

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE FORMIGA – UNIFOR- MG
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
MARCELO ANGELI DA SILVA

CARACTERIZAÇÃO DE UM SISTEMA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA
EM UMA RESIDÊNCIA NO MUNICÍPIO DE FORMIGA - MG

FORMIGA – MG
2015

MARCELO ANGELI DA SILVA

CARACTERIZAÇÃO DE UM SISTEMA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA EM
UMA RESIDÊNCIA NO MUNICÍPIO DE FORMIGA - MG

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Civil do UNIFOR-MG, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Michael Silveira Thebaldi.

Formiga – MG

2015

S586 Silva, Marcelo Angeli da.
Caracterização de um sistema de energia solar fotovoltaica em uma
residência no município de Formiga-MG / Marcelo Angeli da Silva. –
2015.

48 f.

Orientador: Michael Silveira Thebaldi.

Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - Centro
Universitário de Formiga–UNIFOR-MG, Formiga, 2015.

1. Energia solar. 2. Placas solares fotovoltaicas. 3. Análise econômica.
I. Título.

CDD 621.47

MARCELO ANGELI DA SILVA

CARACTERIZAÇÃO DE UM SISTEMA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA EM
UMA RESIDÊNCIA NO MUNICÍPIO DE FORMIGA - MG

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
curso de Engenharia Civil do UNIFOR-MG,
como requisito parcial para obtenção do título de
bacharel em Engenharia Civil.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Michael Silveira Thebaldi
Orientador



Prof. Esp. Samuel da Silva Ribeiro
UNIFOR-MG



Prof. Dr. Alex Magalhães de Almeida
UNIFOR-MG

Formiga, 09 de novembro de 2015.

Dedico este trabalho aos meus pais e irmãs,
Aos meus familiares,
À minha amiga e namorada, Amanda Carolina,
Ao meu orientador Prof. Dr. Michael Silveira Thebaldi.

RESUMO

A grande preocupação com a preservação do meio ambiente, o aumento da demanda energética, e a possível escassez na oferta de combustíveis fósseis estão levando a comunidade científica a pesquisar e desenvolver novas tecnologias para aprimorar a utilização de fontes alternativas de energia, menos poluentes e que minimizam impactos ambientais. A energia solar se destaca por possibilitar a geração de energia de forma limpa e descentralizada. O presente trabalho destaca a utilização da energia proveniente do Sol transformada em energia elétrica, através de painéis solares fotovoltaicos aplicados no setor de consumo residencial. Assim, o objetivo do trabalho é avaliar tecnicamente e economicamente a instalação de um sistema fotovoltaico em uma residência na cidade de Formiga/MG, comparando orçamentos de empresas especializadas. Após avaliações, constatou-se que o município de Formiga – MG apresenta uma radiação solar média diária de 4,16 kW/m², e que, a energia elétrica que um dos sistemas fotovoltaicos avaliados seria capaz de gerar é de 359,30 kWh/mês, porém, o investimento não apresenta *payback* descontado dentro do período de vida útil do sistema de 25 anos.

Palavras-chave: Energia Solar. Placas Solares Fotovoltaicas. Análise Econômica.

ABSTRACT

The major concern with the preservation of the environment, increased energy demand and possible shortages in the supply of fossil fuels are driving the scientific community to research and develop new technologies to improve the use of alternative energy sources, less polluting and minimize environmental impacts. Solar energy stands out by allowing the generation of clean energy and decentralized manner. This work highlights the use of energy from the sun converted into electricity through photovoltaic solar panels applied in the residential sector consumption. The objective of the work is technically and economically evaluate the installation of a PV system in a residence in Formiga / MG, comparing quotes from specialized companies. Following reviews, it was found that the city of Formiga - MG has an average daily solar radiation of 4.16 kW / m², and that the electric power of the evaluated photovoltaic systems would be able to generate is 359.30 kWh / month, however, the investment has not discounted payback within the lifetime of the 25-year system.

Keywords: Solar Energy. Solar Photovoltaic plates. Economic Analysis.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Hierarquia fotovoltaica.	23
Figura 2 – Montagem a superfície.	25
Figura 3 – Inversor de corrente elétrica utilizado em sistemas fotovoltaicos.	26
Figura 4 - Relógio Medidor Bidirecional.	27
Figura 5 - Esquema de um sistema fotovoltaico autônomo.....	28
Figura 6 - Esquema de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica convencional.....	29
Figura 7 – Fachada da residência em estudo, localizada em Formiga – MG.	33
Gráfico 1 – Oferta interna de energia elétrica, por fonte, no Brasil em 2010.	17
Gráfico 2 – Panorama da energia renovável no Brasil e no mundo.	18
Gráfico 3 – Relação dos valores cobrados em uma conta de luz de R\$100,00 em 2007.	31
Gráfico 4 – Investimento necessário para implantação de painéis fotovoltaicos em função da demanda de energia requerida e da incidência da radiação solar local.	32
Gráfico 5 - Histórico de consumo de energia elétrica na residência.	37
Gráfico 6 - Média diária de radiação solar no município de Formiga - MG.....	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Orçamentos recebidos para sistema fotovoltaico de energia a ser instalado em uma residência no município de Formiga – MG.	38
Tabela 2- Energia diária e mensal gerada por placa, em cada um dos sistemas fotovoltaicos apresentados.....	39
Tabela 3 - Energia mensal gerada pelo sistema solar fotovoltaico.....	40
Tabela 4 – Fluxo de caixa de investimento, avaliado até o quinto ano.	41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL: Agência Nacional de Energia Elétrica.

CA: Corrente Alternada.

CC: Corrente Contínua.

CEMIG: Companhia Energética de Minas Gerais.

CEPEL: Centro de Pesquisas de Energia Elétrica.

CONFEA: Conselho Federal de Engenharia e Agronomia.

CREA: Conselho Regional de Engenharia e Agronomia.

CRESESB: Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito.

GT – GDSF: Grupo de Trabalho de Geração Distribuída com Sistemas Fotovoltaicos.

GW: Gigawatts.

GWp: Gigawatts de Potência.

Hz: Hertz.

INMET: Instituto Nacional de Meteorologia

kWh: Quilowatts hora.

MCT: Ministério de Ciência e Tecnologia.

MME: Ministério de Minas e Energia.

MWp: Megawatts de Potência.

TIR: Taxa Interna de Retorno.

W: Watts.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	12
2.1 Objetivo geral.....	12
2.2 Objetivos específicos.....	12
3 JUSTIFICATIVA	13
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
4.1 Construção civil no Brasil.....	14
4.1.2 Energia na construção civil.....	15
4.2 Energia renovável	16
4.2.1 Energia solar	19
4.2.2 Células fotovoltaicas	20
4.2.2.1 Histórico	20
4.2.2.2 Tecnologia	20
4.2.2.3 Funcionamento	21
4.2.2.4 Realidade brasileira.....	22
4.2.3 Sistemas fotovoltaicos de geração de energia elétrica	23
4.2.3.1 Painéis fotovoltaicos	23
4.2.3.2 Inversores de corrente elétrica	26
4.2.3.3 Relógio medidor bidirecional	27
4.2.5 Inclusão da energia solar fotovoltaica na legislação brasileira	29
4.2.6 Custos do sistema fotovoltaico.....	30
5 MATERIAL E MÉTODOS	33
5.1 Área de estudo.....	33
5.2 Coleta e utilização de dados.....	33
5.2.2 Dados climáticos	34
5.2.3 Estimativa de custos	34
5.3 Geração de energia	35
5.4 <i>Payback</i> descontado	35
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
6.1 Avaliação energética.....	37

6.2 Composição dos equipamentos e investimento	37
6.3 Radiação solar necessária	38
6.4 Avaliação de energia a ser gerada.....	39
6.5 Análise financeira	40
7 CONCLUSÃO.....	42
REFERÊNCIAS	43
ANEXO A – Tabela 5 – Fluxo de caixa de investimento em sistema de geração de energia fotovoltaica para uma residência localizada no município de Formiga - MG. ...	48

1 INTRODUÇÃO

Questões relacionadas à segurança energética dos países, além do aumento das preocupações com o meio ambiente são fatores que influenciam os investimentos em fontes alternativas de energia e em tecnologias que minimizem os efeitos das alterações climáticas.

O aumento dos preços das fontes não renováveis de energia, como: petróleo, gás carvão, aliado a uma possível escassez futura desses recursos, proporciona um forte estímulo para a substituição dos convencionais meios de produção e de consumo energético por outras fontes alternativas.

Assim, em face de uma provável crise energética mundial, expandiu-se o uso de tecnologias limpas como fonte de energia, destacando entre elas a energia solar.

Deste modo, o presente trabalho destaca a utilização da energia proveniente do Sol transformada em energia elétrica, através de painéis solares fotovoltaicos aplicados no setor de consumo residencial.

2OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Caracterizar um sistema de energia solar fotovoltaica em uma residência no município de Formiga – Minas Gerais, analisando através de orçamentos de empresas capacitadas qual sistema solar fotovoltaico oferece um melhor custo-benefício.

2.2 Objetivos específicos

- ✓ Caracterizar os componentes empregados para a montagem de um sistema fotovoltaico.
- ✓ Avaliar a demanda necessária de energia para uma residência.
- ✓ Conhecer a radiação solar média diária na cidade de Formiga/MG.
- ✓ Energia a ser gerada pelo sistema solar fotovoltaico.
- ✓ Calcular o valor do *Payback* descontado do investimento;
- ✓ Analisar a viabilidade econômica da implantação de um sistema de energia solar em uma residência.

3JUSTIFICATIVA

Devido à crescente utilização dos recursos naturais, principalmente dos combustíveis fósseis para o fornecimento de energia elétrica, tornou-se imprescindível a procura por soluções ecologicamente corretas e efetivas para gradual substituição das fontes convencionais de energia. A geração de energia elétrica produzida por painéis solares instalados em residências e afins apresenta-se como uma alternativa promissora a médio e longo prazo. Podendo um dia substituir parcialmente o uso dos recursos não renováveis.

4REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Construção civil no Brasil

Construção Civil é o nome dado a todo tipo de construção que interaja com uma comunidade, cidade ou população. Antigamente a Engenharia era dividida em duas áreas basicamente: civil e militar. Com o passar do tempo essa divisão foi se desfazendo e hoje nos referimos a tal como Construção Civil que significa a participação de engenheiros e arquitetos civis em conjunto com profissionais de outras áreas de conhecimento(MIKAIL,2013).

As atividades da Engenharia Civil deram início no Brasil de forma não regulamentada no período colonial com a construção de fortificações e igrejas (MORAES, 2005).

De acordo com Telles (1993), durante esse período atuavam duas categorias de profissionais na área de engenharia: os oficiais Engenheiros e os Mestres Pedreiros. Os primeiros eram oficiais do Exército Português, com o objetivo principal de executar obras de engenharia (alguns nem tinham um curso regular na área, mas eram os únicos que tinham algum conhecimento sistemático a respeito), e os Mestres, também chamados mestres de risco, eram os que projetavam e construíam as edificações em geral, e seus conhecimentos eram passados de geração em geração, porém, sem nenhum conhecimento científico.

No que se refere à evolução dos métodos construtivos, pode-se considerar a chegada dos portugueses ao Brasil como um momento marcante. Pouco depois da vinda da família real portuguesa para o Brasil, implantaram-se as primeiras escolas técnicas. (SOARES, 2013).

Segundo o mesmo autor (2013), até cerca de 1900 não existia fiscalização legal do exercício da profissão de engenharia. No entanto, devido à pressão exercida sobre o Governo, foram elaboradas leis que visavam controlar o até então livre exercício profissional. Em 1933, fundou-se o organismo que ainda hoje regula a profissão de engenharia civil, o Sistema CONFEA / CREA.

Entre as décadas de 1950 a 1970, o setor de construção civil obteve um crescimento enorme em nível mundial. O grande aumento da produtividade industrial obrigou ao desenvolvimento de uma enorme rede de infraestruturas. Passados esses anos, seguiu-se um período de recessão, estagnando o setor da construção civil. Após esse breve período de tempo iniciou-se um novo ciclo de desenvolvimento nos setores energéticos, siderúrgico, comunicações, transportes, saneamentos entre outros (SOARES, 2013).

A Construção Civil é nos dias atuais um dos maiores fenômenos de representatividade no Brasil, com o crescimento de cidades-polo, por exemplo, observamos uma migração de

moradores de cidades pequenas vizinhas gerando assim uma grande necessidade de construção de novas estruturas urbanas (MIKAIL, 2013).

O atual período da Construção Civil no Brasil deixa entusiasmados os profissionais dessa área, com a atual crescente parcela da Classe C aliada a programas desenvolvidos pelo governo federal, como por exemplo, o projeto Minha Casa Minha Vida, surge uma grande oportunidade para o setor (MIKAIL, 2013).

Apesar dos grandes avanços tecnológicos, a construção civil ainda é uma das atividades que mais consome recursos naturais, interferindo na natureza. O setor beneficia-se dos recursos naturais na obtenção da matéria prima, e gera enormes quantidades de resíduos sendo descartados, muita das vezes, de maneira inadequada (VIEIRA, 2006).

O papel da Construção Civil está diretamente ligado com o bem-estar da população, abrangendo também princípios de cidadania como inclusão social e divisão entre espaços particulares e públicos (MIKAIL, 2013).

4.1.2 Energia na construção civil

Durante toda a sua vida, o homem consome energia em tudo o que faz. Seja durante as suas atividades diárias ou mesmo dormindo. Desde o início dos tempos, quando aprendeu a viver em comunidade, o homem tem utilizado os mais diversos tipos de energia para facilitar seu trabalho, tornando-o mais fácil ou mais rápido. Para isto ele se valeu das mais diversas fontes de energia: fogo, água, tração animal, vapor, petróleo, etc.

Com o passar do tempo, adquiriu-se conhecimento e técnica e criaram-se os mais variados tipos de tecnologia para realizar o trabalho que antes era puramente braçal. Assim, novos inventos e criações surgiram, mas sempre dependentes de algum tipo de energia para o seu funcionamento (ROSA; TIAGO FILHO, 2007).

Isaac Newton nomeou força como “qualquer agente capaz de produzir o movimento dos corpos” (VECCHIA, 2010). Já a palavra energia surgiu pela primeira vez em 1807, quando o médico e físico Thomas Young a sugeriu. A opção de Young pelo termo energia está inteiramente relacionada com o seu entendimento de que a energia informa a capacidade de um corpo realizar algum tipo de trabalho mecânico. Para a física, energia é a capacidade de produzir trabalho e transferir calor ou alterar a matéria. (VECCHIA, 2010).

A eletricidade tem presença marcante no desenvolvimento da sociedade, evidenciado também, se comparado a evolução do mercado de energia elétrica junto a outras fontes energéticas (EPE, 2012).

Ao longo do tempo, a energia tornou-se indispensável para o desenvolvimento social, econômico e cultural de uma sociedade. Fontes não renováveis como o petróleo e seus derivados têm sido consumidas sem a perspectiva de que são fontes finitas.

Com as primeiras crises no setor energético o mundo passou-se a questionar a possível falta de combustíveis para suprir suas necessidades energéticas. Durante esse período surgiram questões sobre os impactos ambientais negativos gerados na natureza através do homem e a utilização dos recursos naturais (RIBEIRO, 2012).

Diante das questões relativas à energia, iniciou-se então uma corrida pelo desenvolvimento de tecnologias que viabilizem a exploração de energia ditas limpas.

4.2 Energia renovável

A multiplicidade de aplicações e comodidade da utilização da energia elétrica tornaram-na um recurso essencial à sobrevivência do homem e indispensável ao desenvolvimento socioeconômico das nações (ANEEL, 2008).

O homem utiliza várias formas de energia para suprir as suas necessidades: combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás), energia geotérmica, nuclear, hidroelétrica, biomassa, eólica, solar, entre outras.

Hoje, preocupamo-nos cada vez mais em estudar e descobrir novas fontes de energia, que possam ser utilizadas degradando o mínimo possível o ambiente ao nosso redor. Com este tipo de consciência, estudou-se e desenvolveu-se a utilização de energias alternativas dos mais variados tipos (ROSA; TIAGO FILHO, 2007).

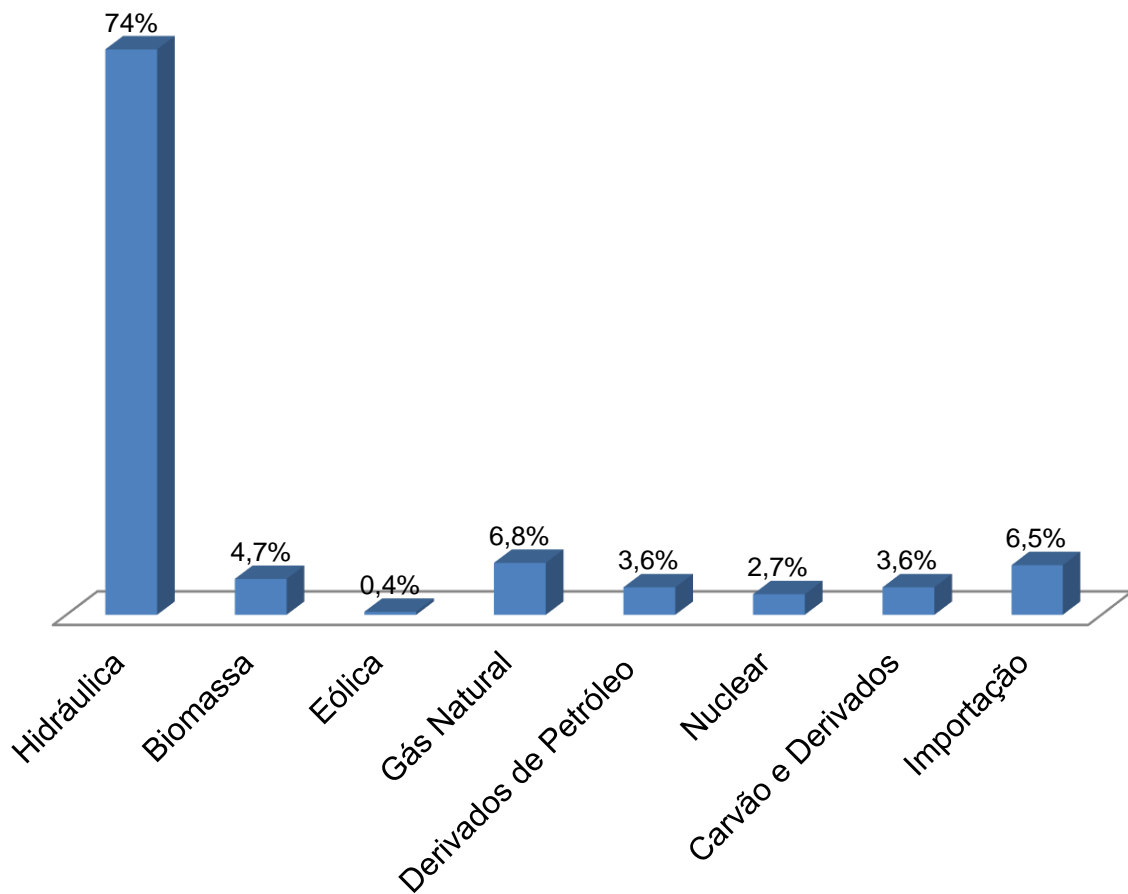
Dentre as formas de geração de energia o sistema elétrico brasileiro destaca-se por ser composto basicamente por usinas hidrelétricas, buscando atualmente outras fontes de energia. A demanda por eletricidade no Brasil quadruplicou em quatro décadas levando o país a avaliar fatores relevantes para produção de eletricidade (LUCENA; VIEIRA, 2012).

Diante do alto crescimento econômico que o Brasil vem promovendo nos últimos anos torna-se cada vez mais necessária a ampliação da matriz energética do país (GUERRA, 2013).

As fontes de energia que a natureza é incapaz de repor em um curto espaço de tempo e que são compatíveis com o ser humano são avaliadas não renováveis (VECCHIA, 2010), são estas o petróleo, o carvão mineral e o gás natural. Essas reservas, que levaram milhões de anos para se formar a partir da decomposição de matéria orgânica, um dia irão se esgotar (BRASIL, 2002).

Além do grande potencial na produção de combustíveis fósseis, o Brasil possui a maior bacia hidrográfica do mundo, o que reflete na produção de energia elétrica, proveniente, na sua maior parte, de usinas hidrelétricas. Em 2010, a geração interna hidráulica respondia por 74% da oferta interna do país, conforme mostra o Gráfico 1 (MME, 2011).

Gráfico 1– Oferta interna de energia elétrica, por fonte, no Brasil em 2010.



Fonte: MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (2011).

No setor elétrico, o incremento de capacidade, pelas fontes convencionais de geração de energia vem atravessando várias dificuldades, por isso tem se intensificado o uso das fontes renováveis para a geração de energia elétrica como energia eólica, solar dentre outras (GUERRA, 2013).

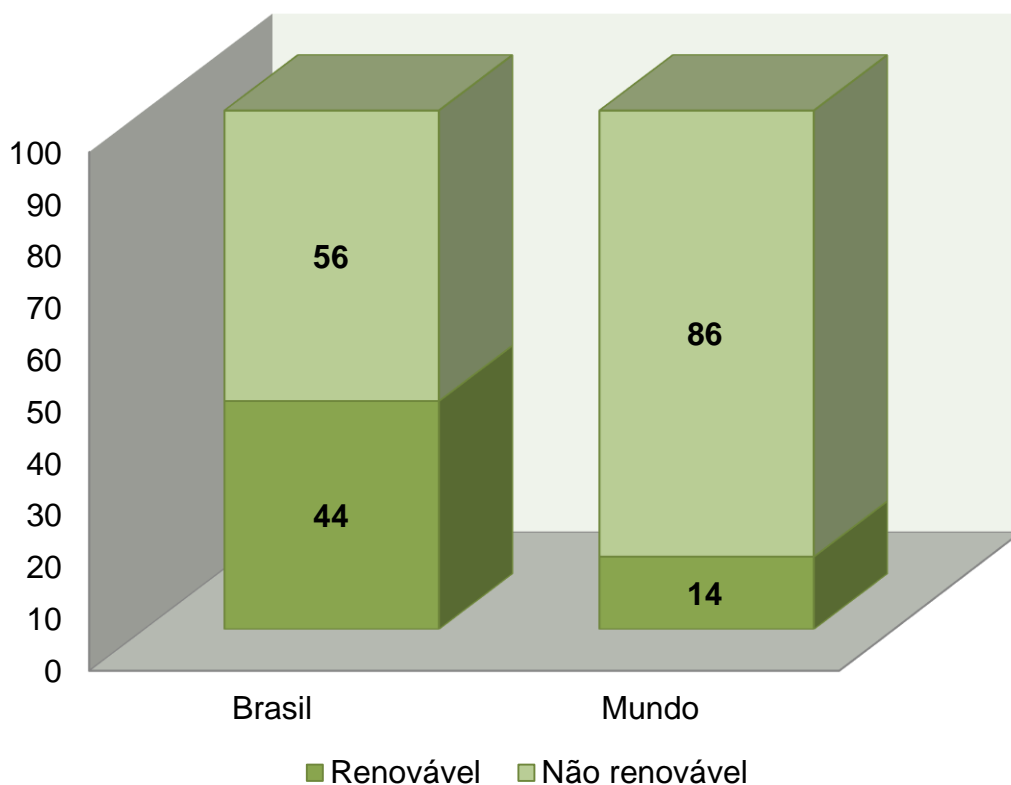
Segundo a definição de Vecchia (2010), fontes primárias de energia são renováveis quando as condições naturais proporcionam sua reposição em curto espaço de tempo.

A energia se chama renovável quando é permanente e contínua – como a solar; a eólica e a hidráulica – ou quando se pode renovar – como a da biomassa (por exemplo, a lenha, o bagaço de cana e o álcool) (BRASIL, 2002).

A produção de energia elétrica a partir de fontes renováveis é uma eficiente solução para atender a crescente demanda por energia elétrica de forma sustentável. Com a evolução tecnológica constada nos últimos anos, esse meio de produção está cada vez mais viável e conta com uma grande variedade de meios de geração e recursos utilizados (MELO, 2014).

Apesar de o Brasil estar atrasado, na questão de geração de energia renovável e investimento em tecnologias consideradas ambientalmente corretas, com relação a países desenvolvidos e com sistemas de geração de energia limpa já instalados e operantes, como por exemplo, Alemanha, Espanha e Itália, o país se encontra em uma situação favorável em relação à média mundial no que diz respeito a energia renovável. Esse panorama é apresentado pelo Gráfico 2.

Gráfico 2– Panorama da energia renovável no Brasil e no mundo.



Fonte: Romário (2005).

4.2.1 Energia solar

Responsável pelo desenvolvimento e manutenção da vida na Terra, o Sol pode ser visto, de acordo com nossa escala de tempo e com os atuais níveis de consumo energético, como uma fonte de energia inesgotável (GALDINO et al., 2004).

Vivemos rotineiramente em contato com a fonte mais expressiva de energia de nosso planeta e quase nunca consideramos sua importância para solução dos nossos problemas de suprimento energético. A energia solar é a fonte alternativa ideal principalmente por algumas características básicas: é abundante, permanente, renovável, não polui e nem prejudica o ecossistema, além de ser gratuita (RODRIGUES, 2002).

O aproveitamento da energia gerada pelo Sol, inesgotável na escala terrestre de tempo, tanto como fonte de calor quanto de luz, é hoje, sem sombra de dúvidas, uma das alternativas energéticas mais promissoras para enfrentarmos os desafios do novo milênio (CRESESB, 2004).

E quando se fala em energia, devemos lembrar que o Sol é responsável pela origem de praticamente todas as outras fontes de energia. É a partir da energia do Sol que se dá a evaporação, origem do ciclo das águas, que possibilita o represamento e a consequente geração de eletricidade (hidroeletricidade). 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, obtiveram a energia necessária ao seu desenvolvimento, da radiação solar (CRESESB, 2004).

O aproveitamento da energia solar, seja como fonte de calor, seja como fonte de luz é uma das alternativas energéticas mais promissoras para solucionar parte dos problemas de escassez de energia enfrentados pela população mundial (TORRES, 2012).

O Brasil, além de possuir um grande potencial de geração de energia solar fotovoltaica, também possui regiões onde esta tecnologia é a solução mais adequada (técnica e economicamente), devido ao baixo consumo local, à grande dispersão dos usuários, dificuldade de acesso e restrições ambientais (PORTO, 2007).

Um dos pioneiros no método de obtenção de energia solar foi Edmond Becquerel que, no começo do século XX, documentou e verificou a presença de energia elétrica proveniente de energia solar na obtenção de uma diferença de potencial quando se irradiava luz solar em materiais semicondutores. Surgia então o efeito fotovoltaico (FRAGA, 2009).

Uma das possíveis formas de conversão da energia solar é conseguida através do efeito fotovoltaico que ocorre em dispositivos conhecidos como células fotovoltaicas. Estas

células são componentes opto eletrônicos que convertem diretamente a radiação solar em eletricidade. São basicamente constituídas de materiais semicondutores, sendo o silício o material mais empregado (CRESESB, 2004).

4.2.2 Células fotovoltaicas

4.2.2.1 Histórico

A conversão da energia solar em energia elétrica é realizada através do efeito fotovoltaico observado por Edmond Bequerel em 1839. Foi observada uma diferença de potencial nas extremidades de uma estrutura semicondutora, quando incidia uma luz sobre ela. Em 1956, impulsionadas pelas novas descobertas da microeletrônica, foram construídas as primeiras células fotovoltaicas industriais (NASCIMENTO, 2004).

Ainda segundo o mesmo autor o elevado custo na fabricação das células tornava inviável sua utilização prática, a não ser em aplicações especiais, como sistema de fornecimento de energia elétrica para satélites. Neste caso o custo não era um fator limitante e as características de confiabilidade e de baixo peso, tornaram as células fotovoltaicas a maneira mais conveniente e segura de gerar eletricidade no espaço.

Segundo Cepel (2015) os primeiros sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica foram instalados no Brasil no final dos anos 90 em concessionárias de energia elétrica, como a Companhia Hidro Elétrica do São Francisco (Chesf), em universidades e centros de pesquisa, (Cepel- Centro de Pesquisas de Energia Elétrica).

Em 2004, foram produzidos cerca de mil milhões de células, com eficiências da ordem dos 24,7%, alcançando a capacidade instalada mundial de energia solar superior a 8,2 GW em 2008, cerca de 57% da capacidade instalada de Itaipu (HISTÓRICO...,2015).

4.2.2.2 Tecnologia

O desenvolvimento da tecnologia fotovoltaica foi impulsionada inicialmente por empresas do setor de telecomunicações que buscavam fonte de energia para sistemas instalados em localidades remotas (CRESESB, 2004).

De acordo com Gonçalves (2014) existem três tipos principais de células solares:

✓ As células de silício mono-cristalinas: “representam a primeira geração”. O seu rendimento elétrico é elevado, mas as técnicas utilizadas na sua produção são complexas e

caras, exigindo a utilização de materiais em estado puro e com uma estrutura de cristal perfeita.

✓ As células de silício poli-cristalinas têm um custo de produção inferior, pois necessitam de menor energia na sua fabricação, entretanto apresentam um rendimento elétrico inferior. Tal redução de rendimento é causada pela imperfeição do cristal utilizado na sua produção.

✓ As células de silício amorfo são as que apresentam o custo mais reduzido, mas em contrapartida o seu rendimento elétrico é também o mais baixo. As células de silício amorfo são películas muito finas, cujo aspecto homogêneo, a versatilidade e as possibilidades de transparência o permitem ser utilizado em maior escala, tirando ainda o proveito energético. Em função de seu baixo rendimento, pesquisas tem motivado o uso de materiais alternativos como o Telureto de cádmio e o disseleneto de cobre e índio.

Segundo Branco (1991) as células fotovoltaicas constituem um dos mais promissores sistemas de captação de energia solar para o uso do homem atualmente. Não consomem combustíveis, não possuem sistemas ou partes moveis (como turbinas e outras peças que se desgastam), não provocam qualquer tipo de poluição, trabalham a temperatura ambiente, tem longa duração, quase não necessitam de manutenção e são fabricadas de silício, o segundo elemento mais abundante da crosta terrestre.

4.2.2.3 Funcionamento

As células solares são as responsáveis pelo funcionamento de um sistema fotovoltaico, pois é nelas que se dá o efeito fotovoltaico, através do qual a radiação solar é convertida diretamente em energia elétrica (TORRES, 2012).

O efeito fotovoltaico ocorre quando a luz solar, através de seus fótons, é absorvido pela célula fotovoltaica. A energia dos fótons da luz é transferida para os elétrons que então ganham a capacidade de movimentar-se. O movimento dos elétrons, por sua vez, gera a corrente elétrica (NEOSOLAR, 2015).

Uma célula individual, produz apenas uma reduzida potência elétrica, o que tipicamente varia entre 1 e 3 W, com uma tensão menor que 1 Volt. Para disponibilizar potências mais elevadas, as células são integradas, formando um módulo (ou painel). Ligações em série de várias células aumentam a tensão disponibilizada, enquanto que ligações em paralelo permitem aumentar a corrente elétrica. O mesmo ocorre para os painéis (LEVA et al., 2004).

As células fotovoltaicas podem ser dispostas de várias formas, sendo a mais utilizada à montagem de painéis ou módulos solares. As diferentes formas com que são montadas as células se prestam à adequação do uso, por um lado maximizando a eficiência e por outro se adequando às possibilidades ou necessidades arquitetônicas (NEOSOLAR, 2015).

4.2.2.4 Realidade brasileira

O Brasil possui um grande potencial no que diz respeito aos combustíveis fósseis, além de possuir a maior bacia hidrográfica do mundo, refletindo na produção de energia elétrica que provém na sua maior parte, de usinas hidrelétricas. A matriz energética brasileira é composta por quase 50% de fontes renováveis de energia, ao contrário da média mundial que é de 12,9% (TORRES, 2012).

Por ser um país tropical, com grande vastidão territorial e grande incidência dos raios solares durante grande parte do ano, conseqüentemente motiva-se assim um grande potencial de geração de energia solar.

Para se medir a potência solar instantânea que incide em um determinado ponto utilizamos à unidade de medida W/m^2 (medida de potência / medida de área). Caso seja desejado medir a energia neste ponto ao longo de um dia utilizamos a unidade de medida kWh/m/d (energia/área x dia). No caso do Brasil, em média, a energia incidente varia entre 4kWh/m/d e 5kWh/m/d (energia/área x dia). Sendo necessário um maior detalhamento de dados, em uma determinada região, estes podem ser encontrados através de programa para computadores (Sundata) que pode ser utilizado para calcular a radiação solar no Brasil, além do Atlas Solarímetro do Brasil disponibilizado pela ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) (ROSA; TIAGO FILHO, 2007).

O Brasil, além de possuir um grande potencial de geração de energia solar fotovoltaica, também possui regiões onde esta tecnologia é a solução mais adequada (técnica e economicamente), devido a diversos fatores como por exemplo a dificuldade de acesso, restrições ambientais e baixo consumo local.

Segundo Cepel (2015) atualmente, a capacidade de geração de energia elétrica através de energia solar incluindo os sistemas fotovoltaicos instalados no país, seja os sistemas isolados e os conectados à rede, é da ordem de 30 a 40 MWp.

Em 2012, a produção mundial de células fotovoltaicas foi de 36,2 GWp; esta potência equivale a mais de duas vezes e meia a potência da Usina Hidrelétrica de Itaipu. Nos últimos

dez anos, o crescimento anual médio da indústria de células fotovoltaicas foi de 54,2 % (CEPEL, 2015).

Nas comunidades isoladas, painéis solares fotovoltaicos podem ser usados de forma individual, quando distante da rede elétrica, ou de forma híbrida, visando economizar diesel.

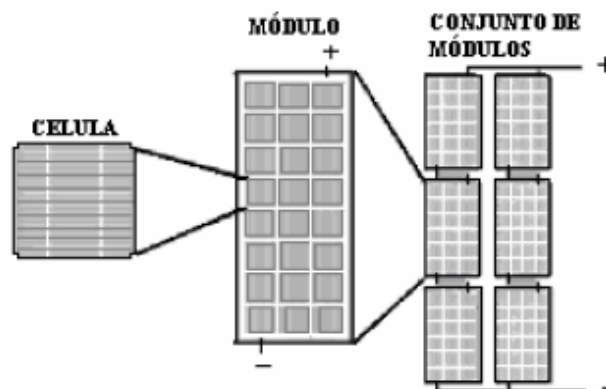
4.2.3 Sistemas fotovoltaicos de geração de energia elétrica

O conjunto de elementos necessário para converter diretamente a energia solar em energia elétrica é denominado sistema fotovoltaico. Seus principais componentes são os painéis fotovoltaicos e inversores, incluindo estrutura de suporte, fiação, relógio bidirecional (GONÇALVES, 2014).

4.2.3.1 Painéis fotovoltaicos

Os painéis fotovoltaicos (FIG. 1) são um conjunto de módulos, que são constituídos por várias células. Esses painéis são dispostos em série e/ou paralelo, com estruturas de suporte e montagem, que agrupados correspondem à unidade geração de energia solar em eletricidade (LEVA et al., 2004).

Figura 1- Hierarquia fotovoltaica.



Fonte: LEVA et al. (2004).

Para o dimensionamento correto de um projeto de sistemas fotovoltaicos, uma das alternativas é o cálculo para determinação do número de painéis levando em consideração se os mesmos serão colocados em série ou em paralelo. Para isso Leva et al. (2004) cita as

equações necessárias para a realização de tal procedimento. Para determinação do número de painéis em série, usa – se a Equação 1:

$$\text{Em série: } M_s = \frac{V_{carga}}{V_{painel}} \quad (1)$$

Em que:

M_s = número de painéis em série;

V_{carga} = tensão da carga;

V_{painel} = tensão do painel.

Para determinação do número de painéis em paralelo, usa – se a Equação 2:

$$\text{Em paralelo: } M_p = \frac{I_{carga}}{I_{painel}} \quad (2)$$

Em que:

M_p = número de painéis em paralelo;

I_{carga} = corrente da carga;

I_{painel} = corrente do painel.

Assim o número de módulos necessários pode ser determinado através da equação 3:

$$M = M_p + M_s \quad (3)$$

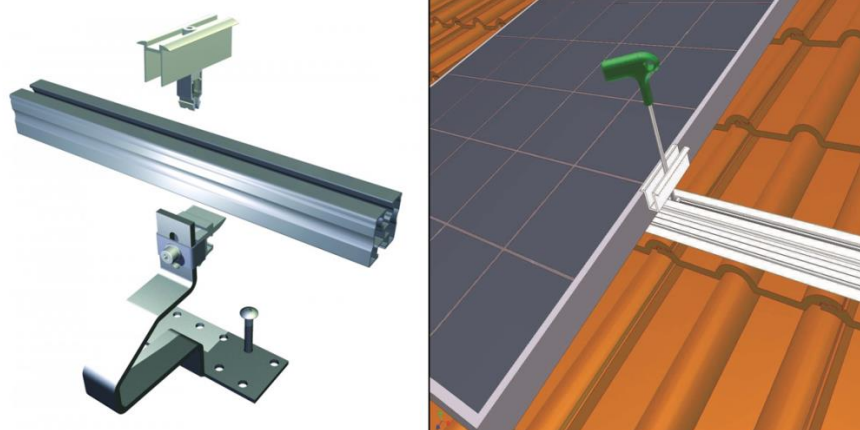
A área necessária para a instalação dos módulos é calculada multiplicando a área de cada módulo pelo número de módulos, conforme a equação 4:

$$A = A_M \times M \quad (4)$$

Após o dimensionamento correto do número de painéis necessários e da área que irão ocupar, deve-se eleger o tipo de instalação. Segundo Leva et al. (2004) existe três maneiras principais para se realizar esta ação:

- ✓ Montagem à superfície – Os módulos são instalados num quadro de aço ou de alumínio fixado numa estrutura apropriada feito no telhado já pronto. Trata-se provavelmente da instalação de menor custo. A Figura 2 ilustra a situação.

Figura 2– Montagem à superfície.



Fonte: NEOSOLAR (2015).

- ✓ Montagem em cobertura – Os módulos são fixados diretamente nos caibros da cobertura. Em vez de estarem colocados no telhado, são colocados na sua estrutura: o custo excedente é parcialmente compensado pela economia de materiais de cobertura. Este tipo de instalação tem menos impacto visual do que os painéis à superfície.
- ✓ Telhas solares – São mais caras do que os módulos clássicos, mas a diferença de preço é compensada pelo fato de não ser necessária a estrutura de montagem. As telhas apresentam um aspecto sóbrio e clássico e são fáceis de colocar.

Além desses tipos principais de instalação, tem-se ainda outras formas como os painéis adesivos que podem ser colados às paredes e painéis semi-transparentes, usados em janelas. Essas tecnologias ainda são pouco conhecidas e empregadas no Brasil, sendo o mais utilizado a montagem à superfície e em cobertura.

Segundo estudo sobre as principais falhas e suas causas, do projeto de 1.000 sistemas fotovoltaicos instalados em telhados na Alemanha, entre 1991 a 1995, período em que esse tipo de sistema era principiante no país, constatou-se que quase 40% das falhas ocorridas foram devidas a problema na instalação e outros 30% por erro de projeto (CRESESB, 2014).

Para um bom resultado final, é necessário um bom dimensionamento, a especificação de equipamentos de qualidade, além de um melhor gerenciamento da qualidade do projeto e

da instalação como um todo, por isso é fundamental critérios e especificações bem definidas para todas as etapas do projeto (CRESESB, 2014).

4.2.3.2 Inversores de corrente elétrica

Os módulos solares fotovoltaicos geram energia elétrica em corrente contínua (CC), porém a rede elétrica pública possui corrente alternada (CA). Por esse motivo, é necessário o uso de um inversor de corrente elétrica (FIG. 3).

Figura 3– Inversor de corrente elétrica utilizado em sistemas fotovoltaicos.



Fonte: NEOSOLAR (2015).

Segundo Crispim (2013), corrente contínua (CC) é o fluxo constante e ordenado de elétrons em uma direção e com um sentido constante. Sendo assim, é a corrente que circula em um único sentido. Já a corrente alternada (CA), é uma corrente cujo sentido varia no tempo e alterna constantemente de sentido, nesta corrente, não existem polos, pois os condutores variam continuamente de polaridade.

Ainda segundo o mesmo autor a transformação de corrente se faz necessária, pois possibilita a utilização dos eletrodomésticos encontrados no mercado.

Os tipos básicos de inversores são:

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

✓ Inversor de onda senoidal modificada – é semelhante ao anterior, porém não produz energia com a mesma qualidade e desta maneira não é aceito pela rede elétrica e seu uso fica restrito para os sistemas independentes e de custo inferior. (LEVA et al., 2004).

4.2.3.3 Relógio medidor bidirecional

O relógio medidor bidirecional (FIG. 4) tem a função de medir a quantidade de energia consumida e gerada pela instalação fotovoltaica instalada na residência.

Segundo a ANEEL (2012), o medidor bidirecional deve, no mínimo, diferenciar a energia elétrica ativa consumida da energia elétrica ativa injetada na rede. Para instalações em baixa tensão, a medição bidirecional pode ser realizada por meio de dois medidores unidirecionais: um para aferir a energia elétrica ativa consumida e outro para a energia elétrica gerada.

Figura 4 - Relógio Medidor Bidirecional.



Fonte: NANSEN (2015).

Gonçalves (2013) ressalta que no dimensionamento de um sistema fotovoltaico de geração de energia são analisados os geradores que são os fornecedores do insumo energético, os condutores que transmitem a energia (fios e cabos), os controladores de carga que regulam a voltagem do gerador e o estado de carga das baterias, os acumuladores (baterias) que armazenam a energia gerada para o aproveitamento futuro e os inversores que transformam a corrente contínua gerada em corrente alternada própria à utilização na maioria dos equipamentos eletrodomésticos.

4.2.4 Tipos de sistemas fotovoltaicos

Os sistemas fotovoltaicos produzem energia elétrica em função de uma determinada demanda de consumo. O custo para implantação destes se resume ao investimento inicial, quase não necessitando de manutenção e sendo de fácil instalação. Devido às oscilações quanto à irradiação solar, a energia produzida é variável ao dia e ao longo do ano. Dado este fato, verifica-se necessidade dos sistemas de armazenamento desta energia para suprir tais variações (GONÇALVES, 2013).

Os sistemas fotovoltaicos dividem-se em: autônomos e conectados à rede elétrica convencional.

O sistema fotovoltaico autônomo (FIG. 5) proporciona energia elétrica em residências ou povoados em locais isolados. É constituído essencialmente de um conjunto de módulos e baterias recarregáveis associadas a controladores de carga. Durante os dias com elevados valores de radiação solar, os módulos produzem energia elétrica. A quantidade de energia que não é utilizada pelos usuários é armazenada nas baterias. Durante a noite e nos dias nublados, a energia para o consumo é fornecida pelas baterias. Neste caso, a tensão proporcionada é contínua e os instrumentos usados devem enquadrar-se a esta característica. Se há necessidade de tensão alternada, associa-se ao sistema um inversor, que transforma a tensão contínua em alternada (NÚCLEO DE ENERGIA SOLAR, 2015).

Figura 5 - Esquema de um sistema fotovoltaico autônomo.



Fonte: Gonçalves (2014).

Esse tipo de sistema pode ser utilizado em casas de campo, refúgios, iluminação, telecomunicações, bombeamento de água entre outros (NEOSOLAR, 2015).

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica convencional estão voltados principalmente para atender a população usuária da rede elétrica convencional. Na FIG. 6 representa-se um esquema de um sistema fotovoltaico que injeta energia elétrica na rede. Os módulos podem ser colocados no telhado ou nas fachadas das casas ou edifícios. Estes sistemas conectados trocam energia com a rede. No momento em que a produção de energia é maior que o consumo, o sistema "vende" para a companhia elétrica e quando é inferior, "compra" (NÚCLEO DE ENERGIA SOLAR, 2015).

Figura 6 - Esquema de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica convencional.



Fonte: NÚCLEO DE ENERGIA SOLAR (2015).

Enquanto um sistema isolado precisa de baterias e controladores de carga, sistemas conectados à rede trabalham somente com painéis e inversores, já que não necessitam armazenar energia (NEOSOLAR, 2015).

4.2.5 Inclusão da energia solar fotovoltaica na legislação brasileira

No final de 2008, duas iniciativas foram adotadas pelo governo federal, adotando uma maior discussão sobre a energia solar fotovoltaica no país. Foi criado no âmbito do Ministério de Minas e Energia (MME) e o GT – GDSF (Grupo de Trabalho de Geração Distribuída com Sistemas Fotovoltaicos) através da Portaria nº36/2008, com a finalidade de elaborar estudos, propor condições e sugerir critérios destinados à elaboração de uma proposta de política de

utilização de energia solar fotovoltaica conectada à rede, especialmente em edificações urbanas (TORRES, 2012).

A outra iniciativa partiu do Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT), no qual o objetivo era obter recomendações para a formulação e implantação de políticas que impulsionassem a inovação tecnológica e a participação industrial do Brasil na produção de silício de grau solar e de energia solar fotovoltaica, no período de 2010-2025 (TORRES, 2012).

Em 2012, a ANEEL aprovou a Resolução Normativa n° 482, que estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, além de outras providências necessárias (ANEEL, 2012).

Tal legislação prevê que a energia injetada pela unidade consumidora por meio da microgeração distribuída seja cedida à distribuidora local e posteriormente compensada, através de créditos, pela mesma unidade consumidora. E se, em um prazo de 36 meses, a energia injetada na rede não for consumida pelo microgerador, o saldo de energia é apropriado pela distribuidora (TIAGO FILHO et al., 2015).

Esta resolução representa importância significativa para o setor residencial, pois pode resolver o problema da não coincidência temporal entre geração e consumo, já que os sistemas fotovoltaicos geram energia elétrica durante as horas de Sol e o maior consumo da classe residencial é registrado a noite (TORRES, 2012).

Ainda segundo Torres (2012), os custos referentes à adequação do sistema de medição, necessário para implantar o sistema de compensação de energia elétrica, são de responsabilidade do interessado.

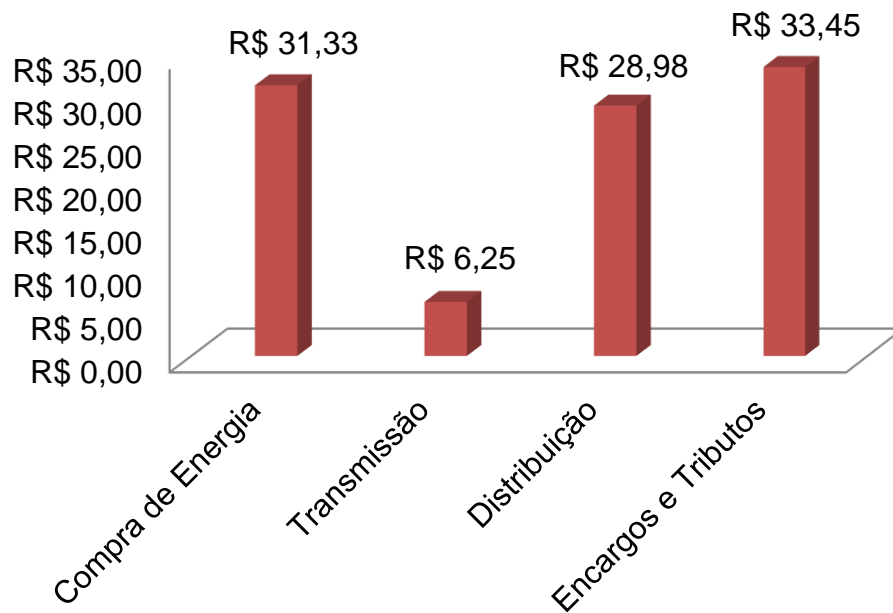
4.2.6 Custos do sistema fotovoltaico

No Brasil, quase a totalidade dos sistemas fotovoltaicos são instalados em sistemas isolados, sendo responsável por alimentar pequenos grupos ou pequenas cargas com o auxílio de acumuladores de energia (baterias). Atualmente somente uma pequena fatia dos sistemas instalados no território nacional é conectada na rede (RIBEIRO, 2012).

O custo para se instalar um sistema fotovoltaico em uma residência é composto por módulos, inversor, baterias e demais componentes do sistema, além dos serviços de instalação (mão de obra qualificada). Esse valor varia de acordo com a região e a empresa responsável pela aquisição do sistema.

A energia solar vem se tornando viável em relação a energia elétrica convencional, pois se observarmos como é a distribuição dos valores pagos na conta mensal de luz, concluiremos que grande parte desse valor é composto por encargos e impostos. O Gráfico 3 exibe a realidade do cenário energético brasileiro.

Gráfico 3– Relação dos valores cobrados em uma conta de luz de R\$100,00 em 2007.



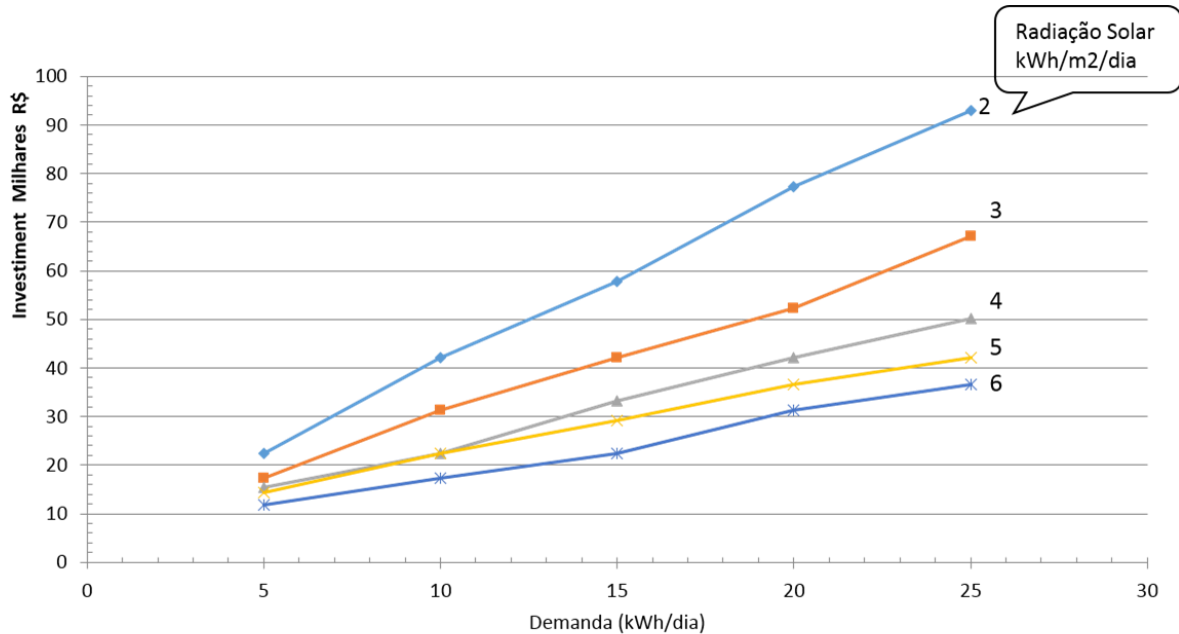
Fonte: ANEEL (2008).

Além do mais a energia elétrica no Brasil tende a ficar cada vez mais cara, tendo em vista as crescentes estiagens no país afetando o principal sistema de abastecimento energético, as hidrelétricas. Com o custo elevado para a geração de energia, esse insumo é repassado aos consumidores além de taxas extras como iluminação pública, bandeira vermelha, etc.

Diante da atual situação, a energia solar surge como uma ótima opção para gerar uma maior economia nesse quesito, apesar do alto investimento inicial que é necessário para a implantação dos sistemas fotovoltaicos em residências, o mesmo se mostra comprovadamente lucrativo em longo prazo, sem custos mensais e com despesas praticamente nulas em relação à manutenção e operação do sistema (RIBEIRO, 2012).

No que diz respeito ao investimento dos sistemas fotovoltaicos para atendimento residencial, o autor Tiago Filho et al. (2015) apresenta no gráfico 4 um exemplo desses custos, considerando a demanda de energia requerida pelo consumidor variando de 5 a 25 kWh/dia.

Gráfico 4– Investimento necessário para implantação de painéis fotovoltaicos em função da demanda de energia requerida e da incidência da radiação solar local.



Fonte: TIAGO FILHO et al (2015).

Este gráfico apresenta que o custo dos sistemas fotovoltaicos para atendimento residencial pode variar de R\$ 11.000,00 a R\$ 92.000,00, conforme a incidência solar na localidade e demanda de energia requerida.

Ainda assim existe um grande potencial de aplicação desta alternativa tecnológica no Brasil. Contamos com sol suficiente e uma cadeia tecnológica madura relacionada à eletrônica e controle, advinda da inserção de outras fontes alternativas renováveis. Sendo necessário aumentar o ganho de escala nesta aplicação, com regras de financiamento factíveis e incentivas à qualificação e capacitação técnica para a efetiva inserção desta geração distribuída no Brasil (TIAGO FILHO et al., 2015).

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Área de estudo

O objeto de estudo foi uma residência localizada no município de Formiga, estado de Minas Gerais. A cidade fica situada na região Centro-Oeste Mineira, nas coordenadas geográficas Latitude 20° 27' 42'' Sul, Longitude: 45° 25' 58'' Oeste. Possui área total de 1501,02 km², e temperatura média anual de 21,8°. A altitude máxima é de 1125m, e mínima de 785m, sendo que no ponto central da cidade possui uma altitude de 841,45m (Prefeitura Municipal de Formiga, 2015).

O terreno em que se encontra a residência possui 600m², sendo suas dimensões 20 x 30 m. Porém, o imóvel possui uma área construída de 500 m², sendo sua fachada apresentada na FIG. 7.

Figura 7– Fachada da residência em estudo, localizada em Formiga – MG.



Fonte: O autor (2015).

5.2 Coleta e utilização de dados

Para a realização deste trabalho fez-se necessário o uso de dados referentes a geração de energia elétrica por meio de um sistema de placas solares. Tais dados se referem a radiação solar média mensal da região, consumo energético da residência, custos iniciais com o investimento e orçamentos obtidos por empresas especializadas.

5.2.1 Consumo energético

Inicialmente, foi necessário conhecer o consumo energético requerido pela residência, a fim de se obter o sistema solar fotovoltaico que seja capaz de atender a demanda de energia elétrica solicitada.

Para quantificar o consumo médio mensal de energia elétrica da residência, utilizou-se o período entre os meses de abril de 2014 até março de 2015 obtendo-se assim, a média mensal de quilowatts(kW) consumidos. Essas informações foram obtidas através de consulta à faturas de energia elétrica, cedida pela Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG).

5.2.2 Dados climáticos

Os valores de radiação solar diária do município de Formiga (MG) foram obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). As medições foram realizadas em estação meteorológica automaticamente gerida pelo supracitado instituto, e localizada no UNIFOR – MG. Foram analisados, para composição da série de radiação global, o período de janeiro de 2007 até dezembro 2014. Como segurança no dimensionamento, já que há alta variabilidade em medidas de fatores climáticos, foi usada a menor média de radiação solar. Assim, não há risco de o consumo de energia elétrica ser maior do que a energia a ser produzida pelo sistema.

5.2.3 Estimativa de custos

Após a obtenção da menor média de radiação solar através dos dados disponibilizado pelo INMET, foram solicitados estudos técnicos e orçamentos em três empresas especializadas, selecionadas ao acaso. Para tal, foi solicitado por todas elas a demanda energética requerida, assim, um projeto de implantação do sistema solar fotovoltaico que mais se adequasse a tais exigências foi planejado pelas três.

Com os orçamentos é possível identificar os materiais necessários, equipamentos e acessórios a serem utilizados na instalação do sistema, bem como o número de placas solares necessárias para a geração da energia a ser consumida pelos residentes. Com isso, pode-se optar pela empresa que apresentar bom desempenho, confiabilidade, durabilidade e o melhor custo benefício.

5.3 Geração de energia

Para designar a energia a ser produzida pelas placas solares, inicialmente deve-se analisar o número de horas de sol pleno da região estudada, utilizando a Equação 5. Tal equação reflete o número de horas em que a radiação solar deve permanecer constante e igual a 1 kW/m², de forma que a energia resultante seja equivalente à energia acumulada durante o dia.

$$SP = \frac{\text{índice radiação kWh/m}^2}{1 \text{ kW/m}^2} \quad (5)$$

Em que,

SP: Sol pleno, horas.

Após isso, é possível então calcular qual será a energia produzida por uma das placas solares do sistema fotovoltaico, por meio da Equação 6.

$$E_g = P \cdot SP \cdot n \quad (6)$$

Em que,

E_g: Energia diária a ser produzida pela placa fotovoltaica (kWh);

SP: Sol pleno, horas.

P: Potência nominal da placa fotovoltaica (kW);

n: rendimento do inversor de corrente contínua para alternada (dados do fabricante).

Após a estimativa de energia diária que a placa solar produzirá individualmente, foi necessário multiplicar esse valor pelo número total de placas que constam no conjunto ao todo. O valor encontrado da energia que será produzida diariamente pelo sistema, deve ser multiplicado pela quantidade de dias do mês, para assim, obter-se a estimativa da energia a ser produzida mensalmente pelo conjunto.

5.4 Paybackdescontado

O método do *Payback* descontado apresenta o conceito da variação do valor do dinheiro no tempo, já que traz os fluxos de caixa gerados pelo investimento ao mesmo momento de tempo, ou seja, ao valor presente através da aplicação de uma taxa de desconto aos fluxos de caixa. Dessa forma pode-se dizer que o *Payback* e a taxa de juros são diretamente proporcionais, pois quando um deles é reduzido, há a redução do outro também.

Neste método há a análise do custo de oportunidade do capital e do valor da melhor alternativa abandonada em favor da alternativa escolhida. Foi utilizado o valor presente para a análise, sendo que em cada ano do fluxo de caixa acumula-se o valor presente dos capitais do fluxo de caixa do ano zero até o ano de cálculo.

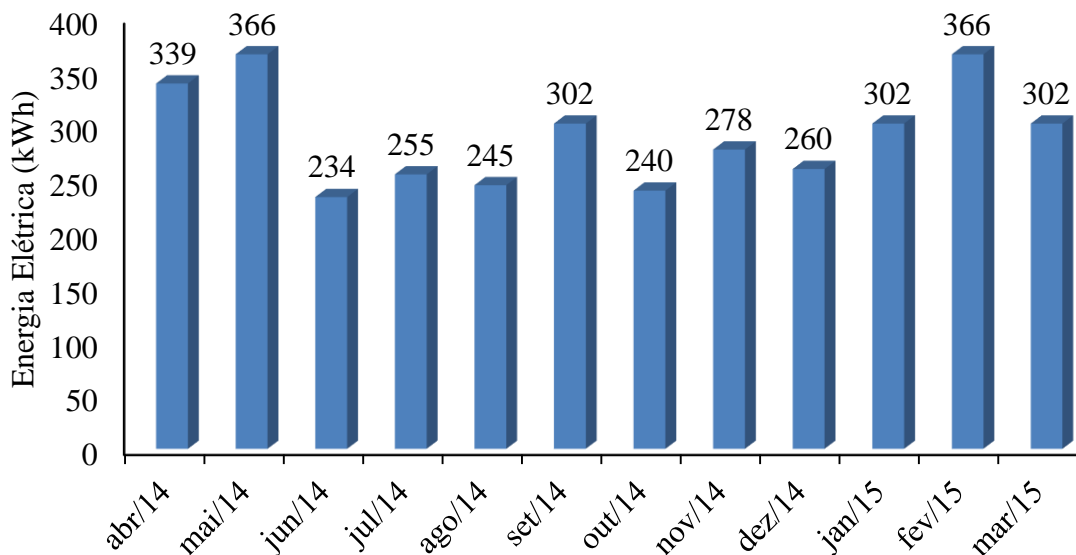
Esse cálculo foi baseado nas tarifas cobradas atualmente pela concessionária de energia elétrica do estado de Minas Gerais. Por se tratar de um imóvel com instalação trifásica, o valor pago por kW é entorno de R\$0,86. No presente trabalho, os custos futuros referentes à manutenção do sistema fotovoltaico não foram considerados.

6 RESULTADO E DISCUSSÃO

6.1 Avaliação energética

Por meio da análise das contas mensais de energia elétrica do período de abril de 2014 até março de 2015 foi possível obter a média mensal do consumo energético da residência. O Gráfico 5 apresenta o histórico de consumo de energia elétrica na residência em questão e também a média referente aos meses analisados.

Gráfico 5 - Histórico de consumo de energia elétrica na residência.



Fonte: O autor (2015).

Avaliando o Gráfico 5, percebe-se que o consumo energético houve um acréscimo no consumo entre os meses de abril e maio de 2014 e também entre os meses de janeiro a março de 2015. Tais eventos devem-se ao fato de que nesses períodos houve um aumento significativo na temperatura, afetando diretamente no consumo. A média encontrada durante o período analisado é de 290,75 kWh/mês.

6.2 Composição dos equipamentos e investimento

Os orçamentos recebidos para o sistema fotovoltaico de energia a ser instalado em uma residência no município de Formiga – MG, é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Orçamentos recebidos para sistema fotovoltaico de energia a ser instalado em uma residência no município de Formiga – MG.

Empresas	Painéis	Inversor	Rendimento do inversor	Módulos Fotovoltaicos	Área de Instalação	Investimento
A	8 de 250 watts	2,5 kW	95%	8 peças	18m ²	R\$20.000,00
B	8 de 250 watts	2,2 kW	95%	8 peças	21m ²	R\$19.845,34
C	12 de 255 watts	3 kW	95%	12 peças	25m ²	R\$23.330,00

Fonte: O autor (2015).

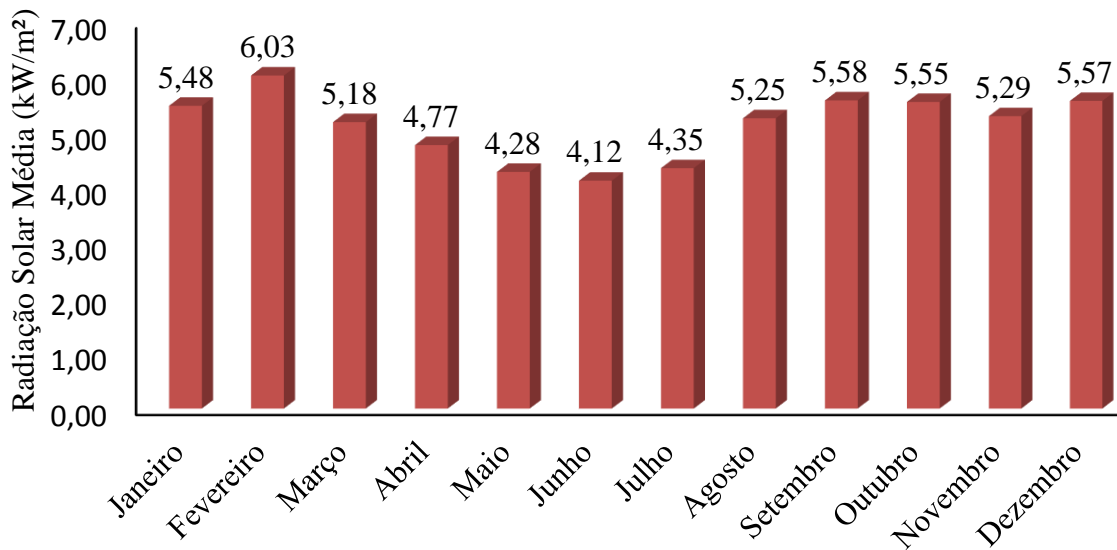
Pela análise da Tabela 1 é possível perceber uma significativa diferença no número de placas fotovoltaicas propostas pela empresa C, se comparada às empresas A e B, fazendo com que o custo final do produto aumente significativamente. Cabe ressaltar que tais empresas garantiram que o sistema solar fotovoltaico conta com uma vida útil de aproximadamente 25 anos, não significando necessariamente que ao término deste prazo o produto deverá ser trocado, só serão necessários realizar algumas manutenções, já que o mesmo está sujeito a diversas intempéries.

De posse dos orçamentos procurou-se escolher a empresa cuja aquela apresentasse alguns benefícios, como por exemplo: durabilidade, resistência ao tempo e custo benefício.

6.3 Radiação solar necessária

A média diária de radiação solar para o município de Formiga – MG, é mostrada no Gráfico 6.

Gráfico 6 - Radiação solar média diária mensal no município de Formiga – MG, no período de 2007 a 2014.



Fonte: O autor (2015).

O gráfico (6) analisado anteriormente evidencia os meses em que a radiação solar apresentou maiores e menores valores durante o período de 2007 a 2014. Como esse sistema depende diretamente da energia proveniente do Sol, necessita-se adotar o valor correspondente ao mês que apresentou a menor média diária de radiação solar, neste caso, o mês de junho, sendo 4,12 kW/m².

6.4 Avaliação de energia a ser gerada

A energia diária e mensal gerada por placa, para cada um dos sistemas fotovoltaicos cotados, são mostradas na Tabela 2.

Tabela 2- Energia diária e mensal gerada por placa, em cada um dos sistemas fotovoltaicos apresentados.

Empresa	Potência da placa	Horas de Sol Pleno (SP)	Rendimento do Inversor	Energia diária a ser produzida por placa	Energia mensal a ser produzida por placa
A	250 watts	4,12 horas	95%	0,9785 kWh/dia	29,355kW/h/mês
B	250 watts	4,12 horas	95%	0,9785 kWh/dia	29,355kW/h/mês
C	255 watts	4,12 horas	95%	0,9980 kWh/dia	29,942kW/h/mês

Fonte: O autor (2015).

De posse dos valores de energia mensal a ser produzida por cada placa fotovoltaica, pode-se calcular a geração de energia mensalmente pelo sistema completo, analisando o número de placas indicadas em cada orçamento solicitado. Sendo assim as empresas tiveram seu sistema fotovoltaico avaliado, como mostra a Tabela 3.

Tabela 3 - Energia mensal gerada pelo sistema solar fotovoltaico.

Empresas	Quantidade de Placas	Energia mensal a ser produzida pelo sistema
A	8 peças	234,84 kWh/mês
B	8 peças	234,84 kWh/mês
C	12 peças	359,30 kWh/mês

Fonte: O autor (2015).

Analisando a tabela anterior, pode se observar que a energia a ser gerada pelos sistemas solares fotovoltaicas das empresas A e B, que é de 234,84 kWh/mês, não atendem à demanda energética necessária para suprir o consumo elétrico mensal da residência.

No entanto, a empresa C, contando com um número total de 12 placas em seu sistema fotovoltaico e gerando 359,30 kWh/mês é capaz de fornecer energia elétrica em quantidade suficiente para atender e sanar as necessidades energéticas atuais e futuras dos moradores da residência em questão.

6.5 Análise financeira

Devido ao fato das empresas A e B não atenderem a demanda energética requerida através dos seus sistemas, não foi realizado o método do *Payback* descontado, uma vez que as mesmas não apresentaram resultados aceitáveis em relação a geração de energia elétrica.

Diferentemente das outras empresas, a empresa C apresentou valores satisfatórios referente a energia a ser gerada pelo sistema, contando com um excedente energético. Diante disso calculou-se o método do *Payback* descontado utilizando tais valores, como o investimento inicial de R\$23.330,00, as tarifas atuais cobradas pela CEMIG no valor de R\$0,86 por kWh, a taxa atual de juros (Selic) de 14,25%, um consumo mensal de 290,75 kW, que gera uma fatura de energia elétrica mensal média de R\$250,04. Portanto, os gastos anuais seriam aproximadamente de R\$3.000,54. A Tabela 4 apresenta o fluxo de caixa do investimento, até o quinto ano de análise.

Tabela 4–Fluxo de caixa de investimento, avaliado até o quinto ano.

Anos	Capitais (R\$)	Valor Presente (R\$)	Valor Presente Acumulado (R\$)
0	-23330,00	-23330,00	-23.330,00
1	3000,54	2.626,29	-20.703,71
2	3000,54	2.298,72	-18.404,98
3	3000,54	2.012,01	-16.392,97
4	3000,54	1.761,06	-14.631,91
5	3000,54	1544,96	-13066,95

Fonte: O autor (2015).

A amortização do capital investido através dos anos subsequentes ao investimento pode ser acompanhada na Tabela 4. Já o Fluxo de Caixa completo, é apresentado no Anexo A. Neste, observamos que não há recuperação do capital. Desta forma, o investimento não atinge um resultado satisfatório quando comparado ao tempo de vida útil do sistema, que é de 25 anos.

7 CONCLUSÃO

- A cidade de Formiga – MG apresenta uma radiação solar média diária de $4,16 \text{ kW/m}^2$. Mas para os cálculos foi utilizado o mês que apresentou a menor média de radiação solar, que no caso é o mês de junho, cujo valor é de $4,12 \text{ kW/m}^2$.
- Diante dos três orçamentos analisados, somente a empresa C atendeu a demanda de energia elétrica solicitada, sendo, para esta, o investimento inicial de R\$23.330,00 e necessita de uma área de 25 m^2 para a instalação do sistema que contém 12 placas solares e apresenta, segundo o fabricante, uma vida útil de 25 anos;
- A energia elétrica que o sistema solar fotovoltaico apresentado pela empresa C é capaz de gerar é de $359,30 \text{ kWh/mês}$. Esse valor é mais do que necessário para atender a demanda de energia que a residência necessita.
- O investimento não apresenta *payback* descontado dentro do período de vida útil do sistema de 25 anos.
- Cabe na análise ser considerada a futura crise energética que evidentemente o país atravessará nos próximos anos, assim, o sistema pode ter viabilidade financeira revertida, nos próximos anos.

REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil). **Nota Técnica n° 0129/2012-SRD/ANEEL**. Brasília: ANEEL, 2012. 4 p.

Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil). **Por Dentro da Conta de Luz: informação de utilidade pública**. 4 ed. Brasília: ANEEL, 2008. 34 p.

Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil). **Resolução Normativa n° 482**. Brasília: ANEEL, 2012. 6 p.

BRANCO, S. M. **Energia e Meio Ambiente**. 2. ed. São Paulo: Moderna, 1990.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia; Empresa de Energia Energética. **Balanço energético nacional: relatório final**. Rio de Janeiro: EPE, 2011. 267 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente; Instituto Brasileiro de Defesa do Consumidor. **Consumo sustentável: manual de educação**. Brasília: IDEC, 2002. 144 p.

CEMIG. **Companhia Energética de Minas Gerais**. Disponível em: <http://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/Paginas/Bandeiras_tarifárias>. Acesso em: 06 jun. 2015.

Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. Grupo de Trabalho de Energia – GTES. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CRESESB, 2004. 28 p.

CEPEL. **Centro de Pesquisa de Energia Elétrica**. Disponível em: <<http://www.cepel.br>>. Acesso em: 13 mar. 2015.

CRISPIM, J. J. R. **Eletrônica vs Eletricidade**. Julho de 2013. Disponível em: <http://www.jose-crispim.pt/artigos/conceitos/conc_art/03_eletronica_eletricidade.html>. Acesso em: 18 mai. 2015.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Balço Energético Nacional 2012 – Ano base 2011; Resultados Preliminares**. Rio de Janeiro: EPE, 2012, 55 p. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br>>. Acesso em: 15 mar. 2015.

EPIA. European Photovoltaic Industry Association. **Global Market Outlook For Photovoltaics Until 2016**. Belgium, 2012.

FRAGA, J. R. C. P. **Análise do comportamento da bateria utilizada em sistemas fotovoltaicos de pequeno porte**. 2009. 136 p. Dissertação (Doutorado em Agronomia – Área de Concentração em Energia na Agricultura) -Faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP. Botucatu, 2009.

GALDINO, M. A. E. et al. O contexto das energias renováveis no Brasil. **Revista da Direng**. [S.I.], p. 17-25, 2004.

GITMAN, L. J. **Princípios de Administração Financeira**. 7ª ed. São Paulo: HARBRA, 2002. 841 p.

GONÇALVES, L. S. Eficiência energética através de células fotovoltaicas integradas à cobertura de edifícios. **Revista Especializada Online IPOG**. 7. Ed. Goiânia, v. 01, n. 007, p. 1-22, jul. 2014.

GUERRA, R. Avaliação da complementaridade dos potenciais hídricos e eólicos sazonalmente na bacia do Rio Verde Grande-MG. **Revista Hidro & Hydro – PCH Notícias & Ship News, UNIFEI/CERPCH**. Itajubá. V. 15, n. 58, p. 13-16, jul./set. 2013.

HISTÓRICO DAS CÉLULAS FOTOVOLTAICAS E A EVOLUÇÃO DA

UTILIZAÇÃO DE ENERGIA SOLAR. [S.l.:s.n.], 2015. Disponível

em:<http://ambientes.ambientebrasil.com.br/energia/energia_solar/historico_das_celulas_foto_voltaicas_e_a_evolucao_da_utilizacao_de_energia_solar.html>. Acesso em: 18 mai. 2015.

JARDIM, C. S. et al. **O potencial dos sistemas fotovoltaicos interligados à rede elétrica em áreas urbanas**: dois estudos de caso. Florianópolis, 2004.

LEVA, F. F. et al. **Modelo de um projeto de um sistema fotovoltaico**. [S.I.: s.n.], 2004. 10 p.

LIMA, B. **Dia Mundial do Meio Ambiente**. 2014. Disponível em: <<http://www.solsticioenergia.com.br/blog/dia-mundial-meio-ambiente/>>. Acesso em: 24 mar. 2015.

LUCENA, A. B.; VIEIRA, A. L. Influência do emprego e da temperatura na demanda por eletricidade no município de Manaus. **Revista Hidro &Hydro – PCH Notícias &Ship News, UNIFEI/CERPCH**. Itajubá. V. 15, n. 57, p. 16-22, abr./jun. 2013.

MELO, O. **Análise da viabilidade técnica econômica de painéis fotovoltaicos instalados no setor residencial**. 2014. 87p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica com ênfase em Sistema de Energia e Automação) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

MIKAIL, E. **A Construção Civil no Brasil**. São Paulo, 01 de Fevereiro de 2013. Disponível em: <<http://blogdaengenharia.com/a-construcao-civil-no-brasil/>>. Acesso em: 15 mai. 2015.

MIURINI, R. **Energia Fotovoltaica**. 2013. Disponível em: <<http://www.mundoagua.com.br/blog/energia-fotovoltaica/>>. Acesso em: 25 mar. 2015.

MORAES, J.C.T.B. **Quinhentos Anos de Engenharia no Brasil**, São Paulo: Edusp, 2005.

MOTTA, L. A. **Análise de viabilidade econômica da adoção de soluções energéticas de menor impacto: estudo de caso em um condomínio horizontal na cidade de Londrina**. 2014. 57p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica do Paraná, Londrina, 2014.

MOTTA, R. S. **Manual para valoração econômica de recursos ambientais**. Rio de Janeiro: USU, 1997.

NANSEN. **Produtos**. Disponível em:

<http://www.nansen.com.br/produtos_medidores_eletronicos_polifasicos_s.php>. Acesso em: 13 mar. 2015.

NEOSOLAR. **Neosolar Energia**. Disponível em: <<http://www.neosolar.com.br>>. Acesso em: 10 mar. 2015.

NÚCLEO DE TECNOLOGIA EM ENERGIA SOLAR. [S.l.:s.n.], 2015. Disponível em: <<http://www.pucrs.br/cbsolar/energia.php>>. Acesso em: 18 mai. 2015.

PORTO, L. **Energias Renováveis – Ministério de Minas e Energia**. São Paulo, 2007.

Disponível em:

<<http://www.mme.gov.br/programas/proinfa/galerias/arquivos/apresentacao/VI.pdf>>. Acesso em: 20 mar. 2015.

RIBEIRO, U. G. V. **Estudo de Viabilidade Econômica de Instalação de Fonte de Energia Renováveis Baseadas em Células Fotovoltaicas para Uso Residencial**. 2012. 49 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas de Energia e Automação) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2012.

RODRIGUES, S. G. Energia solar. **Revista Eletrônica de Ciências**, n. 8, jun. 2002.

Disponível em: <http://www.cdcc.usp.br/ciencia/artigos/art_08/energiasolar.html>. Acesso em: 15 mai. 2015.

ROMÁRIO, Francisco. **Energia eólica**. 2005, 42 slides, color.

ROSA, Carlos Adriano; TIAGO FILHO, Geraldo Lúcio. **Solar**. Itajubá: MME; FAPEPE, 2007. 24 p. (Série Energias Renováveis).

SAUER, I. L. et al. **A Reconstrução do Setor Elétrico Brasileiro**. São Paulo: Paz e Terra, 2003.

SEGUEL, J. I. L. **Projeto de um sistema fotovoltaico autônomo de suprimento de energia usando técnica MPPT e controle digital**. 2009. 222 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2009.

SOARES, V.J.R. **Procedimentos de Direção de Obras no Brasil – Visão Comparada com Portugal**. 2013. 144 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Especialização em Construções) - Faculdade de Engenharia - Universidade do Porto. Porto, 2013.

TELLES, P.C.S. **História da Engenharia no Brasil - Século XX**. Rio de Janeiro: Clube de Engenharia, 1984.

TIAGO FILHO et al. **A Viabilidade de Aplicação da Resolução 482 na Implantação de Sistemas de Geração Fotovoltaica nas Atuais Condições de Mercado**. [S.l.]: CERPCH, 2015. Disponível em: <<http://www.cerpch.unifei.edu.br/noticias/a-viabilidade-de-aplicacao-da-resolucao-482-na-implantacao-de-sistemas-de-geracao-fotovoltaica-nas-atuais-condicoes-de-mercado.html>> Acesso em: 19 maio 2015.

TORRES, R. C. **Energia solar fotovoltaica como fonte alternativa de geração de energia elétrica em edificações residenciais**. 2012. 164 p. Dissertação (Mestrado em Ciências – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

VECCHIA, R. **O Meio Ambiente e as Energias Renováveis**. São Paulo: Manole, 2010.

VIEIRA, H. F. **Logística aplicada à construção civil: como melhorar o fluxo de produção nas obras**. São Paulo: Pini, 2006.

ANEXO A – Tabela 5 – Fluxo de caixa de investimento em sistema de geração de energia fotovoltaica para uma residência localizada no município de Formiga - MG.

Anos	Capitais (R\$)	Valor Presente (R\$)	Valor Presente Acumulado (R\$)
0	-23330,00	-23330,00	-23.330,00
1	3000,54	2.626,29	-20.703,71
2	3000,54	2.298,72	-18.404,98
3	3000,54	2.012,01	-16.392,97
4	3000,54	1.761,06	-14.631,91
5	3000,54	1.541,41	-13.090,50
6	3000,54	1.349,16	-11.741,34
7	3000,54	1.180,88	-10.560,46
8	3000,54	1.033,59	-9.526,87
9	3000,54	904,68	-8.622,19
10	3000,54	791,84	-7.830,35
11	3000,54	693,08	-7.137,27
12	3000,54	606,63	-6.530,64
13	3000,54	530,97	-5.999,67
14	3000,54	464,74	-5.534,93
15	3000,54	406,78	-5.128,15
16	3000,54	356,06	-4.772,11
17	3000,54	311,63	-4.460,48
18	3000,54	272,76	-4.187,71
19	3000,54	238,74	-3.948,97
20	3000,54	208,97	-3.740,01
21	3000,54	182,90	-3.557,10
22	3000,54	160,09	-3.397,01
23	3000,54	140,12	-3.256,89
24	3000,54	122,65	-3.134,25
25	3000,54	107,35	-3.026,90