa Renda.

B1 - RESIDENCIAL BAIXA RENDA	 Consumo R\$/kWh	 Consumo R\$/kWh	 PATAMAR 1 Consumo R\$/kWh	 PATAMAR 2 Consumo R\$/kWh
Consumo mensal até 30 kWh (R\$/kWh)	0,18965	0,19315	0,20015	0,20715
Consumo mensal entre 31 até 100 kWh (R\$/kWh)	0,32511	0,33111	0,34311	0,35511
Consumo mensal entre 101 até 220 kWh (R\$/kWh)	0,48767	0,49667	0,51467	0,53267
Consumo mensal superior a 220 kWh (R\$/kWh)	0,54185	0,55185	0,57185	0,59185

Fonte: CEMIG

Logo, a fatura média mensal de energia elétrica da Casa Padrão do conjunto é:

$$\text{Custo Mensal} = (0,5 \text{ R\$/kWh}) * (146 \text{ kWh}) = \text{R\$ } 73,00$$

Sendo assim, para que o sistema fotovoltaico aplicado supra as necessidades de consumo da residência, a quantidade de módulos instalados, neste caso considerando potência nominal de 275W (com seu valor estimado de mercado de R\$ 749,00 e um período de incidência solar médio de 4h/dia em Ouro Preto – MG) será de:

$$\text{Quantidade de Módulos} = (\text{Consumo Diário}) / ((\text{Potência do Módulo}) * (\text{Período de Incidência Solar Local}))$$

$$\text{Quantidade de Módulos} = ((4852 \text{ Wh})/\text{dia}) / (275 \text{ W} * 4\text{h}/\text{dia}) = 4,41$$

Ou seja, serão necessários 5 módulos fotovoltaicos de potência 275W, totalizando 1375W. No entanto, um dos módulos será exigido em apenas 41% do seu rendimento, como indica o nosso resultado de quantidade de módulos. Logo, os outros 59% deste módulo farão com que nossa geração de energia elétrica seja maior que o nosso consumo. Sendo assim:

Quantidade de Módulos = (Consumo Diário) / ((Potência do Módulo) * (Período de Incidência Solar Local))

$$\text{Geração Diária} = (0.59) * (275 \text{ W} * 4\text{h}) = 162,25 \text{ Wh}$$

Desta forma, em um mês (30 dias) teremos:

$$\text{Geração Mensal} = (30) * (162,25 \text{ Wh}) = 4867,5 \text{ Wh ou } 4,9 \text{ kWh} \cong 5 \text{ kWh.}$$

“IV – o excedente de energia é a diferença positiva entre a energia injetada e a consumida, exceto para o caso de empreendimentos de múltiplas unidades consumidoras, em que o excedente é igual à energia injetada; (Redação dada pela REN ANEEL 687, de 24.11.2015.)”

Como nosso consumo mensal é de, aproximadamente, 146 kWh, é considerada uma tarifa de 0,5 R\$/kWh. Como visto anteriormente, a casa deixará de pagar R\$ 73,00 mensalmente. Logo, a Casa Padrão gerará uma rentabilidade mensal de:

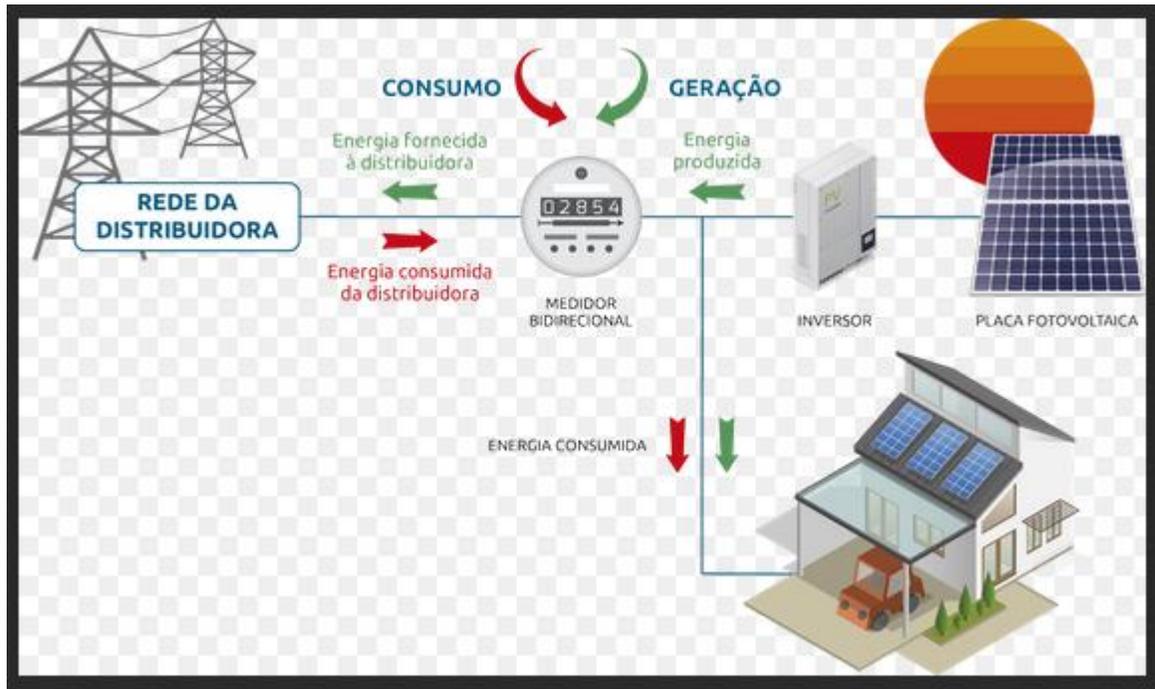
$$\text{Rentabilidade Mensal} = (\text{R\$ } 73,00) + ((0,5 \text{ R\$/kWh}) * (5 \text{ kWh})) = \text{R\$ } 75,50$$

Finalmente, a configuração do nosso sistema terá o seguinte custo geral:

$$\text{Custo geral do Sistema} = (\text{Valor do Inversor de Frequência}) + (\text{Valor do Arranjo de Módulos}) = (\text{R\$ } 810,00) + (5 * (\text{R\$ } 749)) = \text{R\$ } 4.555,00.$$

A seguir, na Figura 16, a relação entre geração e consumo de energia elétrica:

Figura 16 – Geração e Consumo de Energia Elétrica.



Fonte: INOVACARE SOLAR (2018)

3.5 Resultados

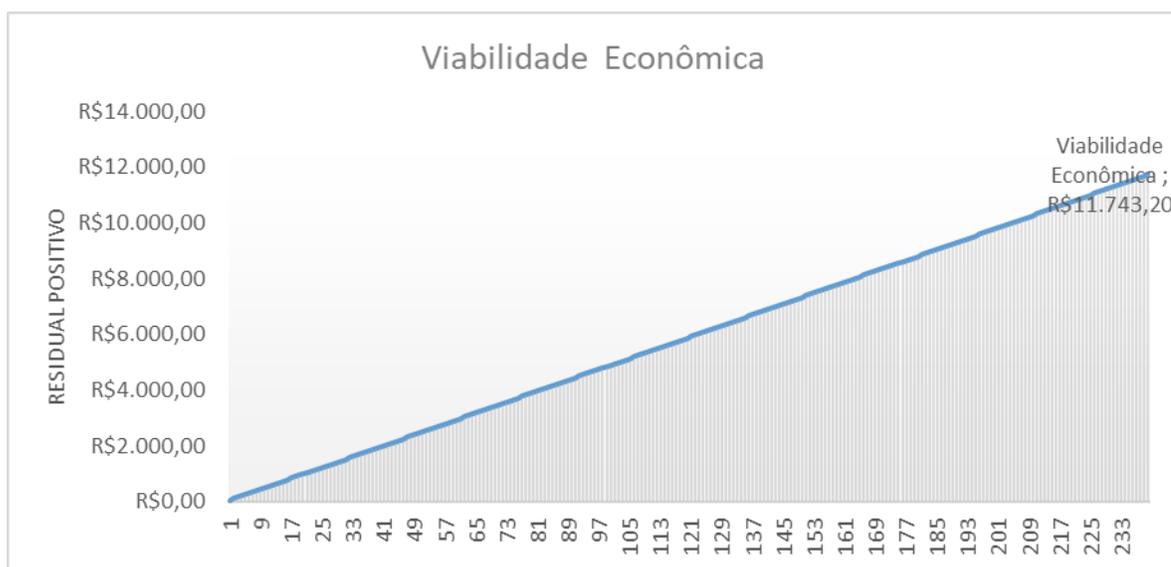
É percebida, portanto, uma rentabilidade, o que explicita a sustentabilidade e rentabilidade do sistema, que, considerando os valores de investimento e de economia, verifica-se sua viabilidade econômica.

- Investimento do Sistema de Iluminação Econômica: R\$ 70,00
- Investimento do Sistema de Aquecimento por Termossifão: R\$ 1.630,00;
- Investimento do Sistema Fotovoltaico de Geração Elétrica: R\$ 4.555,00;
- Investimento Total: R\$ 6.255,00.

Considerando este valor sendo financiado pela Caixa Econômica Federal, observa-se um custo mensal com juros de, aproximadamente, R\$ 0,51, e com parcelas de R\$ 26,06, em 20 anos (Figura 17). Subtraindo ambos valores na rentabilidade mensal gerada, é percebido um residual positivo mensal de R\$ 48,93, ou seja, cada proprietário do conjunto habitacional, além de possuir

um sistema de aquecimento de água e um sistema fotovoltaico acoplados a sua residência, terá este valor de economia mensal, considerando o valor monetário dos créditos como economia. Ao término deste financiamento, cada casa do conjunto habitacional terá economizado R\$ 11.743,20, valor que pode garantir, anualmente, uma cesta de Natal à família moradora no valor de R\$ 587,16, ou aproximadamente R\$ 50,00 em mantimentos, todo mês.

Figura 17 – Viabilidade Econômica para a Casa Padrão do Conjunto



Imaginando um conjunto habitacional de 20 casas como a estudada neste trabalho, o mesmo representará a economia de R\$ 234.864,00 de energia elétrica ou a entrega de 400 cestas de Natal às famílias. Vale ressaltar que deste valor R\$ 12.000 são de créditos na concessionária de energia elétrica utilizáveis por todo o conjunto, que apenas é acessível em kWh, ou seja, o conjunto produzirá, ao término dos 20 anos, 24 MWh de créditos.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

4.1 Conclusão

Portanto, é possível concluir que os objetivos iniciais do trabalho foram satisfeitos, uma vez que foi criado um modelo de economia de energia elétrica e bem-estar para moradores de

conjuntos habitacionais, de modo a enfatizar a sustentabilidade e rentabilidade geradas pela utilização de sistemas fotovoltaicos e de aquecimento de água. Através do estudo de caso, pôde-se perceber que a energia solar aparece como uma grande alternativa, não só para a sustentabilidade energética, mas também para um possível fornecimento de suprimentos, o que impactaria numa redução do problema social da fome.

4.2 Recomendações para Trabalhos Futuros

A Automação Predial poderá representar melhores resultados que os aqui apresentados, uma vez que pode fazer o controle de todos os recursos energéticos, bem como sua quantificação e manipulação. Uma outra alternativa de economia recomendada é a da permacultura, que traria benefícios como climatização de ambientes e poderia tornar sustentáveis, também, as construções das casas do conjunto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

SATTLER, M. A. **Habitacões de baixo custo mais sustentáveis: a Casa Alvorada e o Centro Experimental de Tecnologias Habitacionais Sustentáveis**. Porto Alegre. Coleção HABITARE, 2007.

FADIGAS, E. A. F. A. **Energia Solar Fotovoltaica: Fundamentos, Conversão e Viabilidade técnico-econômica**. Disponível em: < https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/56337/mod_resource/content/2/Apostila_solar.pdf >. Acesso em 02 mai 2018.

BARON, C. M. P. **A Produção da Habitação e os Conjuntos Habitacionais dos Institutos de Aposentadorias e Pensões – IAPs**. 2011. Disponível em: < <https://pt.slideshare.net/CelcianeSilva/conjunto-habitacional-no-brasil> >. Acesso em: 07 jul 2018.

ROCHA, F. A.; OLIVEIRA, E. **Os Conjuntos Habitacionais do Minha Casa Minha Vida em Vitória da Conquista - Ba: O Caso da Vila Bonita e Vila do Sul**. 2013. Disponível em: < http://periodicos.uesb.br/index.php/coloquiobaiano/article/viewFile/2834/pdf_81 >. Acesso em 07 jul 2018.

BONDUKI, N. G. **Origens da habitação social no Brasil**. 1994. Disponível em: < <http://analisesocial.ics.ul.pt/documentos/1223377539C9uKS3pp5Cc74XT8.pdf> >. Acesso em 07 jul 2018.

GOUVEIA, R. **Energia Elétrica**. Disponível em: < <https://www.todamateria.com.br/energia-eletrica/> >. Acesso em 10 ago 2018.

A GERADORA. **Tipos e fontes de geração de energia elétrica**. 2018. Disponível em: < <https://www.ageradora.com.br/tipos-e-fontes-de-geracao-de-energia-eletrica/> >. Acesso em 17 ago 2018.

PORTAL SOLAR. **Sistema Fotovoltaico: Como Funciona a Energia Solar.** Disponível em : < <https://www.portalsolar.com.br/sistema-fotovoltaico--como-funciona.html> >. Acesso em 02 jun 2018.

PORTAL SOLAR. **A Regulamentação dos Créditos de Energia Solar.** Disponível em : < https://www.portalsolar.com.br/a_regulamentacao_dos_creditos_de_energia.html >. Acesso em 01 dez 2018.

INOVACARE SOLAR. **Tecnologia.** Disponível em: < <http://www.inovacare.solar/tecnologia> >. Acesso em 10 dez 2018.

WG SOL. **Dicas para instalação do aquecedor solar.** Disponível em : < <https://wgsol.com.br/dicas-para-instalacao-do-aquecedor-solar/> >. Acesso em 10 dez 2018.

CICLO VIVO. **Conheça 10 linhas de financiamento para energia solar no Brasil.** Disponível em: < <https://ciclovivo.com.br/planeta/energia/conheca-10-linhas-de-financiamento-para-energia-solar-no-brasil/> >. Acesso em 02 dez 2018.

ANEEL. **Resolução Normativa N°482, de 17 de abril de 2012.** Disponível em: < <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/bren2012482.pdf> >. Acesso em 10 nov 2018.

ANEEL. **Resolução Normativa N°687, de 24 de novembro de 2015.** Disponível em: < <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf> >. Acesso em 10 nov 2018.

W28 ENGENHARIA. **O que é custo de disponibilidade?.** 2018. Disponível em: < www.w28engenharia.com.br/o-que-e-custo-de-disponibilidade/ >. Acesso em 06 dez 2018.

CEMIG. **Requisitos para a Conexão de Acessantes ao Sistema de Distribuição CEMIG D – Conexão em Baixa Tensão.** Disponível em: < <http://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/Clientes/Documents/Normas%20Técnicas/ND.5.30.pdf> >. Acesso em 06 dez 2018.

CEMIG. Comercialização de Energia Elétrica por Meio de Leilão ou por Operação Direta.

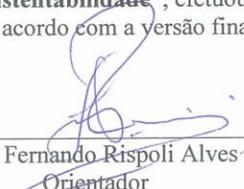
Disponível em: < http://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/corporativo/Documents/Superintendência_Juridica/ANC-002-2018.pdf >. Acesso em 06 dez 2018.

CEMIG. Valores de Tarifa e Serviços. Disponível em: < http://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/Paginas/valores_de_tarifa_e_servicos.aspx >. Acesso em 06 dez 2018.

BLUE SOL. Financiamento de Energia Solar: As 9 Melhores Linhas para Você Obter o Melhor Retorno Financeiro com o seu Sistema. Disponível em: < <https://blog.bluesol.com.br/financiamento-de-energia-solar/> >. Acesso em 06 dez 2018.

BLUE SOL. Tipos de Energia Solar: Entenda de Uma Vez as Diferenças entre Fotovoltaica e Fototérmica. Disponível em: < <https://blog.bluesol.com.br/tipos-de-energia-solar/> >. Acesso em 04 dez 2018.

Certifico que o aluno **Raphael Augusto dos Santos Ribeiro**, autor do trabalho de conclusão de curso intitulado “**Sistemas de Energia Solar em Conjuntos Habitacionais com Ênfase em Sustentabilidade**”, efetuou as correções sugeridas pela banca examinadora e que estou de acordo com a versão final do trabalho.



Luiz Fernando Rispoli Alves
Orientador

Ouro Preto, 20 de dezembro de 2018