

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
ESPECIALIZAÇÃO EM ENERGIAS RENOVÁVEIS**

ARACELI PATRICIO MARIA

**SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO ISOLADO PARA ATENDIMENTO
DE RESIDÊNCIAS NO LITORAL PARANÁ**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA - PR

2017

ARACELI PATRICIO MARIA

**SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO ISOLADO PARA ATENDIMENTO
DE RESIDÊNCIAS NO LITORAL PARANÁ**

Monografia de Especialização apresentada ao Departamento Acadêmico de Eletrotécnica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Energias Renováveis.

Orientador: Prof. Dr. Jair Urbanetz Junior

CURITIBA - PR

2017

TERMO DE APROVAÇÃO

ARACELI PATRICIO MARIA

SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO ISOLADO PARA ATENDIMENTO DE RESIDÊNCIAS NO LITORAL PARANÁ

Esta Monografia de Especialização foi apresentada no dia 16 de agosto de 2017, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Energia Renováveis – Departamento Acadêmico de Eletrotécnica – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. A aluna foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Jair Urbanetz Junior

Coordenador de Curso de Especialização em Energias Renováveis

Prof. Romildo Alves dos Prazeres

Chefe do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Jair Urbanetz Junior
Orientador - UTFPR

Prof. Dr. Gerson Máximo Tiepolo
UTFPR

Prof. Esp. Carlos Henrique Karam Salata
UTFPR

O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que permitiu que eu tivesse saúde e dedicação para superar as dificuldades ao longo do curso. A Universidade por abrir a porta para tal conhecimento. Aos Professores do Curso em especial a meu orientador Prof. Dr. Jair Urbanetz por todo conhecimento e experiência a qual me proporcionou.

Aos meus Pais José Maria e Cleusa Patrício, minhas irmãs Suelen e Èven, pelo incentivo, a meu marido Sidney Costa pela paciência e apoio nos momentos de dificuldades.

A amizade adquirida em sala de aula e a todos os amigos e professores que fizeram parte da minha formação e que contribuíram de alguma forma o meu muito obrigado.

RESUMO

MARIA, Araceli Patrício. **Sistema solar fotovoltaico isolado para atendimento de residências no litoral Paraná.** 2017. 66 pg. Monografia de Especialização em Energias Renováveis - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017

Devido ao alto consumo de energia elétrica e a preocupação com a preservação do meio ambiente, vários investimentos estão sendo direcionados para as fontes alternativas de energia. Muitas empresas, além de residências, estão aplicando o conceito de desenvolvimento sustentável, dentre as fontes renováveis de energia destaca-se a energia solar. Também chamada de energia limpa, é uma das alternativas para a geração de energia elétrica, apesar do seu custo ainda elevado. Em muitos países e inclusive no Brasil, ela vem ganhando destaque e está sendo utilizada para diversas aplicações. A conversão da luz solar em energia elétrica é realizada através de um sistema fotovoltaico o qual pode operar de forma isolada ou conectado à rede. Este trabalho apresenta um sistema solar fotovoltaico para cargas essenciais em 03 (três) residências situadas em Pedra Chata, Município de Guaraqueçaba, litoral do Paraná e tem por objetivo reduzir os custos de energia elétrica além de sanar as consecutivas quedas de energia que ocorrem na região.

Palavras-chave: Energia Elétrica, Meio ambiente, Desenvolvimento Sustentável, Fontes renováveis, Energia Solar.

ABSTRACT

MARIA, Araceli Patrício. **Off grid PV system for residential care in the Paraná coast.** 2017. 66 pg. Specialized Monograph on Renewable Energies - Federal Technological University of Paraná. Curitiba, 2017

Due to the high consumption of electric energy and the concern with the preservation of the environment, several investments are being directed towards alternative sources of energy. Many companies, in addition to homes, are applying the concept of sustainable development, among renewable energy sources stands out solar energy. Also called clean energy, it is one of the alternatives for generating electricity, despite its still high cost. In many countries and even in Brazil, it has been gaining prominence and is being used for several applications. The conversion of sunlight into electricity is performed through a photovoltaic system which can operate in isolation or connected to the grid. This work presents a solar photovoltaic system for essential loads in 03 (three) residences located in Pedra Chata, Guaraqueçaba Municipality, Paraná coast and aims to reduce electric energy costs, as well as to heal the consecutive energy losses occurring in the region.

Keywords: Electric Power, Environment, Sustainable Development, Renewable Energy, Solar Energy.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Empreendimentos em operação	17
Figura 2: Componentes da radiação solar	21
Figura 3: Mapa de irradiação solar global horizontal - Média Anual.....	23
Figura 4: Mapa de irradiação solar direta normal - Média Anual.....	24
Figura 5: Aproveitamento de energia solar.	27
Figura 6: Módulos fotovoltaicos de Silício Monocristalino, Policristalina e amorfo. ...	28
Figura 7: Vida útil x Temperatura de trabalho.	30
Figura 8: Ciclos x Profundidade de descarga.....	31
Figura 9: Vista geral da localização captada por drone.....	34
Figura 10: Residencias que serão alimentadas pelo SFVI.....	35
Figura 11: Casa 01.....	40
Figura 12: Casa 02.....	41
Figura 13: Casa 03.....	42
Figura 14: Localização das casas	45
Figura 15: Coordenada mais próxima do local da instalação	46
Figura 16: Estação cadastrada.....	47
Figura 17: Resultado para inclinação 35° e azimute 0°	47
Figura 18: Especificação Técnica do Módulo.....	53
Figura 19: Dados técnicos inversor	56
Figura 20: Especificação técnica controlador.....	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Irradiação no plano inclinado e Produtividade no Paraná	25
Tabela 2: Consumo estimado casa 01	40
Tabela 3: Consumo estimado casa 02	41
Tabela 4: Consumo estimado casa 03	42
Tabela 5: Consumo estimado casa 01 com cargas essenciais e lâmpadas Led.....	44
Tabela 6: Consumo estimado casa 02 com cargas essenciais e lâmpadas Led.....	44
Tabela 7: Consumo estimado casa 03 com cargas essenciais e lâmpadas Led.....	44
Tabela 8: Irradiação Global Horizontal	46
Tabela 9: Resultado irradiação no local	48
Tabela 10: Potência painel fotovoltaico – SFVI – Casa 01	49
Tabela 11: Potência painel fotovoltaico – SFVI – Casa 02.....	49
Tabela 12: Potência painel fotovoltaico – SFVI- Casa 03	49
Tabela 13: Área estimada - Casa 01	50
Tabela 14: Área estimada - Casa 02.....	50
Tabela 15: Área estimada - Casa 03.....	51
Tabela 16: Cálculo dimensionamento banco Baterias – Casa 01	54
Tabela 17: Cálculo dimensionamento banco de baterias - Casa 02	54
Tabela 18: Cálculo dimensionamento Banco de baterias- Casa 03.....	55
Tabela 19: Tabela de equipamentos	62

LISTA DE ABREVIATURAS

FV	Fotovoltaico
SFV	Sistema Fotovoltaico
SFVI	Sistema Fotovoltaico Isolado

LISTA DE SIGLAS

CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
MPPT	<i>Maximum Power Point Tracking</i>
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

LISTA DE ACRÔNIMOS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CEPEL	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
CTA	Centro Tecnológico da Aeronáutica
IME	Instituto Militar de Engenharia
INT	Instituto Nacional de Tecnologia
MME	Ministério de Minas e Energia
SWERA	<i>Solar and Wind Energy Resource Assessment</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	TEMA	12
1.1.1	Delimitação do Tema.....	12
1.2	PROBLEMAS E PREMISSAS	12
1.3	OBJETIVOS	13
1.3.1	Objetivo Geral.....	13
1.3.2	Objetivos Específicos	13
1.4	JUSTIFICATIVA	13
1.5	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	14
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	14
2	REVISÃO BIBLIOGRAFICA.....	15
2.1	ENERGIA RENOVÁVEL.	15
2.2	MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA.....	16
2.3	HISTÓRIA DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	17
2.4	ENERGIA SOLAR NO BRASIL	18
2.5	RECURSO SOLAR	18
2.6	ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	19
2.6.1	Radiação Solar.	20
2.6.2	Banco de dados de Irradiação.....	22
2.6.3	Irradiação no estado do Paraná.	24
2.7	SISTEMAS FOTOVOLTAICOS - SFV	25
2.7.1	Sistema Fotovoltaico Isolado -SFVI.....	26
2.7.2	Componentes do Sistema Fotovoltaico Isolado	27
2.7.2.1	Módulos Fotovoltaicos.....	27
2.7.2.2	Baterias .29	
2.7.2.3	Inversor / Conversor	31
2.7.2.4	Controlador de Carga	32
3	PROJETO	33
3.1	DIMENSIONAMENTO SFVI.....	33

3.1.1	Equações Necessárias para o Dimensionamento do Projeto.....	35
3.1.1.1	Potência do painel.....	35
3.1.1.2	Área necessária para instalação do painel.....	36
3.1.1.3	Inversores.....	36
3.1.1.4	Banco de baterias.....	37
3.1.1.5	Controlador de carga.....	38
3.1.1.6	Dimensionamento dos condutores;.....	38
3.1.2	Estimativa do Consumo Médio Diário das Residências.....	39
3.1.2.1	Consumo estimado casa 01.....	40
3.1.2.2	Consumo estimado casa 02.....	41
3.1.2.3	Consumo estimado casa 03.....	42
3.1.3	Consumo Médio Diário com otimização de cargas e iluminação.....	43
3.1.4	Irradiação diária média incidente no plano Horizontal.....	44
3.1.5	Memorial de Cálculo.....	48
3.1.5.1	Determinação da potência do painel.....	48
3.1.5.2	Estimativa da área para instalação do SFVI.....	50
3.1.5.3	Dimensionamento dos módulos FV.....	51
3.1.5.4	Dimensionamento das Baterias.....	53
3.1.5.5	Dimensionamento do Inversor.....	56
3.1.5.6	Dimensionamento Controlador de carga.....	57
3.1.5.7	Dimensionamento dos condutores.....	58
3.1.6	Resumo equipamentos utilizados.....	62
4	CONCLUSÃO	63

1 INTRODUÇÃO

A Crise energética que no decorrer dos anos ganhou destaque no mundo fez com que a busca por energias alternativas fosse cada vez mais assídua, e com isso as fontes alternativas mais exploradas.

Devido à alta participação de fontes não renováveis de energia na matriz elétrica mundial, associada as emissões dos gases causadores do efeito estufa e ao aquecimento global, várias iniciativas têm ocorrido ao longo dos anos com o objetivo de tornar a matriz elétrica mais limpa e mais sustentável. Das fontes renováveis em evidência, uma das fontes energéticas mais promissoras é a solar fotovoltaica (TIEPOLO,2015).

A sustentabilidade e a preocupação na redução de poluentes e impactos ambientais são assuntos que ganharam espaço em todos os setores, tanto na indústria quanto na sociedade e a geração de eletricidade através da luz solar é uma alternativa de grande potencial.

A energia solar fotovoltaica é a energia obtida através da conversão direta de luz em eletricidade (Efeito Fotovoltaico), sendo a célula fotovoltaica, um dispositivo fabricado com material semicondutor, a unidade fundamental desse processo de conversão (PINHO; GALDINO, 2014).

Para que seja possível a correta instalação de um sistema fotovoltaico, seja ele isolado ou conectado à rede é necessário se atentar a vários fatores os quais influenciam diretamente na captação de energia. Mesmo com as diferentes características climáticas no Brasil, a média anual de irradiação global é relativamente alta em todo país, índices estes superiores aos de países líderes no setor fotovoltaico como a Alemanha. Porém o aproveitamento da energia solar no território brasileiro ainda é baixo, comparada a mundial, sendo necessário investimentos e possíveis financiamentos por parte do governo, de tal forma que isso sirva para difundir a tecnologia.

Uma das vantagens dos sistemas fotovoltaicos é a aplicação em meios urbanos, devido ao grande consumo de energia gerada de fonte convencional (URBANETZ, 2010).

De acordo com Urbanetz (2010), “Buscar o equilíbrio entre desenvolvimento e uso de formas de energia disponíveis, bem como aplicar técnicas de conservação

de energia, passa a ser o desafio das nações desenvolvidas ou em processo de desenvolvimento”.

A utilização da energia solar traz benefícios a longo prazo para o país, viabilizando o desenvolvimento de regiões remotas onde o custo de eletrificação pela rede convencional é demasiadamente alto com relação ao retorno financeiro do investimento, regulando a oferta de energia em períodos de estiagem, diminuindo a dependência do mercado de petróleo e reduzindo as emissões de gases poluentes na atmosfera (PEREIRA et al., 2006).

1.1 TEMA

Este trabalho tem como tema base identificar as cargas e o consumo diário de 03 residências, localizadas em Pedra Chata, município de Guaraqueçaba, litoral no Paraná e dimensionar um sistema fotovoltaico para suprir a necessidade elétrica apenas das cargas essenciais.

1.1.1 Delimitação do Tema

Dimensionar um projeto fotovoltaico isolado, em Pedra Chata, município de Guaraqueçaba-Pr, com as principais cargas de 03 residências. Este trabalho não irá abranger a viabilidade econômica do sistema.

1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS

As frequentes interrupções de energia elétrica na região de Guaraqueçaba, litoral do Paraná, que é fornecida pela concessionária, e a morosidade do restabelecimento dessa energia, que é de aproximadamente de 02 a 03 dias, além das inúmeras perdas, surgiu a ideia de dimensionar um projeto fotovoltaico isolado, para que seja utilizado para alimentar as cargas identificadas como principais a fim de que os problemas gerados sejam amenizados e/ou até mesmo sanados com o sistema instalado.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Dimensionar um sistema fotovoltaico isolado, necessário para suprir a demanda elétrica de 03 residências, com base no levantamento de algumas cargas essenciais. Este projeto será utilizado somente em momentos críticos.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Buscar conhecimento aprofundado do Sistema Fotovoltaico isolado.
- Listar todas as cargas;
- Identificar as cargas essenciais e o consumo diário das 03 residências;
- Elaborar o projeto fotovoltaico isolado para cargas essenciais;
- Concluir análise dos resultados.

1.4 JUSTIFICATIVA

Visando minimizar os problemas de interrupções de energia frequentes, buscou-se projetar um Sistema Fotovoltaico Isolado. Além de que a busca pelo desenvolvimento sustentável e energia contínua e a preocupação com o meio ambiente, fez com que cada vez mais o país estivesse voltado ao tema de energia renovável e com isso surgiu a ideia de projetar o SFVI.

O projeto tende a proporcionar melhores condições de vida assim como conscientizar sobre a energia renovável e limpa visto que a localidade de Pedra-Chata, situada em Guaraqueçaba encontra-se dentro de uma área de preservação Ambiental.

1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Na primeira parte será feita uma revisão bibliográfica sobre os temas: energias renováveis, matriz energética, banco de irradiação, componentes de um sistema fotovoltaico isolado.

Na segunda parte serão levantados, através de pesquisa de campo, o consumo de energia elétrica de 03 casas.

Na terceira parte será conhecida área destinada para a implantação do sistema SFVI. Após estes procedimentos será possível concluir qual a potência de energia necessária para o dimensionamento do projeto.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO.

No capítulo 1 é apresentada uma introdução sobre o assunto a ser abordado de uma maneira resumida e as justificativas que levaram a elaborar este trabalho.

O capítulo 2 apresenta o embasamento teórico, e quais as tecnologias relacionadas ao trabalho.

O capítulo 3 destina-se ao estudo de caso do dimensionamento do projeto de um sistema solar fotovoltaico. Apresenta o local a ser efetuada a instalação dos painéis. Neste capítulo também estão incluídos os cálculos referentes ao projeto fotovoltaico.

O capítulo 4 trata das conclusões do trabalho além de pretensões futuras.

2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

2.1 ENERGIA RENOVÁVEL.

As energias renováveis são aquelas que podem ser usadas continuamente e por longos períodos de tempo, visto que não se acabam por estarem em constante renovação. Alguns exemplos desta são a hidrelétrica, energia eólica, oceânica, solar fototérmica, energia geotérmica e energia solar fotovoltaica. Em linhas gerais, são as que não se apoiam no consumo de recursos que são reconhecidamente limitados e cujo uso não resulta no seu esgotamento (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

As fontes renováveis de energia podem ter um importante papel na substituição dos combustíveis fósseis, como de fato ocorre nos países em desenvolvimento, onde geradores eólicos auxiliam no crescimento de sistemas energéticos com baixas emissões de carbono (BORGES NETO e CARVALHO, 2012).

É possível dizer que dentre muitas coisas importantes que ocorreram no mundo muitas delas estão diretamente relacionadas com a energia, porém a discussão sobre a energia renovável, no entanto, é mais recente e isso é devido ao rápido esgotamento e poluição gerada por formas mais tradicionais de geração de energia menos sustentáveis. Entre as principais energias renováveis destacam-se a Solar, Eólica, Etanol, Biodiesel, Biomassa e Biogás.

Dentre as fontes renováveis de energia, a geração solar por células fotovoltaicas tem ganhado espaço nos sistemas elétricos ao redor do mundo, tanto em locais isolados quanto conectadas aos sistemas de distribuição. Um dos motivos para tal crescimento dessa tecnologia é redução dos custos de implantação de painéis fotovoltaicos.

Através da conversão direta da energia solar em energia elétrica, por meio do efeito fotovoltaico, a energia solar fotovoltaica faz uso de células constituídos de materiais semicondutores para criar uma diferença de potencial elétrico. A partir desta, começa a ocorrer o fluxo de elétrons de uma extremidade do painel para outra, gerando a corrente elétrica, que é coletada e processada por dispositivos resultando em energia própria para consumo direto, armazenamento ou fornecimento à rede elétrica (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

Segundo Villalva e Gazoli (2012), a participação das fontes renováveis de energia no mundo terá no topo, a partir de 2030, larga participação da energia solar térmica e da fotovoltaica, além de outras fontes renováveis, com o gradual desaparecimento dos combustíveis fósseis.

2.2 MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA

Segundo Tiepolo (2016) no Brasil a menor irradiação solar global ocorre no litoral norte de Santa Catarina, caracterizado pela ocorrência de precipitação bem distribuída ao longo do ano, com valores de 4,25 kWh/m².dia.

Em 2015, as fontes renováveis no Brasil totalizaram participação de 41,2% na matriz energética, indicador quase três vezes superior ao indicador mundial, de apenas 13,8%. Isso vem ocorrendo devido as grandes transformações ocorridas no setor energético o qual vem incentivando o crescimento das fontes renováveis (MME, 2016).

O modelo energético brasileiro apresenta um forte potencial de expansão, o que resulta em uma série de oportunidades de investimento de longo prazo. A estimativa do MME para o período 2008-2017 indicava aportes públicos e privados da ordem de R\$ 352 bilhões para a ampliação do parque energético nacional (MME, 2010).

Como já previsto em 2016 pelo boletim Mensal de energia elaborado pelo MME, a predominância de fontes renováveis na matriz energética brasileira deve se manter estável no ano de 2017, com a participação de 43,8% do total. O desempenho reflete as transformações ocorridas no setor energético nacional, que tem incentivado tanto o crescimento dessas fontes quanto a diversificação da matriz nos últimos anos (MME, 2017).

Segundo ANEEL a capacidade de geração de energia elétrica no Brasil está com um total de 4.677 empreendimentos em operação totalizando 152.178.390 kW de potência instalada. Além disso, estão previstas para os próximos anos uma adição de 24.547.602 kW na capacidade de geração do País, proveniente dos 269 empreendimentos atualmente em construção e mais 548 empreendimentos com construção não iniciada, conforme figura 1.

Tipo	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	%
CGH	614	544.891	546.891	0,36
EOL	443	10.815.739	10.781.843	7,06
PCH	433	4.984.594	4.973.100	3,26
UFV	50	148.214	144.214	0,09
UHE	217	101.138.278	93.216.340	61,05
UTE	2.924	42.749.103	41.045.810	26,88
UTN	2	1.990.000	1.990.000	1,3
Total	4.683	162.370.819	152.698.198	100

Figura 1: Empreendimentos em operação

Fonte: ANEEL, 2017

2.3 HISTÓRIA DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Em 1839, o francês Alexandre Edmond Becquerel descobriu o efeito fotovoltaico, o próximo passo veio em 1873, quando o Inglês engenheiro electricista Willoughby Smith descobriu o efeito fotovoltaico em sólidos. Neste caso sobre selênio. Logo após em 1877, o inglês William Grylls Adams Professor de Filosofia junto com seu aluno Richard Evans Day, descobriu que quando selênio exposto à luz gerava eletricidade e assim foi criada a primeira célula fotovoltaica de selênio (PINHO e GALDINO, 2014).

O desenvolvimento dos módulos fotovoltaicos teve início no Brasil em 1950 no (INT) - Instituto Nacional de Tecnologia e no (CTA) - Centro Tecnológico de Aeronáutica (PINHO e GALDINO, 2014).

Em 1970 teve início aos desenvolvimentos a tecnologia de filmes finos no Instituto Militar de Engenharia (IME), já os anos 80 duas fábricas de módulos fotovoltaicos de silício cristalino, deram início no Brasil (PINHO e GALDINO, 2014).

Já em 1990 as células de silício foram desenvolvidas para serem testadas no primeiro satélite brasileiro.

No início do século XXI com o avanço nas tecnologias de fabricação das células e módulos fotovoltaicos, infelizmente o Brasil não conseguiu acompanhar a evolução, porém em 2001 uma iniciativa do governo federal resultou em um crescimento de P&D (PINHO e GALDINO, 2014)

Atualmente no Brasil existem laboratórios, especialistas e centros de pesquisas atuando diretamente no desenvolvimento de tecnologias porem ainda não

foi atingido o nível de aperfeiçoamento tecnológico existentes em países desenvolvidos, porém ainda são necessários esforços para tal sucesso.

2.4 ENERGIA SOLAR NO BRASIL

O Brasil está situado quase que totalmente na região limitada pelos Trópicos de Câncer e de Capricórnio. Esta condição favorece elevados índices de incidência da radiação solar em quase todo o território nacional, inclusive durante o inverno, o que confere ao país condições vantajosas para o aproveitamento energético do recurso solar (TOMALSQUIM,2016).

O Brasil, por ser um país localizado na sua maior parte na região inter-tropical, possui grande potencial para aproveitamento de energia solar durante todo ano (PEREIRA et al. 2006).

A utilização da energia solar traz benefícios a longo prazo para o país, viabilizando o desenvolvimento de regiões remotas onde o custo da eletrificação pela rede convencional é demasiadamente alto com relação ao retorno financeiro do investimento, regulando a oferta de energia em períodos de estiagem, diminuindo a dependência do mercado de petróleo e reduzindo as emissões de gases poluentes à atmosfera (PEREIRA et al. 2006).

No entanto, hoje em dia essa energia ainda tem uma participação incipiente na matriz energética brasileira, apenas a energia solar térmica para aquecimento de água tem despertado interesse no mercado nacional (PEREIRA et al. 2006).

2.5 RECURSO SOLAR

O Sol é composto de uma mistura de gases, em cujo interior a fusão nuclear converte hidrogênio em hélio, elemento de menor massa atômica, da qual resulta a liberação de energia (TOMALSQUIM, 2016).

A energia solar está relacionada a todas as interações e conversões que o Sol realiza ao interagir com os alvos na Terra. Com poucas exceções, praticamente toda energia utilizada pelo ser humano tem origem no Sol, caracterizando-o como a principal fonte de energia do nosso planeta (VILLALVA; GAZOLI, 2012)

A energia proveniente do sol é uma forma de energia renovável e praticamente inesgotável que pode ser aproveitada pela sociedade para suprir suas necessidades energéticas (TOMALSQUIM, 2016).

É a principal fonte de energia para a Terra. Além de ser responsável pela manutenção da vida no planeta. A radiação solar constitui-se numa inesgotável fonte energética, havendo um enorme potencial de utilização por meios de sistemas de captação e conversão em outra forma de energia como por exemplo, a térmica e elétrica (PINHO e GALDINO, 2014).

É a fonte de energia menos finita e poluente conhecida até o momento, sendo a radiação solar que incide sobre a Terra a cada 3 dias proporcional a toda energia armazenada nas reservas de combustíveis fósseis. Quando no âmbito diário, é equivalente a toda energia consumida no mundo por 27 anos (LOPEZ, 2012).

2.6 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

A conversão direta da energia solar, nas formas de luz e calor, sobre esses materiais caracteriza o efeito fotoelétrico, onde alguns fótons contidos na luz fornecem energia elétrica utilizando células solares, enquanto o efeito fotoelétrico funciona a partir da junção, em condições específicas, de dois metais (LOPEZ, 2012).

O efeito fotovoltaico, embora seja comumente associado ao fototérmico, consiste na transformação da radiação eletromagnética do Sol em energia elétrica, por meio da criação de um diferencial de potencial elétrico sobre uma célula, constituído de materiais semicondutores intercalados. Na ocorrência da conexão de ambos a dois eletrodos, é gerada uma tensão elétrica e, caso exista um caminho elétrico entre os eletrodos, ocorre uma corrente elétrica (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

Diariamente incide sobre a superfície da terra mais energia vinda do sol do que a demanda total de todos os habitantes do planeta em um ano. Dentre as diversas aplicações da energia solar, a geração direta de eletricidade através do efeito fotovoltaico se apresenta como uma das mais elegantes formas de gerar potência elétrica (RÜTHER, 2004).

2.6.1 Radiação Solar.

A radiação solar é a forma de transferência de energia advinda do sol, através da propagação de ondas eletromagnéticas (URBANETZ, 2016).

A transmissão da energia do Sol até a Terra se dá pela radiação eletromagnética. Essa radiação é resultado dos raios que, em um primeiro momento, chegam à Terra em linha reta mas, ao cruzarem a atmosfera, uma parcela deles sofre difusão e a outra segue seu percurso resultando, respectivamente, na radiação difusa e na radiação direta. O calor é a transformação da energia eletromagnética em energia térmica pelos materiais que recebem sua radiação, que também pode ser transformada em energia cinética, dependendo do corpo que incide (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

A radiação solar que atinge a superfície terrestre pode ser decomposta em planos. No plano horizontal, a radiação global consiste na soma das componentes direta e difusa, enquanto que num plano inclinado, além das duas componentes citadas, é acrescida de uma parcela refletida na superfície e nos elementos do entorno (TOLMASQUIM, 2016).

Segundo Pinho e Galdino (2014), considerando a radiação solar que chega à superfície terrestre e incidente sobre uma superfície receptora para geração de energia, tem-se que ela é constituída por uma componente direta (ou de feixe) e por uma componente difusa. A radiação direta é aquela que provêm diretamente da direção do Sol e produz sombras nítidas. A difusa é aquela proveniente de todas as direções e que atinge a superfície após sofrer espalhamento pela atmosfera terrestre.

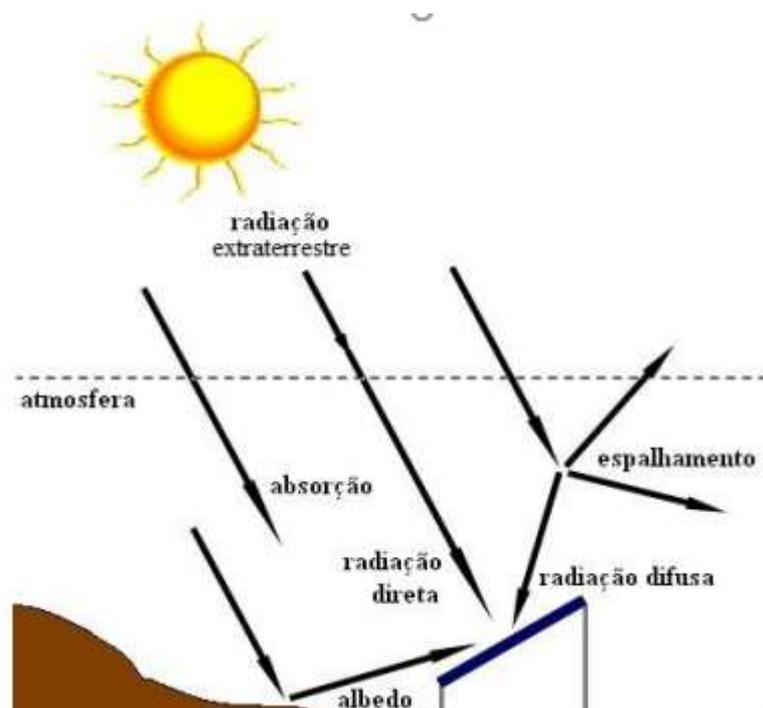


Figura 2: Componentes da radiação solar

Fonte: Pinho e Galdino, 2014.

A medição da radiação solar, tanto global como das componentes direta e difusa, na superfície terrestre e de grande importância para os estudos das influências das condições climáticas e atmosféricas, como também para o desenvolvimento de projetos que visam a captação e a conversão da energia solar. Com o histórico dessas medições pode-se viabilizar a instalação de sistemas fotovoltaicos em uma determinada região, garantindo o máximo de aproveitamento de recursos ao longo do ano, onde as variações da intensidade da radiação solar sofrem significativas alterações (PINHO e GALDINO, 2014).

O conhecimento da radiação solar incidente é importante para áreas da atividade humana como, por exemplo, a meteorologia e a climatologia (PEREIRA et al., 2006).

Segundo Urbanetz (2016), as radiações emitidas pelo Sol atingem a camada externa da atmosfera terrestre com intensidade que depende da distância Sol-Terra.

- A intensidade média é conhecida como “constante solar” (G_{AM0})

$$G_{AM0} = 1.367 \text{ W/m}^2$$

- Na superfície terrestre a intensidade de radiação máxima é cerca de $G_{HOR} = 1.000 \text{ W/m}^2$.

Segundo Tolmasquim (2015), irradiância solar varia de acordo com a posição terrestre e o consequente ângulo de incidência dos raios solares.

Dessa forma regiões próximas as linhas do equador apresentam menor variação da irradiação ao longo do ano, enquanto que localidades em grandes latitudes apresentam os maiores valores de irradiação em meses do verão, mas durante o inverno apresentam os menores, de modo que a energia anual total recebida seja menos nas maiores latitudes.

2.6.2 Banco de dados de Irradiação.

O objetivo do Atlas Brasileiro de Energia Solar é divulgar o levantamento da disponibilidade de energia solar no território brasileiro utilizando um modelo de transferência radiativa alimentado por dados climatológicos e de 10 anos de informações extraídas de imagens de satélite geoestacionário e validado por dados coletados em estações de superfície. O mapeamento do potencial energético solar apresentado neste documento é um dos produtos gerados pelo Projeto SWERA (PEREIRA et al., 2006).

A irradiação global horizontal é energia solar recebida por uma superfície horizontal ao solo, essa informação é aplicada para projetos de sistemas solares quando a inclinação dos painéis é diferente da latitude do local, ou o desvio azimutal diferente de 0° . Já a irradiação no plano inclinado é a energia solar recebida posicionada com inclinação igual latitude do local é aplicada para projetos de sistemas fotovoltaicos quando a inclinação dos painéis é igual latitude do local e o desvio azimutal igual a 0.

Para que seja possível dimensionar adequadamente um projeto fotovoltaico isolado é necessário ter conhecimento da irradiação local onde se deseja instalar o sistema. A figura 3 mostra as regiões do Brasil onde a irradiação é mais incidente. Pode-se observar que a região nordeste do Brasil é a que apresenta maiores níveis de radiação.

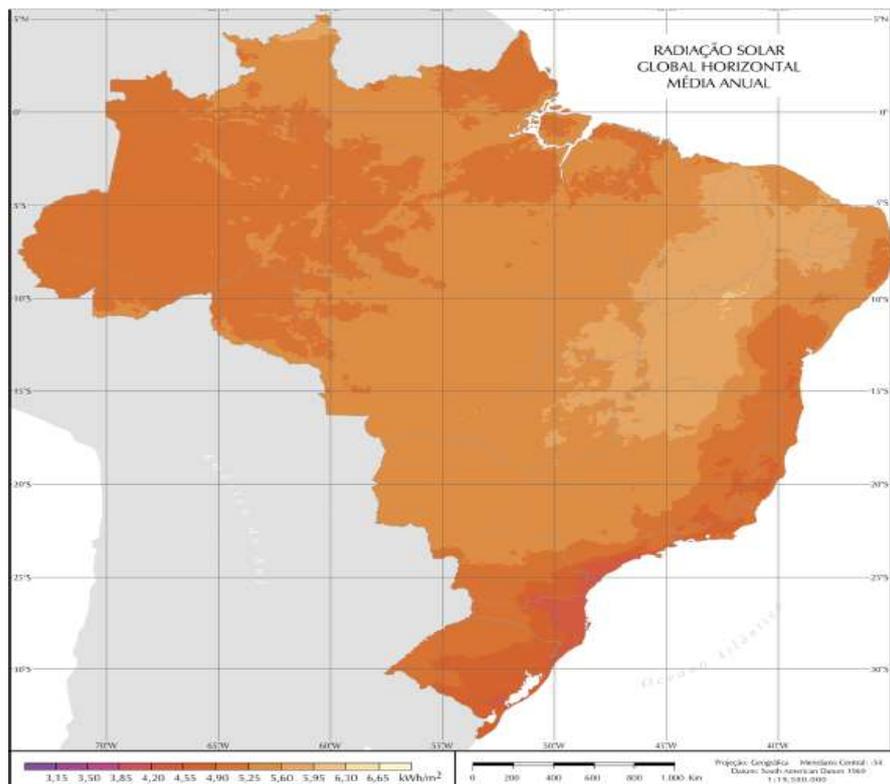


Figura 3: Mapa de irradiação solar global horizontal - Média Anual.

Fonte: PEREIRA et al., 2016

Na figura 4 apresenta as regiões onde a irradiação solar é maior no Brasil, indicando, inicialmente, as melhores áreas para o aproveitamento solar. É possível observar que o oeste da Bahia é um dos lugares mais favoráveis, bem como o Vale do São Francisco, Piauí, Mato Grosso do Sul, leste de Goiás e oeste do Estado de São Paulo (TOLMASQUIM, 2016).



Figura 4: Mapa de irradiação solar direta normal - Média Anual.

Fonte: Tolmasquim, 2016.

Os valores de irradiação solar são apenas orientações para auxiliar no dimensionamento do sistema fotovoltaico, pois são valores consolidados de um histórico de medições que varia ao longo dos anos. O valor de irradiação solar depende da localidade onde se deseja instalar o sistema (CRESESB, 2017)

2.6.3 Irradiação no estado do Paraná.

A irradiação solar global apresenta maior variação inter-sazonal na região Sul, além disso também são observados os menores valores de irradiação global no Brasil, notadamente na costa norte do estado de Santa Catarina, litoral do Paraná e litoral sul de São Paulo. As características de clima temperado dessa região e a influência de sistemas frontais associados ao Anticiclone Polar Antártico contribuem para o aumento da nebulosidade na região, principalmente durante os meses de Inverno (PEREIRA et al., 2006).

A média do estado do Paraná é praticamente igual à média obtida no Brasil (diferença inferior a 1%). Entretanto, o estado do Paraná apresenta uma média apenas de 3,34% inferior a inferior à média do estado da Bahia (TIEPOLO, 2016). A tabela 1 mostra a produtividade no Paraná da irradiação no plano inclinado.

Tabela 1: Irradiação no plano inclinado e Produtividade no Paraná

Meses	Irradiação (H_{TOT}) Diária média Mensal e Sazonal em kWh/m ² .dia			Produtividade Gerada Estimada Diária média Mensal e Sazonal em kWh/kWp.dia para SFV com inclinação igual a latitude, orientação norte e TD 75%		
	Mínima	Máxima	Média	Mínima	Máxima	Média
JANEIRO	4,66	6,46	5,73	3,50	4,85	4,30
FEVEREIRO	4,88	6,13	5,74	3,66	4,60	4,30
MARÇO	5,01	6,34	5,95	3,76	4,76	4,46
ABRIL	4,53	5,96	5,45	3,40	4,47	4,09
MAIO	4,15	5,16	4,79	3,11	3,87	3,59
JUNHO	3,86	5,22	4,79	2,90	3,92	3,59
JULHO	3,61	5,32	4,66	2,71	3,99	3,50
AGOSTO	4,31	6,04	5,59	3,23	4,53	4,19
SETEMBRO	4,05	6,08	5,57	3,04	4,56	4,18
OUTUBRO	4,42	6,34	5,59	3,32	4,76	4,20
NOVEMBRO	4,61	6,10	5,73	3,46	4,58	4,30
DEZEMBRO	4,65	6,15	5,74	3,49	4,61	4,30
PRIMAVERA	4,48	6,08	5,63	3,36	4,56	4,22
VERÃO	4,76	6,21	5,73	3,57	4,66	4,30
OUTONO	4,63	5,77	5,40	3,47	4,33	4,05
INVERNO	4,03	5,47	5,01	3,02	4,10	3,76

Fonte: Tiepolo, 2015.

2.7 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS - SFV

Os SFV são compostos por um ou mais módulos fotovoltaicos e demais equipamentos. Os módulos são necessários para produzir energia na forma de corrente e tensão contínua, mas para algumas aplicações é necessário converter esta energia em tensão e corrente alternada através de inversores eletrônicos.

Os equipamentos utilizados pelo sistema fotovoltaico vão depender da finalidade e do uso, dentre essas variações estão os sistemas isolados, os sistemas conectados à rede elétrica e os sistemas híbridos (LOPEZ, 2012).

Segundo Borges Neto; Carvalho (2012), a redução dos custos através do aumento da eficiência tem sido o principal foco dos pesquisadores. O uso de acompanhadores solares é um exemplo, uma vez que o seu emprego provoca ganhos entre 35 e 40% na eficiência apresentada quando deste tipo de composição.

Segundo Tiepolo (2013) afirma-se que a expansão das aplicações fotovoltaicas no país, que inicialmente era empregada somente em universidades e centros de pesquisa, resultou na redução de custos aproximada de 40% entre 1996 e 2006, atingindo 60% de queda no período entre 2009 e 2011.

Em algumas instalações, principalmente isoladas é necessário armazenar energia, requerendo, portanto, a utilização de baterias. Nesse sistema, ocorre o carregamento de baterias e em muitos casos requer um controlador de carga, que é um dispositivo usado para regular a carga da bateria e aperfeiçoar a produção de energia do painel fotovoltaico, nessa monografia vamos conhecer mais sobre esses equipamentos e suas aplicações.

No Brasil existem locais que ainda não são atendidas por rede elétrica como pontos isolados e com pouco fluxo de pessoas, como fazendas, ilhas, comunidades isoladas, por exemplo, um sistema fotovoltaico pode ser a melhor escolha para a geração local de eletricidade ou até mesmo para atendimento exclusivamente para cargas essenciais não sendo necessária a total anulação da energia vinda da concessionária. Ainda que o sistema seja com custo elevado muitos usuários residenciais estão optando por este sistema por motivos ambientais, além de poder se respaldar com relação os aumentos do preço de energia elétrica.

2.7.1 Sistema Fotovoltaico Isolado -SFVI

Os sistemas isolados são aqueles compostos pela unidade geradora, equipamento controlador de potência e dispositivo de armazenamento. Para o abastecimento de equipamentos que demandem corrente alternada, é necessária a adoção de inversores, que transformam a corrente contínua produzida pelos módulos em corrente alternada (LOPEZ, 2012).

O SFVI não necessita da rede elétrica este sistema é composto por: um painel fotovoltaico alimentando diretamente uma carga com um dispositivo de armazenamento de energia (bateria), um controlador de carga (para regular o carregamento da bateria) e um conversor (um Inversor CC-CA), que fornece a alimentação adequada para cargas.

Os sistemas fotovoltaicos isolados, além da necessidade de um banco acumulador de energia, também devem ser dimensionados levando-se em

consideração o pior caso de oferta solar e a sazonalidade que ocorre na maioria das regiões do globo. Sendo assim, para alguns períodos do ano, o sistema fotovoltaico isolado frequentemente estará superdimensionado, o que eleva seus custos de instalação (RÜTHER, 2004).8]

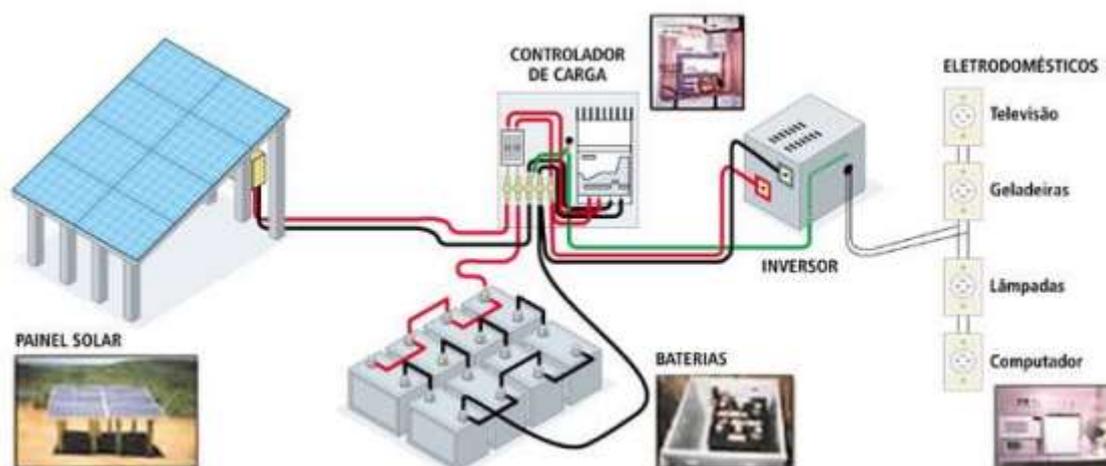


Figura 5: Aproveitamento de energia solar.

Fonte: CRESESB, 2006.

Na figura 5 é possível observar a forma de instalação do SFVI, como já citado, esse sistema é muito utilizado em regiões com difícil acesso à energia elétrica ou para quem quer otimizar seus gastos de forma a reduzir os custos sendo utilizado apenas para cargas essenciais.

2.7.2 Componentes do Sistema Fotovoltaico Isolado

2.7.2.1 Módulos Fotovoltaicos

O módulo fotovoltaico é a unidade básica de todo o sistema é composto por células conectadas em arranjos produzindo tensão e corrente suficientes para a utilização da energia (CEPEL-CRESESB, 2004).

Os módulos são associados em série e paralelo para formar os arranjos de geração com a tensão e a corrente desejadas. A geração é feita em corrente contínua (CC), portanto, geralmente é necessário o uso de um inversor para transformá-la em

corrente alternada (CA), podendo assim ser utilizada normalmente em aplicações convencionais conectadas à rede e em sistemas isolados (TOLMASQUIM, 2016).

Os semicondutores mais apropriados à conversão da luz solar são os mais sensíveis, ou melhor, aqueles que geram o maior produto corrente-tensão para a luz visível, já que a maior parcela de energia fornecida pelos raios do sol está dentro da faixa visível do espectro (CEPEL-CRESESB, 2004).

A célula fotovoltaica é o principal elemento para a geração de energia solar. Um painel é composto por células fotovoltaicas conectadas em arranjos para produzir tensão e corrente suficientes para a utilização prática da energia, ao mesmo tempo em que promove a proteção das células (PINHO; GALDINO, 2014).

As células fotovoltaicas produzidas em larga escala e disponíveis comercialmente são constituídas de silício monocristalino, policristalino ou amorfo. O silício é o material semicondutor mais usado devido ao fato de sua tecnologia de fabricação já estar bem desenvolvida e sua matéria-prima ser barata, não tóxica e abundante (VILLALVA, 2015).

A figura 6, apresenta os principais tipos de células fotovoltaicas.

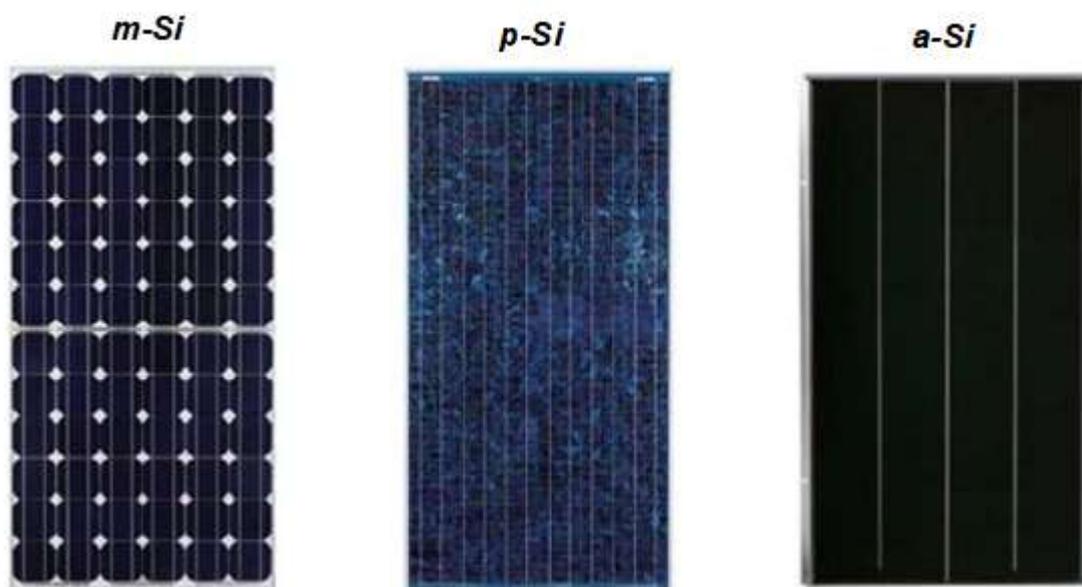


Figura 6: Módulos fotovoltaicos de Silício Monocristalino, Policristalina e amorfo.

Fonte: Mundo solar, 2014

Segundo Villalva, (2015), as células de silício monocristalino são as mais eficientes produzidas em larga escala. Alcançam eficiência de 15% a 18%, mas têm um custo de produção mais elevado do que outros tipos de células. É formado a partir de blocos de silício ultrapuro, que são aquecidos em altas temperaturas e submetidos a um processo de formação de cristal chamado método de Czochralski. O produto resultante desse processo é o lingote de silício monocristalino, que é constituído de uma estrutura cristalina única e possui organização molecular homogênea, o que lhe oferece aspecto brilhante e uniforme.

As células de silício policristalino apresentam manchas devido ao tipo de silício empregado em sua fabricação, elas possuem eficiência entre 13% e 15%, e seu custo de fabricação é menor do que as células monocristalinas, tendo melhor custo benefício é fabricado por um processo mais barato do que aquele empregado na fabricação do monocristalino. (VILLALVA, 2015).

Diferente das células cristalinas que são produzidas a partir de fatias de lingotes de silício, os dispositivos de filmes finos são fabricados através da deposição de finas camadas de materiais (silício e outros) sobre uma base que pode ser rígida ou flexível (VILLALVA, 2015).

O nome filme fino é usado para designar diferentes tecnologias que existem atualmente, como silício amorfo, o silício microcristalino, a tecnologia de telureto de cádmio e a cobre-índio-gálio-selênio (VILLALVA, 2015).

2.7.2.2 Baterias

Uma bateria é um conjunto de células ou vasos eletroquímicos, conectados em série e/ou em paralelo, capazes de armazenar energia elétrica na forma de energia química por meio de um processo eletroquímico de oxidação e redução que ocorre no seu interior. Quando uma bateria carregada é conectada a uma carga elétrica, ocorre o processo reverso, ou seja, uma corrente contínua é produzida pela conversão de energia química em energia elétrica (PINHO e GALDINO, 2014).

No sistema isolado de geração, o uso da bateria permite a linearidade durante o fornecimento de energia, evitando o desperdício de carga gerada quando o

consumo é baixo, ou ainda armazenando energia quando houver pouca ou nenhuma radiação.

A bateria indicada para a utilização em um sistema fotovoltaico isolado é a estacionária, esse modelo proporciona cargas a uma grande profundidade, garantido assim uma maior vida útil comparado aos outros tipos de baterias.

A capacidade de uma bateria é o quanto de corrente ela consegue gerar por hora, por isso a escolha da mesma será feita de acordo com o tamanho do sistema que deseja gerar e o seu tempo de autonomia.

A bateria usada em um sistema fotovoltaico deve atender a dois tipos de ciclos, são eles: ciclos rasos a cada dia e ciclos profundos por vários dias, este último nos revela ciclos em dias nublados e durante o inverno (VILLALVA, 2014).



Figura 7: Vida útil x Temperatura de trabalho.

Fonte: BOSCH, 2015

Na figura 7 é possível observar que a vida útil de uma bateria pode ser influenciada pela temperatura de operação e pelas profundidades de descarga. Sabe-se que ambientes de temperatura controlada contribuem para o aumento da vida útil da bateria, em contrapartida, a elevação da temperatura implica na redução no seu tempo de vida.

Segundo Villalva e Gazoli, 2012, se a bateria for descarregada moderadamente, ela terá uma vida útil maior, podendo ser carregada e descarregada muitas vezes.



Figura 8: Ciclos x Profundidade de descarga

Fonte: BOSCH, 2015

Acima na figura 8 é possível observar o ciclo de vida da bateria em função da profundidade da descarga.

2.7.2.3 Inversor / Conversor

Os inversores são dispositivos eletrônicos que fornecem energia elétrica em corrente alternada a partir de uma fonte de energia elétrica em corrente contínua (PINHO & GALDINO, 2014).

Quando a energia dos módulos solares é armazenada e gerada em corrente contínua é necessário um equipamento eletrônico para a conversão dessa corrente contínua em alternada. O inversor ou conversor é o equipamento capaz de converter corrente contínua em alternada (CC-CA) para o funcionamento dos equipamentos eletrônicos tanto de 127V, quanto de 220V.

Inversores eletrônicos para sistemas fotovoltaicos isolados estão disponíveis no mercado em uma vasta gama de potências e tensões de entrada, tipicamente 12V, 24V ou 48V (VILLALVA, 2015).

2.7.2.4 Controlador de Carga

O princípio de funcionamento, da proteção da bateria através dos controladores de carga, consiste em impedir que ela sofra sobrecarga de tensão e prevenir que ela seja completamente descarregada. Ambas as situações acarretam desgaste e, conseqüentemente, diminuição da vida útil da bateria, por isso devem ser controladas (PINHO & GALDINO, 2014).

A ausência do regulador de carga compromete a bateria que será danificada e terá o seu tempo de vida reduzido. Alguns modelos de controlador mais sofisticados dispõem de um recurso titulado de MPPT (Maximum Power Point Tracking –rastreamento do ponto de máxima potência). Através deste aparato, a produção de energia do painel fotovoltaico é melhor aproveitada, aumentando a eficiência do sistema (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

O controlador de Carga tem como função a proteção de sobrecarga. O regulador desliga-se da placa solar quando a bateria se encontra totalmente carregada e também protege de descargas excessivas, pois ao atingir um nível baixo de carga o consumo de energia é interrompida, além disso para os controladores mais sofisticados tem a função de fazer o gerenciamento da carga de bateria, pois possuem algoritmos de múltiplos estágios para a alimentação da bateria.

3 PROJETO

Este trabalho propõe um sistema de fornecimento de energia elétrica com painéis fotovoltaicos. Pretende-se, implementar um sistema isolado capaz de suprir cargas essenciais de 03 (três) residências.

Para que se possa ter sucesso no projeto que está sendo proposto é necessário que os componentes sejam dimensionados corretamente, pois os mesmos influenciam diretamente no funcionamento do sistema.

- Painéis fotovoltaicos: responsáveis pela transformação de energia solar em energia elétrica;
- Controlador de carga: responsável por gerenciar o consumo e o armazenamento da energia gerada;
- Bateria: responsável por armazenar a energia gerada e fornecer quando necessário;
- Inversor de corrente: responsável por inverter a corrente contínua da bateria em alternada e transformar a tensão do barramento CC para 127V_{CA}.

3.1 DIMENSIONAMENTO SFVI

Os sistemas fotovoltaicos isolados são caracterizados por não estarem conectados à rede elétrica. Esse sistema tem por finalidade abastecer diretamente os aparelhos que utilizarão a energia. O SFVI geralmente é utilizado em locais remotos. A energia produzida é armazenada através do banco de baterias o qual garante o abastecimento em períodos sem sol.

O desempenho do conjunto de módulos solares fotovoltaicos pode ser influenciado por vários parâmetros, sendo a radiação solar a principal deles, já que depende fundamentalmente da localização geográfica da instalação, além de sua inclinação e orientação. A temperatura dos painéis, o sombreamento parcial, o descasamento entre os painéis de um mesmo string, a resistência dos condutores e o estado de limpeza dos painéis, também são determinantes no rendimento do sistema (RUTHER, 2004).

Antes de iniciar o dimensionamento do SFVI é fundamental conhecer o local da instalação para que seja feita uma avaliação das condições básicas e assim evitar possíveis erros de produção, consumo de energia e cálculo do custo global do sistema.

O projeto do SFVI – Sistema fotovoltaico isolado será dimensionado na Localidade de Pedra- Chata – Município de Guaraqueçaba, figura 8. A região possui acesso a rede de eletricidade, porém ainda sofre com as interrupções frequentes da rede devido aos elevados índices de temporais na região. Infelizmente também possui uma pequena quantidade de moradores que ainda não tem acesso à energia elétrica pelo difícil acesso e falta de condições financeiras.

As figuras 9 e 10 mostram a localização das residências onde será instalado o SFVI, conforme descrito nessa monografia.



Figura 9: Vista geral da localização captada por drone.

Fonte: Rodrigo Kanning, 2017.



Figura 10: Residências que serão alimentadas pelo SFVI

Fonte: Rodrigo Kanning, 2017.

3.1.1 Equações Necessárias para o Dimensionamento do Projeto.

Para que seja possível chegar aos cálculos corretos do dimensionamento do projeto é necessário levar em consideração as equações necessárias.

3.1.1.1 Potência do painel.

Segundo Urbanetz (2016), a equação dada para calcular a potência é descrita pela Equação 01.

Eq.01

$$P_{FV} = \frac{E \cdot G}{H_{TOT} \cdot R} \cdot F_{CARREG}$$

Onde:

- ✓ **P_{FV}**: Potência Instalada necessária (Wp):

A potência do painel é dada através do levantamento do consumo diário das residências para atender à demanda energética.

- ✓ **E**: Energia demandada pelas cargas diária (Wh/dia).

Levantamento do consumo diário das residências.

- ✓ **G**: Irradiância na condição STC (1.000 W/m²)

- ✓ **H_{TOT}**: Irradiação solar incidente no plano dos módulos FV (Wh/m².dia).

A irradiação solar é dada através do Projeto SWERA pelo histórico no plano global horizontal.

- ✓ **F_{CARREG}**: Fator de carregamento diário das baterias (ex: 1,1)

Fator dado para caracterizar o limite

- ✓ **R**: Rendimento do conjunto de aparelhos e componentes do sistema (ex: 0,65)

3.1.1.2 Área necessária para instalação do painel.

Após encontrada a potência dos painéis é necessário encontrar a área necessária para atendimento da potência instalada. Segundo Urbanetz (2016), a equação é dada e descrita pela Equação 02.

Eq.02

$$A = \left(\frac{P_{FV}}{E_{FF}} \right) \times 100$$

Onde:

- ✓ **A**: Área necessária para instalar esta potência FV
- ✓ **E_{FF}**: Eficiência de conversão da tecnologia fotovoltaica adotada (ex: 15%)

3.1.1.3 Inversores.

O dimensionamento do inversor depende diretamente da escolha do Painel fotovoltaico, onde a potência total do Painel deverá ser menor que a potência máxima admitida pelo Inversor.

As informações necessárias para o dimensionamento dos inversores são as seguintes:

- Tensão CC de entrada (V);
- Tensão CA de saída (V);
- Frequência da tensão de saída (Hz);
- Potência nominal CA de saída (W);

- Potência máxima CA de saída (W);
- Consumo próprio (W);

3.1.1.4 Banco de baterias.

Segundo Urbanetz (2016), o banco de baterias deverá ser dimensionado considerando as equações seguintes:

- ✓ Consumo diário de energia (Wh/dia);
- ✓ Tensão do Barramento CC (V);
- ✓ Autonomia deseje (dias);
- ✓ Máxima profundidade de descarga (%)
- ✓ Máxima profundidade de descarga diária (%)
- ✓ Fator de segurança (Ex. 10%)

As equações necessárias para se chegar no banco de baterias adequado para o sistema são as seguintes:

Eq.3

Consumo em Ah/dia = Consumo diário (Wh/dia) / Tensão do Barramento CC.

Eq.04

Capacidade Preliminar (Ah) = Consumo Ah/ dia X dias de autonomia.

Eq.05

Cap. ajustada em função da máx.prof. de descarga = Capacidade preliminar (Ah) X máx. prof.de descarga.

Eq.06

Cap. ajustada em função da máx.prof. de descarga diária = Consumo (Ah/dia) = X máx. prof.de descarga diária.

Eq.07

Capacidade ajustada em função da profundidade de descarga = maior valor entre capacidade ajustada em função da máxima profundidade de descarga e da máxima profundidade de descarga diária.

Eq. 08

Capacidade ajustada em função do fator de segurança (Ah) = Capacidade ajustada (Ah) X Fator de segurança.

3.1.1.5 Controlador de carga.

O controlado de carga deverá ser dimensionado a partir das informações do arranjo dos painéis, do inversor e do banco de baterias. As informações que devem ser levadas em consideração são as seguintes:

- Tensões nominais de saída;
- Máxima tensão de entrada;
- Corrente nominal;
- Tipo: *on/off*; PWM; MPPT.

3.1.1.6 Dimensionamento dos condutores;

Para o dimensionamento dos condutores do SFVI é necessário levar em consideração algumas informações como:

- Queda de tensão admissível (ΔV em%)
- Comprimento (m);
- Tensão de operação CC ou CA (V);

- Potência ou corrente máxima (W ou A)
- Área da seção transversal (mm²);
- Condutores isolados, expostos à radiação solar, devem ter proteção UV;

Para o dimensionamento dos condutores é necessário considerar 03 trechos, onde o 1º trecho vai estar entre os painéis e o controlador de carga e baterias o 2º trecho está entre o banco de baterias e inversor e o 3º trecho está entre o inversor e carga CA.

Conforme Urbanetz (2016) o dimensionamento dos condutores pode ser calculado através da equação 10.

Eq. 10.

$$S_{cond} = \left(\frac{2.I.P.0,0178}{V^2.\Delta V} \right).100 =$$

3.1.2 Estimativa do Consumo Médio Diário das Residências.

Para o dimensionamento do SFVI é necessário analisar a demanda de energia pela carga, essa análise é necessária para que o sistema seja o mais viável possível. Dessa forma, para a definição do consumo médio diário, é necessário fazer um levantamento dos equipamentos instalados e quais suas potências, além da quantidade de horas e o equipamento que é utilizado durante o dia.

3.1.2.1 Consumo estimado casa 01.

Tabela 2: Consumo estimado casa 01

QUANT.	EQUIPAMENTO	CONSUMO Watts (W)	Tensão (V)	Horas de uso/dia	Consumo Wh/dia
2	Freezer		127		3000
1	Geladeira		127		1200
1	som -sony	300	127	4	1200
2	lâmpada - Cozinha	100	127	5	500
1	lâmpada - banheiro externo	100	127	3	300
1	lâmpada - lavanderia	100	127	4	400
2	lâmpada - Sala	100	127	4	400
4	lâmpada - bar	100	127	8	800
1	lâmpada - banheiro bar	100	127	5	500
1	chuveiro - banheiro interno	5500	127	3	16500
1	chuveiro - banheiro externo	5500	127	1	5500
1	Televisão	85	127	4	340
1	lâmpada - Quarto 01	100	127	2	200
1	lâmpada - Quarto 02	100	127	2	200
1	lâmpada - Quarto -03	100	127	2	200
1	Lâmpada - Banheiro interno	100	127	2	200
Total:					31440

Fonte: Aatoria própria, 2017

Observa-se que que o consumo da casa 01 é bem elevado. É possível verificar que esse consumo é alto devido a utilização de 02 chuveiros e 02 freezers, além da carga de iluminação o qual é utilizada lâmpadas incandescentes. A figura 11 ilustra a vista da casa 01.



Figura 11: Casa 01

Fonte: Aatoria própria, 2017

3.1.2.2 Consumo estimado casa 02

Tabela 3: Consumo estimado casa 02

QUANT.	EQUIPAMENTO	CONSUMO Watts (W)	Tensão (V)	Horas de uso/dia	Consumo Wh/dia
1	Geladeira		127		1200
1	Frezzer		127		1500
1	lâmpada área externa	100	127	4	400
1	chuveiro - banheiro interno	5500	127	2	11000
1	chuveiro - banheiro externo	5500	127	1	5500
2	lâmpada - Cozinha	100	127	2	200
1	lâmpada - Sala	100	127	2	200
1	Lâmpada - Quarto 01	100	127	2	200
1	Lâmpada - Quarto 02	100	127	2	200
1	Lâmpada - Quarto -03	100	127	2	200
1	Lâmpada - Quarto -04	100	127	2	200
1	Lâmpada - Banheiro 1	100	127	2	200
1	Lâmpada - Banheiro 2	100	127	2	200
Total					21200

Fonte: Autoria própria, 2017

Assim como a casa 01 observa-se que o consumo da casa 02 também é elevado, porém é possível verificar que isso é devido a carga elevada da iluminação com utilização de lâmpadas incandescentes. A figura 12 ilustra a vista da casa 02.



Figura 12: Casa 02

Fonte: Autoria própria, 2017

3.1.2.3 Consumo estimado casa 03.

Tabela 4: Consumo estimado casa 03

QUANT.	EQUIPAMENTO	CONSUMO Watts (W)	Tensão (V)	Horas de uso/dia	Consumo W/dia
1	geladeira		127		1200
1	lâmpada - área externa	100	127	3	300
1	som -sony	300	127	2	600
1	chuveiro - banheiro interno	5500	127	2	11000
1	lâmpada - Cozinha	100	127	2	200
1	Lâmpada - Quarto 01	100	127	5	500
1	Lâmpada - Quarto 02	100	127	2	200
1	Lâmpada - Quarto -03	100	127	2	200
1	Lâmpada - Banheiro 1	100	127	2	200
Total					14400

Fonte: Autoria própria, 2017

Observa-se que a casa 03 também possui consumo elevado devido a iluminação com utilização de lâmpadas incandescentes. A figura 13 ilustra a vista da casa 03.



Figura 13: Casa 03

Fonte: Autoria própria, 2017

Após o levantamento das cargas das 3 casas é possível observar através das tabelas de cargas de consumos diários, tabelas 2,3 e 4 que o consumo é bem elevado e isso devido principalmente a iluminação, visto que as lâmpadas que estavam sendo utilizadas são as incandescentes. Diante disso optou-se em elencar apenas cargas essenciais e substituir as lâmpadas incandescentes por lâmpadas de Led

As lâmpadas de Led além de consumirem menos energia elas ainda agredem menos o meio ambiente pois não possuem em sua composição metais pesados e nesse caso não necessitam de descarte especial além de possuir durabilidade superior as tecnologias anteriores. Dessa forma além de reduzirmos o consumo de energia excessivo com a iluminação estamos aplicando a conscientização da eficiência energética.

A aplicação da eficiência energética consiste na forma com que desempenhamos um serviço ou atividade utilizando a menor quantidade de energia possível, ou seja, consiste na relação entre a quantidade de energia empregada e aquela disponibilizada para sua realização.

Pode-se observar essa economia em algumas atitudes, como, por exemplo, comprar uma lâmpada de LED, que chega a ter 90% de redução no consumo quando comparada a uma lâmpada incandescente de nível de iluminação equivalente.

3.1.3 Consumo Médio Diário com otimização de cargas e iluminação.

Após elencar as cargas essenciais e também a substituição das lâmpadas incandescentes pelas de Led nas residências, novamente foi efetuado o levantamento das cargas. É possível observar nas tabelas 5,6 e 7 a seguir que os consumos das residências caíram pela metade o que influenciara diretamente nos custos do projeto apresentado.

Tabela 5: Consumo estimado casa 01 com cargas essenciais e lâmpadas Led

QUANT.	EQUIPAMENTO	CONSUMO Watts (W)	Tensão (V)	Horas de uso/dia	Consumo Wh/dia
1	Frezzer		127		1500
1	Geladeira		127		1200
1	lâmpada led - Cozinha	8	127	5	40
1	Lâmpada - Sala	8	127	4	32
1	Lâmpada - bar	8	127	8	64
1	Televisão	85	127	4	340
1	Lâmpada - Quarto 01	6	127	2	12
1	Lâmpada - Quarto 02	6	127	2	12
1	Lâmpada - Quarto -03	6	127	2	12
1	Lâmpada - Banheiro	6	127	2	12
Total:					3224

Fonte: Autoria própria, 2017.

Tabela 6: Consumo estimado casa 02 com cargas essenciais e lâmpadas Led

Fonte: Autoria própria, 2017.

QUANT.	EQUIPAMENTO	CONSUMO Watts (W)	Tensão (V)	Horas de uso/dia	Consumo Wh/dia
1	Geladeira		127		1200
1	lâmpada - Cozinha	6	127	5	30
1	Lâmpada - Quarto 01	6	127	2	12
1	Lâmpada - Quarto 02	6	127	2	12
1	Lâmpada - Quarto -03	6	127	2	12
1	Lâmpada - Quarto -04	6	127	2	12
1	Lâmpada - Banheiro 1	6	127	2	12
1	Lâmpada - Banheiro 2	6	127	2	12
Total					1302

Tabela 7: Consumo estimado casa 03 com cargas essenciais e lâmpadas Led

QUANT.	EQUIPAMENTO	CONSUMO Watts (W)	Tensão (V)	Horas de uso/dia	Consumo Wh/dia
1	geladeira		127		1200
1	lâmpada - Cozinha	6	127	5	30
1	Lâmpada - Quarto 01	6	127	2	12
1	Lâmpada - Quarto 02	6	127	2	12
1	Lâmpada - Quarto -03	6	127	2	12
1	Lâmpada - Banheiro 1	6	127	2	12
Total					1278

Fonte: Autoria própria,2017.

3.1.4 Irradiação diária média incidente no plano Horizontal.

Para que se possa conhecer a irradiação diária do local de instalação do projeto, é necessário buscar através do Google Earth as coordenadas de onde será instalado o sistema.

Para a localidade de Pedra Chata onde foram determinadas as coordenadas Latitude: $-25,14^{\circ}$ e Longitude: $-48,37^{\circ}$. Conforme figura 14.



Figura 14: Localização das casas

Fonte: Autoria própria, 2017

Após a localização das coordenadas, pesquisou-se no banco de dados do Atlas Brasileiro (2006) as coordenadas mais próximas da localidade, onde deve-se obter os dados de irradiação global horizontal. Após a pesquisa realizada obteve-se o ponto mais próximo com coordenadas Latitude: $-25,12^{\circ}$ e Longitude: $-48,39^{\circ}$. Conforme figura 15.



Figura 15: Coordenada mais próxima do local da instalação

Fonte: Autoria própria, 2017

A distância aproximada do ponto de instalação está em 3,28km, nesse caso considerou-se os valores de irradiação desde ponto, conforme tabela 8.

Tabela 8: Irradiação Global Horizontal

Irradiação Incidente em Pedra - Chata - Latitude: -25,12°, Longitude : 48,39°													
Global Horizontal (KWh/m².dia)	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANUAL
	5,35	5,18	4,65	3,90	3,30	2,85	3,01	3,68	3,79	4,45	5,22	5,40	4,23

Fonte: Autoria própria, 2017

Segundo Urbanetz (2016), visando maximizar a geração nos meses de menor irradiação, deve-se adotar uma inclinação que corresponde a Latitude local + (10°~ 15°).

Com os dados obtidos no banco de dados do SWERA, cadastramos a estação Pedra- Chata no software RADIASOL. Conforme figura 16.

Selecione um país e uma estação

País

Estação

OK **Editar** **Sair**

Latitude N/S: Longitude E/W:

JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
5,35	5,18	4,65	3,90	3,30	2,85	3,01	3,68	3,79	4,45	5,22	5,40

Radiação em kWh/m²

Figura 16: Estação cadastrada

Fonte: RADIASOL, 2017

Adicionando 10° na latitude, obtêm-se 35° para a estação cadastrada dentro do software RADIASOL com inclinação igual a 35° e desvio azimutal 0°. Com isso tem-se o resultado, conforme a figura 17.

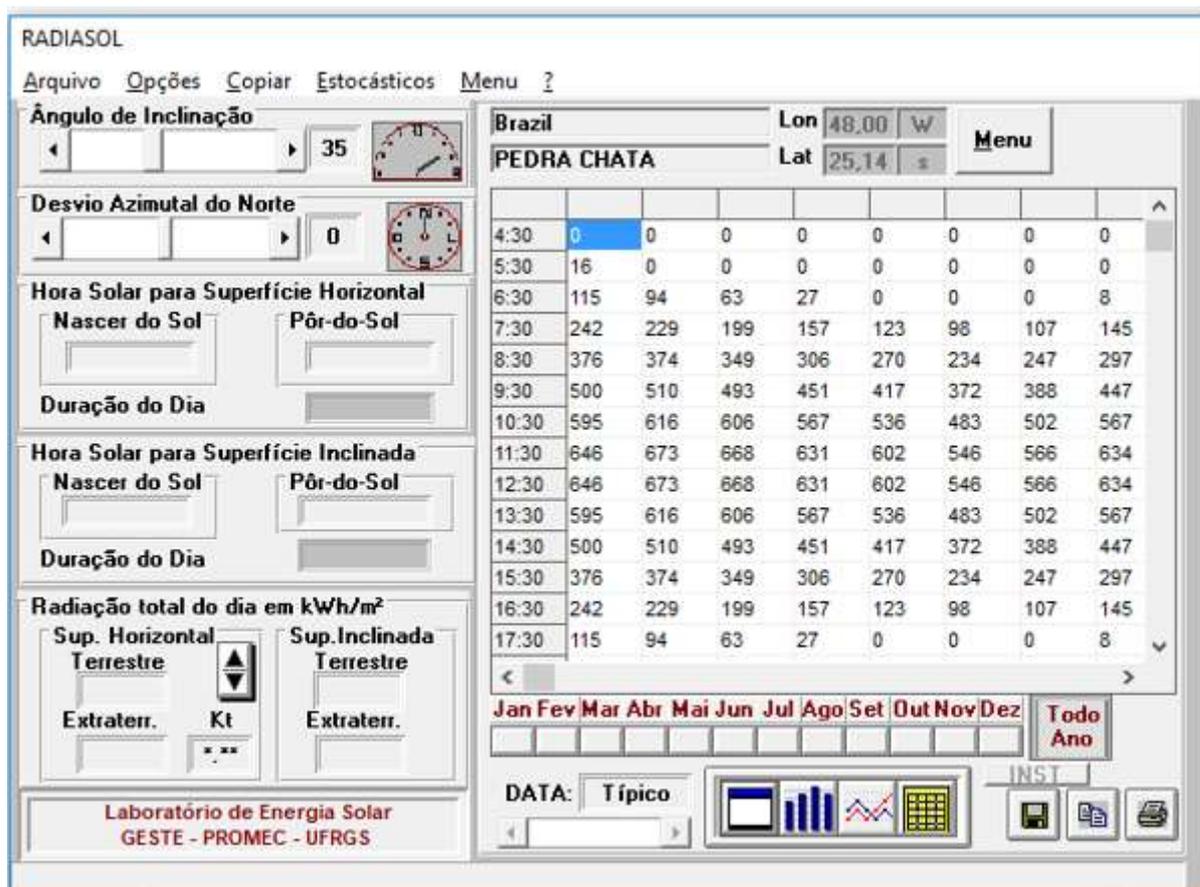


Figura 17: Resultado para inclinação 35° e azimute 0°

Fonte: RADIASOL, 2017

Conforme a tabela 9, tem-se a irradiação local encontrada através do software Radiasol.

Tabela 9: Resultado irradiação no local

Irradiação Wh/m ² .dia incidente em Pedra Chata													
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANUAL
Inclinado 37°	4980	4992	4756	4728	3896	3466	3620	4196	3944	4398	4912	4984	4369

Fonte: Aatoria própria, 2017

Como trata-se de SFVI, a irradiação considerada é o mês com menor índice de irradiação, nesse caso Junho 3,46kWh/m².dia.

Para que seja possível o dimensionamento do SFVI, é necessário fazer os cálculos de forma que possamos chegar aos equipamentos corretos que farão parte desse projeto.

3.1.5 Memorial de Cálculo

Os cálculos do projeto poderão ser efetuados considerando os dados adquiridos anteriormente.

3.1.5.1 Determinação da potência do painel.

Considerando os consumos diários das casas que utilizarão os sistemas teremos os seguintes dados:

- Casa 01: Consumo de 3.224Wh/dia, conforme Tabela 5;
- Casa 02: Consumo de 1.302Wh/dia, conforme Tabela 6;
- Casa 03: Consumo de 1.278Wh/dia, conforme Tabela 7;
- Com menor irradiação local de 3.466Wh/m².dia conforme Tabela 9.

➤ **Potência painel casa 01.**

Com a aplicação dos dados na Equação 01 chega-se a potência do painel conforme Tabela 10.

Tabela 10: Potência painel fotovoltaico – SFVI – Casa 01

3.224	E - energia demandada pelas cargas diariamente (Wh/dia)
3.466	H_{TOT} - irradiação solar incidente no plano dos módulos FV (Wh/m ² .dia)
1,1	F_{CARREG} – fator de carregamento diário das baterias (ex: 1,1)
0,7	R - rendimento do conjunto de aparelhos e componentes do sistema (ex: 0,65)
$P_{FV} = 1462 \text{ Wp}$	

Fonte: Autoria própria, 2017

➤ **Potência painel casa 02.**

Com a aplicação dos dados na Equação 01 chegamos a potência do painel conforme tabela 11.

Tabela 11: Potência painel fotovoltaico – SFVI – Casa 02

1.302	E - energia demandada pelas cargas diariamente (Wh/dia)
3.466	H_{TOT} - irradiação solar incidente no plano dos módulos FV (Wh/m ² .dia)
1,1	F_{CARREG} – fator de carregamento diário das baterias (ex: 1,1)
0,7	R - rendimento do conjunto de aparelhos e componentes do sistema (ex: 0,65)
$P_{FV} = 590 \text{ Wp}$	

Fonte: Autoria própria, 2017

➤ **Potência painel casa 03.**

Com a aplicação dos dados na Equação 01 chega-se a potência do painel conforme tabela 12.

Tabela 12: Potência painel fotovoltaico – SFVI- Casa 03

1.278	E - energia demandada pelas cargas diariamente (Wh/dia)
3.466	H_{TOT} - irradiação solar incidente no plano dos módulos FV (Wh/m ² .dia)
1,1	F_{CARREG} – fator de carregamento diário das baterias (ex: 1,1)
0,7	R - rendimento do conjunto de aparelhos e componentes do sistema (ex: 0,65)
$P_{FV} = 579 \text{ Wp}$	

Fonte: Autoria própria, 2017

3.1.5.2 Estimativa da área para instalação do SFVI.

Considerando a potência do painel encontrada para cada casa será possível encontrar a área estimada para cada casa.

➤ Área estimada para instalação casa 01.

Com a aplicação dos dados na Equação 02 chega-se a área estimada para a instalação dos SFVI. Conforme tabela 13.

Tabela 13: Área estimada - Casa 01

14	E_{FF} - eficiência de conversão da tecnologia fotovoltaica adotada (ex: 15%)
A = 10,44 m ²	

Fonte: Autoria própria, 2017

➤ Área estimada para instalação casa 02.

Com a aplicação dos dados na Equação 02, chega-se a área estimada para a instalação dos SFVI. Conforme tabela 14.

Tabela 14: Área estimada - Casa 02

14	E_{FF} - eficiência de conversão da tecnologia fotovoltaica adotada (ex: 15%)
A = 4,22 m ²	

Fonte: Autoria própria, 2017

➤ **Área estimada para instalação casa 03.**

Com a aplicação dos dados na Equação 02 chega-se a área estimada para a instalação dos SFVI. Conforme tabela 15.

Tabela 15: Área estimada - Casa 03

14	E_{FF} - eficiência de conversão da tecnologia fotovoltaica adotada (ex: 15%)
$A = 4,14 \text{ m}^2$	

Fonte: Autoria própria, 2017

3.1.5.3 Dimensionamento dos módulos FV.

Considerando a potência de cada painel será possível escolher o modelo dos módulos que atendam a necessidade do projeto.

➤ **Dimensionamento dos módulos FV- casa 01.**

Módulo: Canadian CS6C -150P:

- Potência do painel FV: 1642 W
- Quantidade de módulos FV: $1462 / 150 = 10$
- N° de módulos: 10 módulos FV

Arranjo FV:

- $V_{\text{máx}}: 05 \times 22,3\text{V} = 111,5\text{V};$
- $V_{\text{MPP}}: 05 \times 18,1\text{V} = 90\text{V};$
- $I_{\text{MPP}}: 02 \times 8,30\text{A} = 16,60\text{A};$
- $P_{\text{DC}}: 10 \times 150\text{Wp} = 1500\text{Wp}$

Dessa forma ficarão 02 paralelos de 05 módulos em série.

➤ **Dimensionamento dos módulos FV- casa 02.**

Módulo: Canadian CS6C -150P:

- Potência do painel FV: 590W
- Quantidade de módulos FV: $590 / 150 = 3,93$
- N° de módulos: 4 módulos FV

Arranjo FV:

- $V_{m\acute{a}x}: 02 \times 22,3V = 44,60V;$
- $V_{MPP}: 02 \times 18,1V = 36,2V;$
- $I_{MPP}: 02 \times 8,30A = 16,60A;$
- $P_{DC}: 4 \times 150Wp = 600Wp$

Dessa forma ficarão 02 paralelos de 02 módulos em série.

➤ **Dimensionamento dos módulos FV- casa 03.**

Módulo: Canadian CS6C -150P:

- Potência do painel FV: 579W
- Quantidade de módulos FV: $590,30 / 150 = 3,86$
- N° de módulos: 4 módulos FV

Arranjo FV:

- $V_{m\acute{a}x}: 02 \times 22,3V = 44,60V;$
- $V_{MPP}: 02 \times 18,1V = 36,2V;$
- $I_{MPP}: 02 \times 8,30A = 16,60A;$
- $P_{DC}: 4 \times 150Wp = 600Wp$

Dessa forma ficarão 02 paralelos de 02 módulos em série.

➤ Especificação técnica dos módulos

Para ambas as casa o modelo dos módulos considerado foi CS6C, pode-se observar que as características descritas na especificação do módulo conforme figura 18.

Especificações técnicas

ESPECIFICAÇÕES DO PRODUTO

Dados elétricos*

Potência máxima (Pmax): 150W
 Tensão de máxima potência (Vm): 18,1V
 Corrente da máxima potência (Im): 8,30A
 Tensão de circuito aberto (Voc): 22,3V
 Corrente do curto-circuito (Isc): 8,87A
 Tipo de células: Silício Policristalino
 Eficiência do módulo: 15,17%
 Tolerância de potência: +/- 3%
 Dados mecânicos
 Dimensões (mm): 1485 x 666 x 40 (mm)
 Peso (Kg): 12

Figura 18: Especificação Técnica do Módulo

Fonte: Catálogo Canadian, 2017

3.1.5.4 Dimensionamento das Baterias.

Para as baterias está sendo considerada uma descarga diária de 20%. Para essas residências supõe-se que que o consumo se dará sempre a noite que é o pior caso, quando não há carregamento das mesmas.

➤ Dimensionamento Banco de Baterias - casa 01.

Para o consumo diário de 3224 Wh/dia chega-se ao dimensionamento das baterias conforme cálculos descritos na tabela 16.

Tabela 16: Cálculo dimensionamento banco Baterias – Casa 01

3224	Consumo diário de energia (Wh/dia)
24	Tensão do barramento CC (V)
2	Autonomia desejada (dias)
50	Máxima profundidade de descarga (%)
20	Máxima profundidade de descarga diária (%)
10	Fator de Segurança (Ex: 10%)
134,3	Consumo em Ah/dia
268,7	Capacidade preliminar não ajustada
537,3	Capacidade ajustada em função da máx. prof. de descarga
671,7	Capacidade ajustada em função da máx. prof. de descarga diária
671,7	Capacidade ajustada em função da profundidade de descarga
738,8	Capacidade ajustada em função do fator de segurança (Ah)

Fonte: Autoria própria, 2017

Para esse caso está sendo utilizado a bateria TUDOR 12TE220 o qual está sendo considerado o arranjo de 04 paralelos de 02 baterias em série sendo 880Ah/24V.

➤ **Dimensionamento Banco de Baterias - casa 02.**

Para o consumo diário de 1302Wh/dia chega-se ao dimensionamento das baterias conforme cálculos descritos na tabela 17.

Tabela 17: Cálculo dimensionamento banco de baterias - Casa 02

1302	Consumo diário de energia (Wh/dia)
24	Tensão do barramento CC (V)
2	Autonomia desejada (dias)
50	Máxima profundidade de descarga (%)
20	Máxima profundidade de descarga diária (%)
10	Fator de Segurança (Ex: 10%)
54,3	Consumo em Ah/dia
108,5	Capacidade preliminar não ajustada
217,0	Capacidade ajustada em função da máx. prof. de descarga
271,3	Capacidade ajustada em função da máx. prof. de descarga diária
271,3	Capacidade ajustada em função da profundidade de descarga
298,4	Capacidade ajustada em função do fator de segurança (Ah)

Fonte: Autoria própria, 2017

Para esse caso está sendo utilizado a bateria TUDOR 12TE220 o qual está sendo considerado o arranjo de 02 paralelos de 02 baterias em série sendo 440Ah/24V.

➤ **Dimensionamento Banco de Baterias - casa 03**

Para o consumo diário de 1278Wh/dia chega-se ao dimensionamento das baterias conforme cálculos descritos na tabela 18.

Tabela 18: Cálculo dimensionamento Banco de baterias- Casa 03

1278	Consumo diário de energia (Wh/dia)
24	Tensão do barramento CC (V)
2	Autonomia desejada (dias)
50	Máxima profundidade de descarga (%)
20	Máxima profundidade de descarga diária (%)
10	Fator de Segurança (Ex: 10%)
53,3	Consumo em Ah/dia
106,5	Capacidade preliminar não ajustada
213,0	Capacidade ajustada em função da máx. prof. de descarga
266,3	Capacidade ajustada em função da máx. prof. de descarga diária
266,3	Capacidade ajustada em função da profundidade de descarga
292,9	Capacidade ajustada em função do fator de segurança (Ah)

Fonte: Autoria própria, 2017

Para esse caso está sendo utilizado a bateria TUDOR 12TE220 o qual está sendo considerado o arranjo de 02 paralelos de 02 baterias em série sendo 440Ah/24V.

Para o dimensionamento do banco de baterias foi considerado a máxima profundidade de descarga diária de 20% a fim de garantir uma prolongação da vida útil delas. Nesse caso espera-se que o sistema de armazenamento de energia funcione por um período de aproximadamente 2 anos. Além disso é necessário levar em consideração a autonomia do sistema e a profundidade de descarga aceita pelas baterias.

A autonomia do sistema corresponde ao número de dias nos quais a energia armazenada no banco de baterias é suficiente para suprir a demanda sem

nenhuma reposição de energia pelos painéis fotovoltaicos, entretanto o aumento do número de dias de autonomia do sistema acarreta em um aumento direto nos custos do banco de baterias e conseqüentemente do sistema.

3.1.5.5 Dimensionamento do Inversor.

Segundo Pinho e Galdino, 2014, os inversores são equipamentos de alta eficiência utilizados para converter a corrente contínua (CC) em alternada (CA).

A potência dos inversores está ligada a potência máxima dos módulos.

O inversor escolhido para ser instalado nas 3 casas é o modelo ISP 24-1500C da Powerbras, conforme figura 19.

Figura 19: Dados técnicos inversor

1500W



MOD.	Ve	Vs
ISP 24-1500A	24Vcc	110Vca
ISP 24-1500B	24Vcc	220Vca
SP 24-1500C	24Vcc	127Vca
ISP 48-1500A	48Vcc	110Vca
ISP 48-1500B	48Vcc	220Vca
ISP 48-1500C	48Vcc	127Vca
ISP 125-1500A	125Vcc	110Vca
ISP 125-1500B	125Vcc	220Vca
ISP 125-1500C	125Vcc	127Vca

Fonte: Powerbrás, 2017

3.1.5.6 Dimensionamento Controlador de carga.

Segundo Pinho e Galdino, 2014, os controladores de carga devem desconectar o gerador fotovoltaico quando a bateria atingir carga plena e interromper o fornecimento de energia quando o estado de carga da bateria atingir um nível mínimo de segurança (PINHO; GALDINO, 2014).

Com o uso de controlador com buscador de máxima potência (MPPT) o painel fotovoltaico pode operar com a tensão necessária para encontrar-se em seu ponto de máxima potência, independentemente do valor de tensão nos terminais da bateria (VILLALVA, 2015).

➤ **Dimensionamento Controlador de carga - casa 01.**

Para a casa 01 o controlador de cargas escolhido foi o modelo C40 da Xantrex observa-se na especificação técnica figura 20 que as características são adequadas para o atendimento do sistema.

- Tensão nominal de saída: 24Vcc
- Máxima tensão de entrada: > 111,5Vcc
- Corrente nominal: > 16,60

➤ **Dimensionamento Controlador de carga - casa 02.**

Para a casa 02 o controlador de cargas escolhido foi o modelo C40 da Xantrex observa-se na especificação técnica figura 20 que as características são adequadas para o atendimento do sistema.

- Tensão nominal de saída: 24Vcc
- Máxima tensão de entrada: > 44,60Vcc
- Corrente nominal: > 16,60

➤ **Dimensionamento Controlador de carga - casa 03.**

Para a casa 02 o controlador de cargas escolhido foi o modelo C40 da Xantrex observa-se na especificação técnica figura 20 que as características são adequadas para o atendimento do sistema.

- Tensão nominal de saída: 24Vcc
- Máxima tensão de entrada: > 44,60Vcc
- Corrente nominal: > 16,60

➤ **Especificação técnica do Controlador de carga.**

Foi adotado um tipo de controlador de carga para as 03 casas, o modelo escolhido foi o C40 da Xantrex. Observa-se que as características técnicas estão de acordo com o sistema, conforme especificação, figura 20.

Figura 20: Especificação técnica controlador

Electrical Specifications			
Model	C35	C40	C60
Voltage configurations	12 and 24 Vdc	12, 24, and 48 Vdc	12 and 24 Vdc
Max. PV open circuit array voltage	55 Vdc	125 Vdc	55 Vdc
Charging / load current (@ 25 °C)	35 Adc	40 Adc	60 Adc
Max. peak current	85 A	85 A	85 A
Max. voltage drop through controller	0.30 V	0.30 V	0.30 V
Typical operating consumption	15 mA	15 mA	15 mA
Typical idle consumption	3 mA	3 mA	3 mA
Recommended breaker size	45 A	50 A	60 A rated at 100% continuous duty
Recommended wire size	#8 AWG	#8 AWG	#6 AWG rated at 90 °C
Lead acid battery settings	Adjustable	Adjustable	Adjustable
NiCad battery settings	Adjustable	Adjustable	Adjustable
Load control mode	Low voltage reconnect - adjustable (sticker provided with unit) all models		
	Low voltage disconnect - user selectable manual or automatic reconnection (includes warning flash before disconnect)		

Fonte: Catálogo Xantrex, 2017

3.1.5.7 Dimensionamento dos condutores

Foi realizado o dimensionamento dos condutores conforme as distâncias e as especificações dos demais equipamentos, conforme Eq.10.

➤ **Cálculo dos condutores casa 01**

- Trecho 01 - Condutores CC – (Painel FV – Controlador de Carga – Banco de Baterias). Comprimento 4 metros.

4	Comprimento do condutor de CC (m) - Trecho 1 - (Painel FV/Cont Carga/Bat)				
1500	Potência total do Painel FV (Wp)				
24	Tensão do barramento CC (V)				
4	Queda de tensão admitida (%)				
9,3	mm ²				

Serão adotados condutores CC de 10mm²

- Trecho 02 - Condutores CC – (Banco de baterias – Inversor). Comprimento 2 metros.

2	Comprimento do condutor de CC (m) - Trecho 2 - (Bat/Inv)				
1500	Potência do Inversor (W)				
24	Tensão do barramento CC (V)				
4	Queda de tensão admitida (%)				
4,6	mm ²				

Serão adotados condutores CC de 6mm²

- Trecho 03 - condutores CA – (Inversor – Cargas). Comprimento 15 metros.

15	Comprimento do condutor de CA (m)				
1500	Potência do Inversor (W)				
127	Tensão do barramento CA (V)				
4	Queda de tensão admitida (%)				
1,2	mm ²				

Em função da NBR5410, serão adotados condutores CA de 2,5mm².

➤ **Cálculo dos condutores casa 02**

- Trecho 01 - Condutores CC – (Painel FV – Controlador de Carga – Banco de Baterias). Comprimento 4 metros.

4	Comprimento do condutor de CC (m) - Trecho 1 - (Painel FV/Cont Carga/Bat)				
600	Potência total do Painel FV (Wp)				
24	Tensão do barramento CC (V)				
4	Queda de tensão admitida (%)				
3,7	mm ²				

Serão adotados condutores CC de 4mm²

- Trecho 02 - Condutores CC – (Banco de baterias – Inversor). Comprimento 2 metros.

2	Comprimento do condutor de CC (m) - Trecho 2 - (Bat/Inv)				
1500	Potência do Inversor (W)				
24	Tensão do barramento CC (V)				
4	Queda de tensão admitida (%)				
4,6	mm ²				

Serão adotados condutores CC de 6mm²

- Trecho 03 - condutores CA – (Inversor – Cargas). Comprimento 10 metros.

10	Comprimento do condutor de CA (m)				
1500	Potência do Inversor (W)				
127	Tensão do barramento CA (V)				
4	Queda de tensão admitida (%)				
0,8	mm ²				

Em função da NBR5410, serão adotados condutores CA de 2,5mm².

➤ **Cálculo dos condutores casa 03**

- Trecho 01 - Condutores CC – (Painel FV – Controlador de Carga – Banco de Baterias). Comprimento 4 metros.

4	Comprimento do condutor de CC (m) - Trecho 1 - (Painel FV/Cont Carga/Bat)				
600	Potência total do Painel FV (Wp)				
24	Tensão do barramento CC (V)				
4	Queda de tensão admitida (%)				
3,7	mm ²				

Serão adotados condutores CC de 4mm²

- Trecho 02 - Condutores CC – (Banco de baterias – Inversor). Comprimento 2 metros.

2	Comprimento do condutor de CC (m) - Trecho 2 - (Bat/Inv)				
1500	Potência do Inversor (W)				
24	Tensão do barramento CC (V)				
4	Queda de tensão admitida (%)				
4,6	mm ²				

Serão adotados condutores CC de 6mm²

- Trecho 03 - Condutores CA – (Inversor – Cargas). Comprimento 10 metros.

10	Comprimento do condutor de CA (m)				
1500	Potência do Inversor (W)				
127	Tensão do barramento CA (V)				
4	Queda de tensão admitida (%)				
0,8	mm ²				

Em função da NBR5410, serão adotados condutores CA de 2,5mm².

3.1.6 Resumo equipamentos utilizados.

Tabela 19: Tabela de equipamentos

RESUMO DOS EQUIPAMENTOS UTILIZADOS			
	CASA 01	CASA 02	CASA 03
Módulos Fotovoltaicos	10 Módulos Canadian, modelo: CS6C -150P	4 Módulos Canadian, modelo: CS6C -150P	4 Módulos Canadian, modelo: CS6C -150P
Baterias	08 Baterias TUDOR, modelo: 12TE220 , sendo 04 paralelo de 02 em série	04 Baterias TUDOR, modelo: 12TE220 , sendo 04 paralelo de 02 em série	04 Baterias TUDOR, modelo: 12TE220 , sendo 04 paralelo de 02 em série
Inversor	01 Inversor Powerbras, modelo: ISP 24-1500C	01 Inversor Powerbras, modelo: ISP 24-1500C	01 Inversor Powerbras, modelo: ISP 24-1500C
Controlador de Carga	01 Xantrex, modelo: C40	01 Xantrex, modelo: C40	01 Xantrex, modelo: C40

Fonte: Autoria própria, 2017

Na tabela 19 é apresentado um resumo dos equipamentos utilizados no projeto para cada uma das residências.

4 CONCLUSÃO

A energia solar fotovoltaica cada vez mais vem se mostrando como uma alternativa viável para a geração de energia, apesar da pequena difusão da tecnologia no Brasil.

Dessa forma é possível afirmar que o presente estudo é de grande valia por apresentar detalhadamente a estimativa de geração de energia de um sistema fotovoltaico isolado para cargas essenciais de 03 (três) casas a ser instalado na localidade de Pedra- Chata, Município Guaraqueçaba, litoral do Paraná.

Para o sistema proposto foi feito o levantamento de todas as cargas, porém foi possível analisar que a demanda necessária para o sistema se tornaria inviável, pois a demanda necessária seria alta. Dessa forma foram elencadas cargas essenciais e efetuada uma melhoria na eficiência energética efetuando a troca das lâmpadas incandescentes pelas lâmpadas de Led o qual possui melhor eficiência além da vida útil mais longa. Com isto foi reduzido a demanda necessária para o dimensionamento do SFVI. Após o novo levantamento da demanda, foi dimensionado o arranjo dos painéis fotovoltaicos e o banco de baterias.

O dimensionamento do sistema foi feito para obter uma autonomia mínima de dois dias, visando garantir a vida útil das baterias por dois anos no mínimo.

Foram alcançados resultados satisfatórios com relação verificação da radiação solar, visto que o ponto de localização está dentro da precisão necessária, comprovando a confiabilidade do sistema proposto.

Conclui-se com os resultados gerados nesse trabalho que o mesmo atingiu os objetivos o qual torna-se viável levando em consideração o fato do sistema ser uma forma alternativa de utilização da energia em casos de emergência como a falta de energia por mais de dois dias consecutivos, de forma a amenizar as perdas.

Além disso vale ressaltar que a sustentabilidade assim como a eficiência energética são quesitos de suma importância, os quais foram abordados dentro do trabalho, pois está diretamente relacionada a preservação e conservação do meio ambiente utilizando os recursos naturais de forma inteligente para que eles se mantenham no futuro.

Como sugestão para trabalhos futuros pretende-se propor novos estudos para o dimensionamento de sistema de aquecimento de água e a análise financeira e tempo de retorno de investimento dos sistemas.

REFERÊNCIAS

BANDEIRA.F.DE. P.M. **Aproveitamento da Energia Solar no Brasil: Aproveitamento e Perspectiva**. Disponível em:

http://bd.camara.gov.br/bd/bitstream/handle/bdcamara/9008/aproveitamento_energia_bandeira.pdf?s%20equence.%20Acesso%20em:%2001%20maios%202017.

Acessado em 01 de Maio de 2017

BIG, **Banco de Informações de Geração, ANEEL**. Disponível em:

<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>. Acesso em: 26/07/2017.

BORGES NETO, Manuel R.; CARVALHO, Paulo C.M. **Geração de Energia Elétrica: fundamentos**. São Paulo: Editora Érica, 2012.

CRESESB - **Centro De Referência Para Energia Solar E Eólica Sérgio De Salvo Brito; Energia Solar: Princípios e Aplicações**. Tutorial Solar, 2006.

LOPEZ, Ricardo A. **Energia Solar para produção de eletricidade**. São Paulo:

Artliber, 2012.

MME - Ministério de Minas e Energia. **Energia Solar no Brasil e no Mundo**.

Disponível em: [http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498/17+-+Energia+Solar+-+Brasil+e+Mundo+-+ano+ref.+2015+%28PDF%29/4b03ff2d-1452-4476-907d-](http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498/17+-+Energia+Solar+-+Brasil+e+Mundo+-+ano+ref.+2015+%28PDF%29/4b03ff2d-1452-4476-907d-d9301226d26c;jsessionid=41E8065CA95D1FABA7C8B26BB66878C9.srv154)

[d9301226d26c;jsessionid=41E8065CA95D1FABA7C8B26BB66878C9.srv154](http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498/17+-+Energia+Solar+-+Brasil+e+Mundo+-+ano+ref.+2015+%28PDF%29/4b03ff2d-1452-4476-907d-d9301226d26c;jsessionid=41E8065CA95D1FABA7C8B26BB66878C9.srv154).

Acessado em 20/06/2017.

PEREIRA, Ênio Bueno; MARTINS, Fernando Ramos; ABREU, Samuel Luna; RUTHER, Ricardo. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. INPE, São José dos Campos, São Paulo, 1º Edição, 2006.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio. **Manual de Engenharia Para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro, RJ, Março de 2014

RUTHER, Ricardo. **Edifícios Solares Fotovoltaicos – O Potencial da Geração Solar Fotovoltaica Integrada a Edificações Urbanas e Interligada à Rede Elétrica Pública no Brasil**. Editora UFSC / LABSOLAR, Florianópolis, SC, 2004.

TIEPOLO. **Estudo do Potencial de Geração de Energia Elétrica Através de Sistema Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede no Estado do Paraná**. Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2015.

TOLMASQUIM, Mauricio Tiomno. **Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica**. EPE, Editora Interciência, Rio de Janeiro, 2016.

URBANETZ JUNIOR. **Sistema Fotovoltaico Conectado à Redes de Distribuição Urbanas: Sua Influência na Qualidade de Energia Elétrica e Análise dos Parâmetros que possam afetar a conectividade**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, Santa Catarina, 2010.

URBANETZ JUNIOR, J. **Apostila de Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos do curso de Especialização em Energias Renováveis**. UTFPR, 2016.

VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações**. 1. Ed. São Paulo: Érica, 2012.