Universidade de Brasília - UnB Faculdade UnB Gama - FGA Engenharia de Energia

PROJETO DE AQUECIMENTO SOLAR TÉRMICO – FOTOVOLTAICO OFF GRID DE PISCINAS

Autores: Bruno Carlos dos S. Moraes

Charles Renato Pinto Barbosa

Orientador: Augusto César de M. Brasil

Brasília, DF 2015



BRUNO CARLOS DOS SANTOS MORAES CHARLES RENATO PINTO BARBOSA

PROJETO DE AQUECIMENTO SOLAR TÉRMICO – FOTOVOLTAICO *OFF GRID* DE PISCINAS

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia de Energia da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia.

Orientador: Dr. Augusto César de Mendonça Brasil.

Brasília, DF 2015

CIP – Catalogação Internacional da Publicação

Moraes, Bruno Carlos dos Santos.

Barbosa, Charles Renato Pinto.

Projeto de aquecimento solar térmico – fotovoltaico *off grid* de Piscinas.

Monografia (Graduação) – Universidade de Brasília Faculdade do Gama, Brasília, 2015. Orientação: Augusto César M. Brasil

1. Sistema fotovoltaico. 2. Aquecimento de Piscinas. 3. Energia renovável I. Brasil, Augusto César de Mendonça.

CDU Classificação



PROJETO DE AQUECIMENTO SOLAR TÉRMICO – FOTOVOLTAICO *OFF GRID* DE PISCINAS

Bruno Carlos dos Santos Moraes Charles Renato Pinto Barbosa

Monografia submetida como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia da Faculdade UnB Gama - FGA, da Universidade de Brasília, em (27/11/2015) apresentada e aprovada pela banca examinadora abaixo assinada:

Prof. Dr.: Augusto César de M. Brasil, UnB/ FGA Orientador

Prof. Dr.: Jorge Cormane Angarita, UnB/ FGA
Membro Convidado

Prof. Dr.: Flávio Henrique J. R. da Silva, UnB/ FGA
Membro Convidado

Cada autor dedica o trabalho um ao outro pelo esforço recíproco.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente à Deus que nos iluminou durante essa longa caminhada. Aos nossos pais e irmãos que com toda paciência e carinho nos deram força para prosseguir. À alguns professores do curso que com muita dedicação se empenharam para a nossa melhor formação acadêmica e por fim, aos amigos e colegas que com incentivos e ações tornaram esse projeto realidade.

"A única fonte de energia não poluente é aquela não gerada" (Autor desconhecido).

RESUMO

Esse trabalho desenvolveu o estudo, projeto e implementação de um sistema solar fotovoltaico como fonte de energia elétrica para o bombeamento do sistema de aquecimento solar de piscinas. No presente trabalho, a energia elétrica gerada no sistema fotovoltaico é utilizada para o acionamento da bomba responsável pela circulação da água entre a piscina e os painéis solares térmicos. Inicialmente foi apresentado no trabalho de conclusão de curso I a teoria de um sistema fotovoltaico, seu entendimento e, posteriormente, todas as etapas do dimensionamento do sistema. Dando continuidade, no trabalho de conclusão de curso II implementou-se todo o sistema em uma residência, com as características especificadas. Foi utilizado o programa SAM – NREL (System Advisor Model – National Renewable Energy Laboratory) para auxiliar no dimensionamento e melhor entendimento do projeto em questão.

Palavras-chave: Sistema fotovoltaico. Aquecimento de piscinas. Energia renovável.

ABSTRACT

This dissertation developed the study, design and implementation of a photovoltaic solar system as electrical energy source for pumping the solar pool heating system. In the current study, the electricity generated in the photovoltaic system is used to drive the water circulator pump between the pool and the solar panels. It was presented at coursework conclusion 1 a introduce the theory of a photovoltaic system, its understanding and, subsequently, all stages of this system sizing. At this coursework conclusion 2, it was implemented the whole photovoltaic solar system in a residence. The SAM – NREL (System Advisor Model – National Renewable Energy Laboratory) software will be used in order to assist the sizing and understanding of the under consideration project.

Keywords: photovoltaic system, pool heating, renewable energy

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-Radiação direta e difusa (Energia Solar e Fotovoltaica, conceitos e aplicações)	15
Figura 2 - Definições da radiação direta, difusa e refletida. (Pinho et. al., 2008)	16
Figura 3 - Sistema solar fotovoltaico isolado off grid (Apostila Eudora Solar)	18
Figura 4 - Sistema fotovoltaico ligado à rede elétrica, on grid (Apostila Eudora Solar)	19
Figura 5 - Sistema de Aquecimento (Autoria Própria)	20
Figura 6 - Imagem do projeto proposto no trabalho, sistema off grid (Autoria própria)	21
Figura 7 - Vida útil x Temperatura de trabalho (Bosch)	22
Figura 8 - Ciclos x profundidade de descarga (Bosch).	23
Figura 9 - Formas de ondas mais comuns na saída do inversor. (Apostila Eudora Solar)	23
Figura 10 - Dia de baixa irradiação em janeiro -2012 (Autoria Própria)	28
Figura 11 - Dia de alta irradiação em janeiro -2012 (Autoria Própria)	28
Figura 12 - Dia de alta irradiação em outubro - 2011 (Autoria Própria)	29
Figura 13 - Placa de características do motor (Imagem Própria)	
Figura 14 - Variação de Corrente e Temperatura ao longo do tempo	30
Figura 15 - Tensão na linha	31
Figura 16 - Comparação de Energias	32
Figura 17 - Bateria Bosch - p5 401	33
Figura 18 - Características do painel	34
Figura 19 - Irradiação no Plano inclinado em Brasília. (www.cresesb.cepel.br)	35
Figura 20 - Indicação do telhado e orientação geográfica	36
Figura 21 - Determinação aproximada do ângulo do telhado (16°)	36
Figura 22 - Controlador de Carga	
Figura 23 - Inversor ProLine 5000W - WAGAN	39
Figura 24 - Módulo fotovoltaico	40
Figura 25 - Inversor do sistema	41
Figura 26 - Localização dos painéis	42
Figura 27 - Custo e financiamento	43
Figura 28 - Radiação global e consumo mensal de energia	43
Figura 29 - Diagrama de Montagem (Autoria Própria)	44
Figura 30 - Sistema Montado	
Figura 31 - Folha de Resultado	
Figura 32 - Conector paralelo MC4	47
Figura 33 - Fusível MIDI	47
Figura 34 – DPS – Clamper	48
Figura 35 - Aterramento	48
Figura 36 - Chave seletora	
Figura 37 - Placas (250W) conectadas em paralelo	50
Figura 38 - Controlador carregando a bateria	50
Figura 39 - Payback do projeto (SAM)	

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	12
1.1. ASPECTOS GERAIS	12
1.1.1 Contexto histórico	12
ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL	13
ENERGIA SOLAR: CONCEITOS BÁSICOS	14
3.1 RADIAÇÃO DIRETA E DIFUSA:	15
SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	
4.1 SISTEMA FOTOVOLTAICO ISOLADO (<i>OFF GRID</i>)	17
4.2 SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE ELETRICA (ON GRID)	18
DESCRIÇÃO DOS SISTEMAS ATUALMENTE MAIS UTILIZADOS	19
5.1 PROJETO	20
5.2.1 Baterias	22
7.1.1 Medições de temperatura, tensão e corrente	29
7.3 DIMENSIONAMENTO DOS MODULOS FOTOVOLTAICOS	34
7.4.1Controlador do sistema	37
8.2 INVERSUR	41
8.3 SOMBREAMENTO E LOCALIZAÇÃO	41
DEFERÊNCIAS RIRI INCRAFICAS	51 52
	ეა 5∆
	1.1.1 ASPEČTOS GERAIS 1.1.1 Contexto histórico ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL ENERGIA SOLAR: CONCEITOS BÁSICOS

1. INTRODUÇÃO

A energia solar fotovoltaica é uma maneira de gerar energia elétrica através da conversão de radiação solar em energia elétrica, utilizando semicondutores de corrente contínua que geram o efeito fotovoltaico. A energia solar é uma tecnologia cem por cento comprovada e aproveitada em todo território do planeta. Além de já ser utilizada há cinquenta anos em diversas aplicações especializadas, tem sido utilizado há vinte ano em sistemas ligados à rede (*On Grid*). Essa é a fonte renovável de energia que mais cresce atualmente no mundo (Villalva, 2014).

Segundo dados da Associação Europeia das Indústrias de Energia Fotovoltaica (EPIA), a capacidade instalada de sistemas fotovoltaicos no mundo chegou a 69.684 MWp no final de 2011, após a instalação de 29,665 MWp, o que representou um crescimento de 74,1% em comparação a capacidade instalada em 2010. A Europa é líder em termos de potência instalada, com 51.716 MWp de sistemas fotovoltaicos em operação, principalmente na Alemanha (24.678 MWp), Itália (12.754 MWp) e Espanha (4.400 MWp). No restante do mundo, países como Japão (4.914 MWp), Estados Unidos (4.383 MWp) e China (3.093 MWp) também são líderes no uso de energia fotovoltaica.

1.1. ASPECTOS GERAIS

A energia solar fotovoltaica foi a fonte de energia renovável que mais cresceu no mundo entre os anos de 2000 a 2010. Esse crescimento se dá a uma taxa de 39% ao ano, um crescimento praticamente exponencial (IEA,2011 e EPIA, 2012).

Esse rápido desenvolvimento foi motivado, principalmente, pelas políticas de redução dos custos de aquisição dos sistemas fotovoltaicos, o nome dessa tarifa é *feed-in*. Uma grande parte dessa energia provém de autoprodutores residenciais. No Brasil ainda é pequena a quantidade de autoprodutores de energia (IEA,2011e, e EPIA, 2012).

1.1.1 Contexto histórico

O estudo da energia solar fotovoltaica iniciou quando o físico francês, Alexandre Edmond Becquerel, observou o efeito fotoelétrico em 1843, na qual ele notou uma diferença de potencial nas extremidades de uma estrutura semicondutora

quando uma luz se incidia sobre ela. Tal efeito foi o início da construção da célula fotovoltaica (Valléra, 2007).

As células fotovoltaicas só foram formalmente apresentadas ao mundo na reunião anual da National Academy of Science, em Washington, e anunciada em uma conferência no dia 25 de Abril de 1954. Em 1955, a célula de silício obteve sua primeira aplicação como fonte de alimentação de uma rede telefônica em Americus, na Geórgia. A célula fotovoltaica é a unidade fundamental do processo de conversão. Inicialmente, o desenvolvimento da tecnologia apoiou-se na busca por empresas do setor de telecomunicações e de fontes de energia para sistemas instalados em localidades de difícil acesso em energia elétrica.

2. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL

A demanda fotovoltaica no Brasil ainda é baixa, apesar de possuir alto índice de irradiação solar, essa energia na matriz energética brasileira é praticamente desprezível. A maior demanda dessa energia é encontrada, sobretudo na região Norte e Nordeste, e em pequenos sistemas isolados (autônomos) instalados onde a rede elétrica não está disponível. Esses sistemas são usados em locais de difícil acesso, onde linhas de distribuição para a rede elétrica não são economicamente viáveis. Sistemas fotovoltaicos autônomos, ou hoje em dia conhecido como sistema off grid, são utilizados na rede elétrica de propriedades rurais, mas que vem em expansão para suprir baixa quantidade de energia disponibilizada.

Os sistemas fotovoltaicos *on grid* (ligado à rede) são de pequena utilização no Brasil. Além da escassez de uma regulamentação que diminui o surgimento de uma indústria e de um mercado voltado para a geração distribuída de energia elétrica, o custo da energia solar fotovoltaica ainda é elevado em comparação a energia atualmente consumida. Além do enorme potencial hidrelétrico brasileiro, o custo elevado da energia solar deve-se à ausência de tecnologia nacional para a fabricação de painéis solares fotovoltaicos e à produção de conversores eletrônicos para a conexão com a rede elétrica (Eudora Solar 2012).

Apesar dos poucos incentivos, o número de sistemas *on grid* vem aumentando. No ano de 2011 em diante aconteceram muitos avanços no setor, especialmente com os resultados das discussões geradas pelo grupo Setorial de Energia Fotovoltaica da Associação Brasileira da Industria Eletroeletrônica (ABINEE)

e pela comissão de estudos CE-03:082.01 do Comitê Brasileiro de Eletricidade, Eletrônica, Iluminação e Telecomunicações (COBEI). Estes foram os responsáveis pela criação de uma ABNT para conexão de inversores fotovoltaicos *on grid.*

A partir do ano de 2012 estão acontecendo empreendimentos entre 1MW e 3MW feitos por concessionárias de energia elétrica em todo o Brasil e pela forma de leilão que é uma prática que está em ascensão. É um começo, mas um grande avanço para a disseminação dos sistemas fotovoltaicos (ANEEL).

3. ENERGIA SOLAR: CONCEITOS BÁSICOS

Segundo Villalva (2014), quando se estuda o sistema solar fotovoltaico fica evidente que se deve entender a radiação solar, ou seja, o sistema e a eficiência dependem de quanto irradia no local. O sol é a fonte luminosa cujo perfil pode ser comparado a um corpo negro perto dos 6000 K (kelvin). Tal fonte absorve e emite radiação eletromagnética em todos os comprimentos de onda.

Há uma complexidade sobre a radiação solar, pois tal perfil espectral da radiação solar na superfície terrestre é influenciado por diversos fatores, como a variação da temperatura ao longo do disco solar e a atmosfera terrestre. Na distância entre a Terra e o Sol no espaço, a energia irradiada é cerca de 1353 W/m². Na superfície terrestre a radiação recebida chega a valores de 1000 W/m².

Utilizando a distribuição AM1, que corresponde ao espectro da radiação recebido pelo Sol quando posicionado acima do zênite da Terra, ou seja, x = 1, significa que os raios solares atravessam a distância de uma camada atmosférica até o ponto onde se quer captar a energia gerada. A distribuição AM1.5 corresponde à radiação recebida com ângulo zênite de 48.19°. Tal caso, os raios percorrem uma maior distância até chegar a atmosfera terrestre. Com maiores caminhos há mais desvios de raios luminosos, de absorção atmosférica e de fenômenos de perdas que alteram o conteúdo do espectro recebido na superfície. O AM0 é a distribuição livre de influência atmosférica no espaço terrestre (Villalva, 2014).

A distribuição e a intensidade espectral da irradiação do sol dependem da latitude e da longitude, da hora do dia, dia do ano, condições climáticas, composição atmosférica, altitude e de diversos fatores, por isso a sua complexidade. Os padrões de massa de ar AM1.0, AM1.5 e demais, representam estimativas médias, com o

propósito padrão de ajudar nos cálculos e comparação da eficiência dos dispositivos fotovoltaicos. A imprecisão causa poucos estudos e isso dificulta uma aproximação dos espectros que incidem, além de atrapalhar um rendimento melhor do sistema fotovoltaico. As distribuições foram determinadas com base na latitude média de países do hemisfério norte e não representam as condições de captação de luz em todo mundo. O padrão mais utilizado é o AM1.5, pois é o mais encontrado e de fácil cálculo de irradiação (Villalva, 2014).

3.1 RADIAÇÃO DIRETA E DIFUSA:

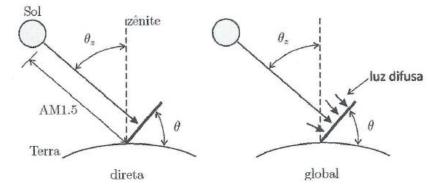


Figura 1-Radiação direta e difusa (Energia Solar e Fotovoltaica, conceitos e aplicações).

A imagem acima nos remete a dois tipos de radiação: a direta e a difusa. A direta vem seguindo a direção do Sol, produzindo sombras bem definidas em qualquer objeto e incidindo com um ângulo bem definido. A radiação difusa não tem direção e atinge o solo de maneira irregular. O total de luz recebida no solo da Terra ou por uma placa fotovoltaica é a soma da luz direta e da difusa.

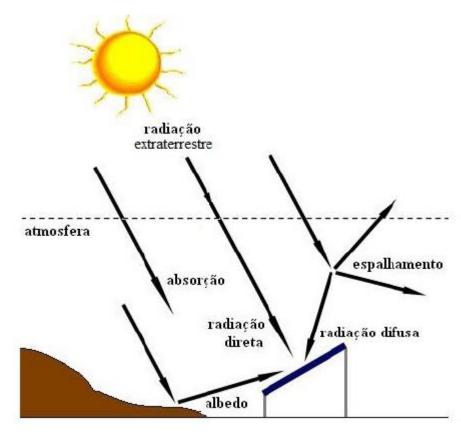


Figura 2 -Definições da radiação direta, difusa e refletida. (Pinho et. al., 2008).

4. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Um sistema fotovoltaico é composto por uma ou mais placas fotovoltaicas e demais equipamentos. Tais placas são necessárias 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. Em algumas instalações, principalmente autônomas, 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. Nesse projeto de conclusão de curso vamos conhecer mais esses equipamentos e suas aplicações.

Em vários lugares no mundo e no Brasil existem locais não atendidos por rede elétrica. Tais locais podem ser empregados um sistema fotovoltaico para substituir geradores movidos a combustível, com a vantagem de redução da

poluição e gastos com energia elétrica. Em alguns pontos isolados e com pouco fluxo de pessoas, como *campings*, fazendas, ilhas, comunidades isoladas, por exemplo, um sistema fotovoltaico pode ser a melhor escolha para a geração local de eletricidade. Os sistemas fotovoltaicos exigem pouca manutenção, não geram barulho, são ecológicos e não precisam de combustíveis. Podemos instalar o sistema pensando nos benefícios ambientais das fontes renováveis de energia, que proporciona um modo sustentável sem agredir o planeta.

Embora tal sistema ainda seja mais caro do que a energia comprada, muitas empresas e muitos usuários residenciais querem utilizar este tipo por motivos ambientais, científicos e publicitários, associando o seu modo de vida ou a imagem do seu empreendimento ao uso de energia verde, melhorando o marketing sustentável.

No aspecto econômico, uma das razões para a instalação de um sistema fotovoltaico pode ser o desejo de produzir sua própria eletricidade e ficar imune ao aumento do preço da energia elétrica. Com o aumento da conta de ano em ano, é possível provar com cálculos simples que o investimento em um sistema fotovoltaico retorna em média após 10 anos de uso. Além disso, após o retorno de todo o sistema, este produz energia gratuitamente durante mais 10 a 20 anos (Villalva, 2014).

4.1 SISTEMA FOTOVOLTAICO ISOLADO (OFF GRID).

É um sistema sem a necessidade da rede elétrica para suprir ou ajudar no sistema solar fotovoltaico. Este sistema pode ser composto simplesmente 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. O que caracteriza tal sistema é a presença do dispositivo como única fonte de energia e o uso de elementos acumuladores (baterias). O desenho logo abaixo revelará melhor o esquema isolado:

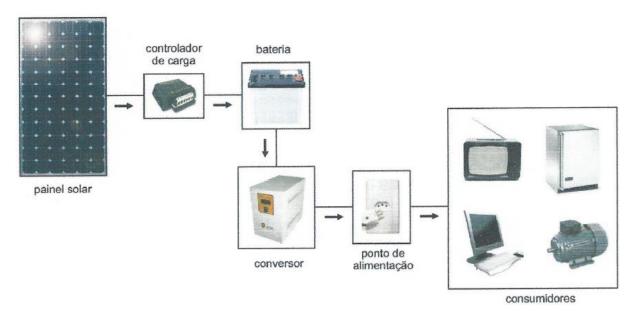


Figura 3 - Sistema solar fotovoltaico isolado off grid (Apostila Eudora Solar).

Esse sistema é muito utilizado em áreas rurais, fazendas e regiões pobres que não chega rede elétrica. O sistema isolado está chegando às residências e ganhando espaço em cidades grandes, como em casas de condomínios que desejam alimentar um consumo específico.

4.2 SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE ELÉTRICA (*ON GRID*).

Nesse sistema conectado à rede elétrica, os consumidores são alimentados por ela e o sistema fotovoltaico atua como fonte complementar de energia. A energia gerada pelo sistema fotovoltaico é injetada e distribuída na rede elétrica. Assim, a que excede pode ser exportada e vendida à concessionária de eletricidade. Esse sistema pode ser centralizado, constituindo usinas de geração de energia elétrica ou sistemas descentralizados de geração distribuída, instalados em residências, e demais localidades públicas. Desenho do sistema *on grid*:

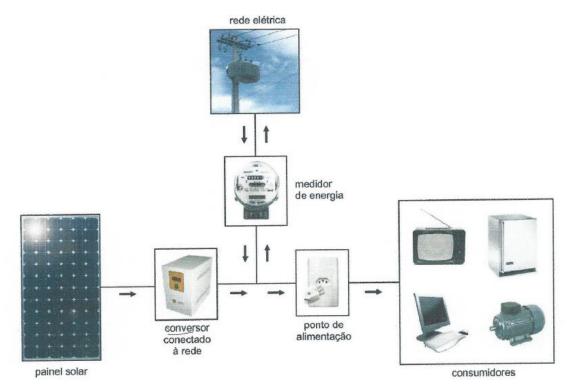


Figura 4 - Sistema fotovoltaico ligado à rede elétrica, on grid (Apostila Eudora Solar).

5. DESCRIÇÃO DOS SISTEMAS ATUALMENTE MAIS UTILIZADOS PARA AQUECIMENTO DE PISCINAS

O aquecimento de piscinas, atualmente, é realizado apenas com a utilização de placas solares térmicas. O processo ocorre através do acionamento de uma bomba, por um sensor térmico acoplado às placas solares. Quando esta atinge a temperatura determinada de acionamento (em alguns casos residenciais de 28°C), inicia-se o bombeamento da água da piscina para as placas. Assim, a água passa pela placa, trocando calor com ela e posteriormente retornando mais aquecida à piscina. Esse processo é contínuo até ser interrompido quando a placa atinge a temperatura mínima determinada de desligamento (27°C para sistemas residenciais). Vale ressaltar que o bombeamento, de maneira geral, é realizado com a utilização de uma bomba elétrica e que a eletricidade é disponibilizada pela concessionária local.

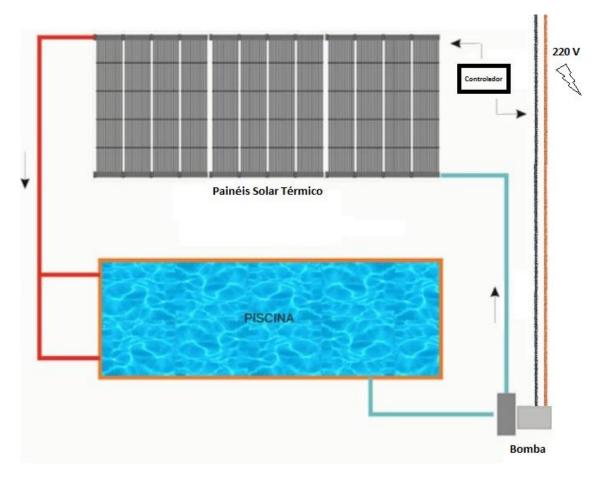


Figura 5 - Sistema de Aquecimento (Autoria Própria)

5.1 PROJETO

O presente trabalho propõe um sistema de fornecimento de energia elétrica com painéis fotovoltaicos integrados ao sistema de aquecimento solar da piscina. Pretende-se, portanto, implementar um sistema *off grid* de produção de energia elétrica, capaz de suprir toda a necessidade elétrica da bomba.

O sistema proposto é composto dos seguintes elementos (Figura 8):

- 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: capaz de 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 de 12V para 220V (tensão da bomba utilizada).

Com o sistema proposto neste trabalho, pretende-se tornar o recurso de energia elétrica para aquecimento de piscinas, independente da rede elétrica da concessionária, assim diminuindo o consumo elétrico significativamente. Em dias com grande intensidade de radiação solar, a bomba chega a funcionar por aproximadamente 6h como será apresentado em análises posteriores. A figura a seguir apresenta o projeto deste trabalho de conclusão de curso:

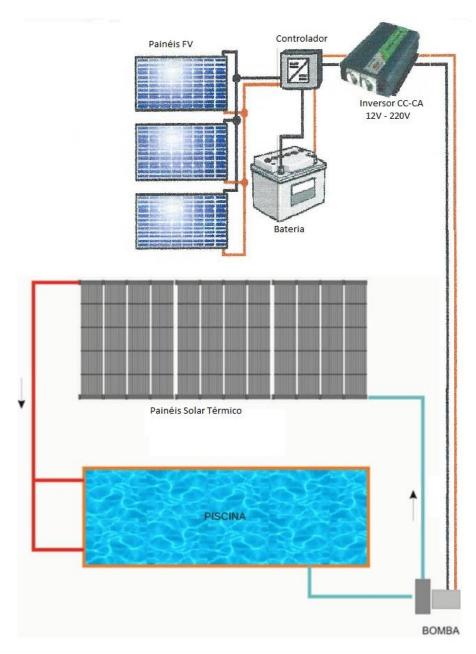


Figura 6 - Imagem do projeto proposto no trabalho, sistema off grid (Autoria própria).

5.2 DETALHES DOS COMPONENTES DO PROJETO

Como filosofia de projeto, o sistema é autônomo fotovoltaico com armazenamento de energia, composto por:

- Baterias:
- Inversor CC-CA (Corrente contínua para alternada);
- Controlador de cargas;
- Módulos fotovoltaicos;

5.2.1 Baterias

O tipo de bateria indicada para um sistema fotovoltaico off grid é a estacionária, modelo esse que proporciona cargas e descarregadas a uma grande profundidade, garantido assim uma maior vida útil comparado aos outros tipos de baterias, como as automotivas. 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, ciclo que não será comum no sistema projetado (Villalva 2014).

Os gráficos a seguir indicam a projeção da vida útil das baterias, tanto em função da temperatura de operação, quanto em função da profundidade de descarga. No sistema autônomo, como há uma ciclagem constante, é recomendável que a bateria não seja descarregada em níveis de profundidade de carga superiores a 80% (Bosch 2015).

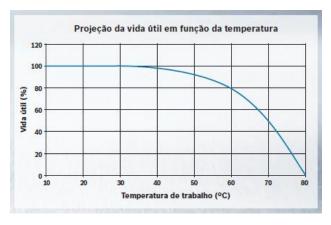


Figura 7 - Vida útil x Temperatura de trabalho (Bosch)



Figura 8 - Ciclos x profundidade de descarga (Bosch).

5.2.2 Inversor/conversor CC-CA

A partir do momento que a energia dos módulos solares é armazenada e gerada em corrente contínua, se faz 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. Os inversores mais comuns no mercado são de saída com senóide modificada ou senóide pura.

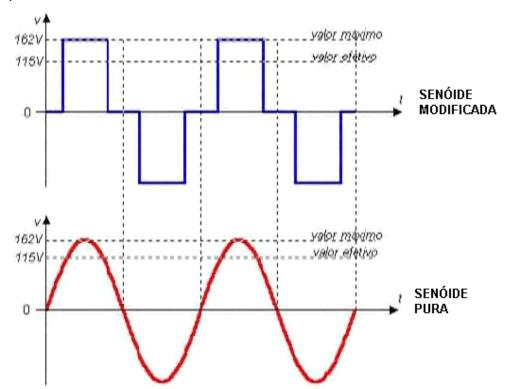


Figura 9 - Formas de ondas mais comuns na saída do inversor. (Apostila Eudora Solar)

Os inversores de onda modificada são ondas que possuem menos distorções harmônicas do que as demais ondas, porém ela é muito distorcida quando comparada com a onda senoidal pura, por isso a utilização maior desta última. O inversor de onda senoidal pura ou PMW (*Pulse Width Modulation*) são equipamentos eletrônicos que produzem tensões senoidais quase perfeitas, os quais são ideais para alimentar todo tipo de consumidor com grande confiabilidade e excelente qualidade de energia (Villalva, 2014).

5.2.3 Controlador de carga

Os controladores de carga têm a função de controlar e regular a energia das baterias através da produção dos módulos fotovoltaicos, impedindo assim que as mesmas sejam excessivamente carregadas ou descarregadas. A importância de controlar a carga é o aumento da vida útil do sistema de armazenamento. Os controladores mais utilizados e mais modernos usam a função PMW ou MPPT (Maximum Power Point Tracking), ambos asseguram que a bateria possa ser carregada até atingir a capacidade máxima da melhor maneira possível, sempre buscando o ponto ótimo entre tensão e corrente.

5.2.4 Módulos fotovoltaicos

A célula fotovoltaica é a principal responsável pela transformação de energia solar em elétrica, tal célula é um dispositivo semicondutor que gera corrente elétrica quando exposto à radiação solar (luz). As placas fotovoltaicas são feitas de silício, e a incidência da luz nas placas sobre a célula fazem com que os fótons se choquem com os elétrons da estrutura de silício, dando-lhes energia e transformando-os em condutores.

Existem várias tecnologias na fabricação de células e módulos fotovoltaicos, se diferenciando principalmente pelo tipo e geometria do silício para sua produção, dentre elas as mais comuns são:

- Silício monocristalino: maior eficiência em relação à policristalina, porém maior custo de produção;
- Silício policristalino: menor eficiência em relação à monocristalina, porém menor custo de produção;

 Silício amorfo: menor eficiência em relação à monocristalina e policristalina, porém baixo custo e facilidade de produção.

É necessária uma inclinação das placas para uma melhor captação da radiação solar, e segundo ao Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL), essa inclinação mínima é de 10°. Além de melhorar a incidência da luz, a inclinação ajuda na limpeza e no escoamento da água da chuva (Villalva, 2012).

6. DIMENSIONAMENTO

6.1 ENERGIA CONSUMIDA NO SISTEMA

O dimensionamento do sistema fotovoltaico *off grid* segundo Villalva (2014), deve ser iniciada com o levantamento do consumo da energia do sistema fotovoltaico autônomo, a qual será a energia consumida pelos aparelhos no período de um dia para o fim de dimensionar os painéis fotovoltaicos e as baterias, possibilitando o uso diário desses aparelhos.

Para esse levantamento de dados, a potência do aparelho (bomba de água) e a quantidade de horas que ele será utilizado no dia são fatores determinantes para realizar o dimensionamento do sistema proposto. A energia elétrica consumida é calculada por:

$$E_C = P \times T$$
 (1)
Sendo:

 $E_c = Energia\ consumida\ em\ watts - hora\ [Wh]$

P = Potencia em watts [W]

T = tempo de uso em horas [h]

6.2 DIMENSIONAMENTO DO BANCO DE BATERIAS

Para o dimensionamento do banco de baterias, a variável principal que deve ser considerada é a quantidade de energia armazenada a depender dos seus consumidores e da profundidade de descarga determinada para as baterias. Além da energia armazenada, deve ser determinada como parâmetro de projeto a tensão de operação do banco de baterias. Exemplo: 12 volts, 24 volts ou 48 volts a depender do tipo de ligação, série ou paralelo.

A energia que deve ser armazenada é calculada pela fórmula:

$$E_A = E_c \times D \tag{2}$$

Sendo:

 $E_A = Energia$ armazenada no banco de baterias [Wh]

 $E_c = Energia consumida [Wh]$

D = Dias de funcionamento do sistema sem radiação solar

A capacidade do banco de bateria é determinada por:

$$C_{BANCO} = E_A / V_{BANCO} / P_D \tag{3}$$

Sendo:

 $C_{BANCO} = ca$ pacidade de carga no banco de baterias em àmpere — hora [Ah]

 $E_A = energia armazenada no banco de ba [Wh]$

V_{BANCO} = Tensão do banco de baterias [V]

 $P_D = Profundidade de descarga permitida (20\%, 50\%, 80\%)$

6.3 DIMENSIONAMENTO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Para o dimensionamento do módulo deve-se levar em consideração o local de instalação, a inclinação, o azimute do posicionamento e as características do módulo que pretende-se instalar no projeto. Para realizar o dimensionamento destes, devese inicialmente determinar a quantidade de energia gerada por um módulo fotovoltaico.

O método da insolação (Villalva, 2014) leva em consideração informações meteorológicas disponíveis através de um banco de dados de pelo menos um ano de coleta, onde deve conter o valor de irradiação solar média dispostas em dias ou meses.

Portanto, para se dimensionar os painéis é recomendável que não se use o valor médio de insolação e sim o menor valor anual, para não correr o risco do sistema ficar subdimensionado durante o período em que a radiação for menor.

Com as características dos painéis fotovoltaicos que serão utilizados, pode-se determinar a energia produzida por cada um através da fórmula:

$$E_p = E_S \times A_M \times \eta_M$$
Sendo: (4)

 $E_p = Energia produzida pelo módulo diariamente [Wh]$

 $E_S = Insolação diária [Wh/m²/dia]$

 $A_M = \text{Área da superfície do módulo } [m^2]$

 $\eta_M = Eficiência do módulo$

6.4 DIMENSIONAMENTO DO CONTROLADOR DE CARGA

Após todos os dimensionamentos executados, deve-se determinar o controlador de carga que será usado. Esse leva em conta dois parâmetros para ser escolhido: a tensão de operação e a corrente elétrica máxima fornecida pelos módulos. Portanto, ele deve ter características compatíveis com a do projeto, sendo a tensão e a corrente determinadas pela forma de ligação dos painéis (série ou paralelo) e tensão da bateria.

7. ESTUDO DE CASO

7.1 ENERGIA CONSUMIDA NO SISTEMA

Para o projeto proposto neste trabalho, a energia consumida será calculada a partir do tempo de acionamento da bomba e da potência necessária para acionamento da mesma, responsável pelo aquecimento da água de uma piscina.

O sistema que foi projetado utiliza apenas um equipamento: uma bomba de água com potência de ½ CV (370 watts). Para determinar a energia consumida do sistema foi-se observado que, durante um ano, o período máximo que a bomba ficou ligada foi de 6 horas por dia (de 10 às 16 horas).

Também foi realizado, para a estimativa de horas de bomba ligada, uma simulação com os valores de irradiação solar da estação meteorológica da Universidade de Brasília (UnB) – campus Gama, juntamente com as formulações disponíveis na dissertação de mestrado do Stark (2013) e no Manual Técnico para Projeto e Construção de Sistemas de Aquecimento solar e Gás Natural.

Tais simulações geraram os gráficos a seguir, os quais mostram, em diferentes períodos (meses e dias), a irradiação, a temperatura ambiente e a temperatura da placa assim que ela atinge 28°C, momento esse que o sistema de aquecimento é acionado.

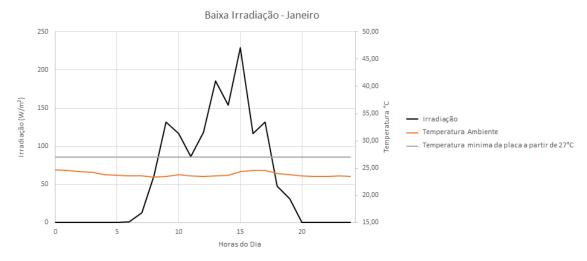


Figura 10 - Dia de baixa irradiação em janeiro -2012 (Autoria Própria)

Nesse gráfico observa-se que a temperatura dos painéis de aquecimento não alcançou a temperatura de acionamento do sistema, mostrando assim um dia em que não houve gasto de energia, apenas produção.

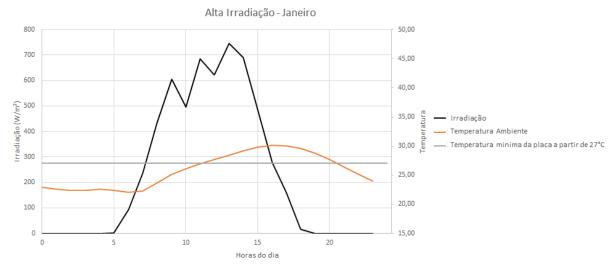


Figura 11 - Dia de alta irradiação em janeiro -2012 (Autoria Própria)

Já nesse gráfico, também de janeiro, observa-se que a temperatura dos painéis de aquecimento alcançou a temperatura de acionamento do sistema, e possivelmente o seu desligamento ocorreu quando os níveis de irradiação abaixaram, por volta das 16h.

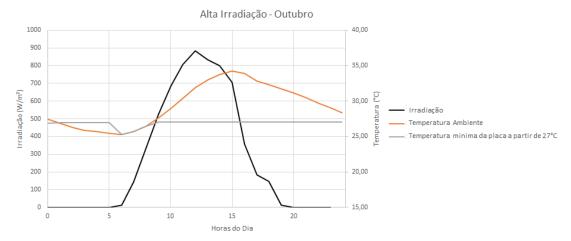


Figura 12 - Dia de alta irradiação em outubro - 2011 (Autoria Própria)

Em um mês em que a irradiação é grande, como exemplo outubro, o período em que o sistema de aquecimento fica ligado é maior. Pode ser visto no gráfico que o sistema é acionado às 9 horas e desligado às 16horas.

Após todas essas análises, o valor de 6 horas foi utilizado nos cálculos de energia consumida, resultando assim em uma energia consumida de:

$$E_C = 370 \times 6 = 2220 \, watts - hora[Wh] \tag{5}$$



Figura 13 - Placa de características do motor (Imagem Própria)

7.1.1 Medições de temperatura, tensão e corrente.

Para auxiliar e complementar o estudo do funcionamento da bomba foi realizado um teste em que se aferiram os três dados mais importantes do sistema. Com o aumento da temperatura ao decorrer do dia, a bomba elétrica é acionada e o sistema de aquecimento é ligado. Dessa forma, foi necessária a medição da temperatura às nove horas da manhã até as quinze horas da tarde, período em que

a bomba permaneceu ligada, e a maior irradiação solar é medida. Com a ajuda de um termopar, conectado ao Minipa ET2042, o seu *software* de computador, voltímetro e amperímetro, mediu-se o comportamento de ambos quando a bomba é acionada e durante o funcionamento do sistema. Foram realizadas medidas de minuto a minuto, gerando trezentos e quarenta e oito medidas. Tabela abaixo com apenas dados dos primeiros quinze minutos:

Tabela 1 - Dados das Medições - primeiros 15 minutos (Autoria Própria)

auos uas micuições	primeros 15 minutos (rutoria 1 ropria)									
HORARIO	Temperatura(ºC)	Corrente (A)	TENSÃO (V)							
09:01:00	28	2,7	207							
09:02:00	28	2,7	208							
09:03:00	29	2,7	208							
09:04:00	29	2,8	208							
09:05:00	29	2,8	209							
09:06:00	29	2,6	209							
09:07:00	29	2,6	209							
09:08:00	29	2,6	209							
09:09:00	29	2,6	209							
09:10:00	30	2,6	209							
09:11:00	30	2,6	209							
09:12:00	30	2,6	210							
09:13:00	30	2,6	210							
09:14:00	30	2,6	210							
09:15:00	30	2,6	210							

Os valores apresentados mostram o comportamento da bomba, ou seja, o seu ponto de acionamento, quanto que a corrente e a tensão vão variar ao decorrer do dia e o desligamento dela. Porém, no dia do teste a bomba não teve ciclos de acionamento e desligamento, pois o sol estava muito intenso não deixando a placa resfriar e aquecer novamente. Os dados coletados foram feitos a partir de uma filmagem de cinco horas de duração. Verificou-se o acionamento da bomba quando a temperatura chegou a 27°C, e uma pequena variação de tensão e corrente ao decorrer do dia. De acordo com o gráfico:

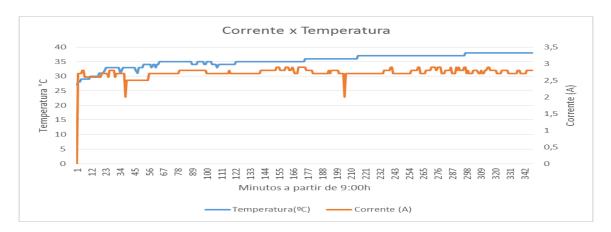


Figura 14 - Variação de Corrente e Temperatura ao longo do tempo

O gráfico acima mostra o acionamento da bomba, a partir de 9 horas, momento esse onde as placas atingem 27°C e a corrente começa a ser identificada na medição, proveniente do disparo da bomba. Como já era esperado, em uma amostragem de um em um minuto não se conseguiu verificar a corrente de partida do motor.

Na tensão também foi observada uma oscilação de valores, o que demonstra a qualidade da energia da distribuidora em manter a tensão na linha. Gráfico abaixo:

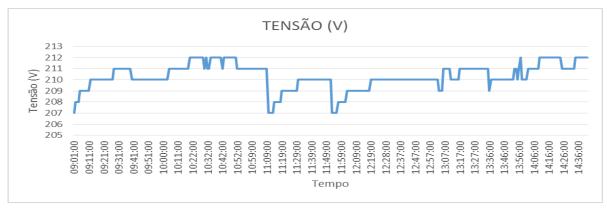


Figura 15 - Tensão na linha

Todas as medições foram realizadas com o termopar que gerava valores de segundo a segundo direto para o computador, além de cinco horas de filmagens do voltímetro e amperímetro conectados ao motor. Depois de assistido, foram gerados a tabela e os gráficos mostrados anteriormente.

7.2 DIMENSIONAMENTO DO BANCO DE BATERIAS

O sistema que está sendo projetado se difere dos sistemas off grids que normalmente são executados, pois no sistema projetado a carga só será ligada durante a presença de sol, exatamente quando haverá a produção de energia elétrica pelas placas solares fotovoltaicas. Vale ressaltar que para os sistemas residenciais, esse fato ocorre porque a bomba só é acionada quando a placa térmica atinge a temperatura de 27°C por consequência da exposição direta ao sol.

Levando isso em consideração, o dimensionamento da bateria do sistema deverá ser diferente, já que não há a necessidade de grande armazenamento de

energia. Entretanto, a presença da bateria se faz necessária para o momento da manutenção da piscina em um período que não houver incidência solar suficiente para o funcionamento da bomba, já que essa bomba além de ser utilizada para o aquecimento da piscina também é utilizada para a sua manutenção (filtragem e limpeza).

Logo, pode-se determinar um período de duas horas para o funcionamento da bomba sem depender dos painéis solares, pois esse período de tempo é suficiente para realizar todos os processos descritos.

Assumindo esse período de tempo e uma tensão de 12V para a bateria, pode-se dimensionar então a bateria do sistema:

$$E_C = 370[W] \times 2[h] = 740 \, watts - hora[Wh]$$
 (6)
 $E_A = 740[Wh] \times 1$ (7)
 $E_A = 740Wh$ (8)
 $C_{BANCO} = 740[Wh]/12[V]/0.5$ (9)
 $C_{BANCO} = 123.4Ah$ (10)

7.2.1 Bateria do sistema

Ao realizar o projeto, se fez necessário a escolha de uma bateria que se adequasse com o sistema projetado respeitando as características citadas anteriormente, além de:

- Fazer a regulação de tensão para proporcioná-la corretamente na entrada do inversor;
- Fornecer a corrente necessária para dar partida no motor;
- Ajustar a quantidade de energia produzida pelas placas com a consumida pela bomba durante o dia, como pode ser observado no gráfico a seguir;

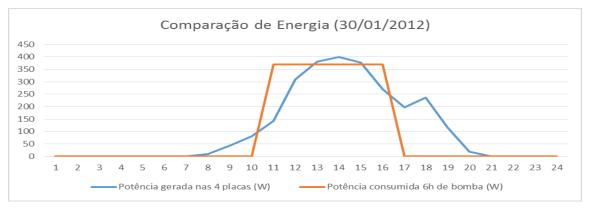


Figura 16 - Comparação de Energias

Analisando o gráfico observa-se que durante alguns períodos do dia o consumo da bomba foi maior que a energia gerada pelas placas fotovoltaicas momentaneamente (instantes onde a curva laranja está acima da azul). Entretanto, no total diário a energia gerada pelas placas supera a consumida pela bomba (área abaixo da curva azul é maior que a da curva laranja).

Outro anseio para a utilização da bateria no sistema é um futuro projeto de sistema de *backup* na residência, motivo esse que a bateria escolhida tem capacidade maior do que a dimensionada.

Analisando o custo-benefício e as questões citadas, a escolha do projeto foi uma bateria da marca Bosch modelo: p5 401.

Especificações:

- Capacidade 25°C: 200Ah (10hrs), 220Ah (20hrs), 240Ah (100hrs)
 530mm (Comprimento), 280mm (Largura), 246mm (Altura);
 - Peso: 60,3Kg;
 - Tensão de Flutuação: de 13,2V a 13,8V a 20°C;
 - Tensão de Carga/Equalização: de 14,4V a 15,5V a 20°C (quanto maior a tensão mais rápida será a recarga);
 - Compensação de temperatura: para cada 1°C acima de 25°C, subtrair 0,033V. Para cada 1°C abaixo de 25°C, adicionar 0,033V;
 - Tipo de terminal: Terminal "L", de chumbo;



Figura 17 - Bateria Bosch - p5 401

7.3 DIMENSIONAMENTO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Para o sistema que foi projetado, utilizou-se, por questões econômicas e de facilidade de compra no Brasil, o Painel Solar da RISEN poli cristalino de 150W Modelo SYP150S, 36 células/150w. Especificações:

- Potência máxima (Pmax.): 150W
- Tensão de máxima potência (Vm.): 18,3V
- Corrente da máxima potência (Im.): 8,20A
- Tensão de circuito aberto (Voc.): 22,3V
- Corrente do curto-circuito (Isc.): 8,81A
- Tipo de células: Silício Poli cristalino
- Eficiência do módulo: 14,9%
- Tolerância de potência: 3%
- Dimensões (mm): 1480 x 680 x 30 (mm), Área (m²): 1,0064(m²)
- Peso (Kg): 12





Figura 18 - Características do painel

Outros dados do projeto que devem ser analisados é a localização da instalação do sistema. Sabe-se que a instalação será realizada em Brasília e mais precisamente em uma casa que está nas coordenadas: -15°39'26" S e -47°52'11" W. Com esses valores de latitude e longitude pode-se encontrar a estação

meteorológica mais perto da casa que disponibiliza os dados de irradiação aproximada do local.

Com esses valores de latitude e longitude a estação mais próxima que disponibiliza dados é a de Brasília, que podem ser observados no gráfico e tabela a seguir:

	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m².dia]													
_			Jan		Mar			_			Set					Delta
_	Plano Horizontal	0° N	4,67			5,00	4,72							4,72		1,0
	Ângulo igual a latitude	16° N	4,34	5,35	4,56	5,39	5,42	5,67	5,86	6,13	5,43		4,45	4,35	5,13	1,7
1	Maior média anual	19° N	4,26	5,27	4,54	5,42	5,51	5,81	5,99	6,21	5,43	4,52	4,37	4,26	5,13	1,9
	Maior mínimo mensal	6° N	4,57	5,53	4,57	5,18	5,02	5,13	5,34	5,78	5,35	4,67	4,66	4,60	5,03	1,2
Irradiação (kWh/m2.dia)	5,5				_											
ção							/				1			-0		

Figura 19 - Irradiação no Plano inclinado em Brasília. (Fonte: CRESESB)

Outra determinação do projeto é o posicionamento do painel fotovoltaico no telhado da casa, orientação geográfica e inclinação referente à horizontal. Sabe-se que para o hemisfério sul da terra a melhor orientação da placa fotovoltaica é orientada para o norte e, segundo Pinho **et.al.** (2008), a melhor inclinação de um módulo fotovoltaico fixo, sem rastreamento solar, é igual a latitude do local onde o sistema será instalado. Ainda segundo Pinho **et. al.** (2008), pequenas variações dos valores do ângulo de inclinação não têm grande influência na geração anual, podendo o valor da inclinação, em relação à latitude, variar +10° ou -10°.

Para o projeto em questão, inicialmente com auxílio de um *drone* (Figuras 20 e 21), foram levantados os dados da geometria do telhado da casa. Posteriormente, utilizou-se o *software* Meazure (Versão 2.0) para determinar a inclinação do telhado,

uma bússola digital para medição da orientação do telhado em relação ao Norte e sua localização geográfica.



Figura 20 - Indicação do telhado e orientação geográfica



Figura 21 - Determinação aproximada do ângulo do telhado (16°)

Portanto, com todas essas variáveis determinadas, pôde-se calcular o valor de energia produzida por cada módulo, assumindo a menor irradiação equivalente ao ângulo de 16º mostrado na tabela, à área do painel e à sua eficiência descrita nas características dele:

$$E_p = E_S \times A_M \times \eta_M \tag{11}$$

$$E_p = 4340 \times 1 \times 0.149 \tag{12}$$

$$E_p = 646,7 \ [Wh]$$
 (13)

Finalizando o dimensionamento dos módulos solares, deve-se determinar a quantidade de módulos que deverão ser instalados para o funcionamento do sistema. Esse cálculo é expresso pela fórmula:

$$N = E_C/E_p$$
 (14)
Sendo:

N = Numeros de módulos empregados no sistema

 $E_C = Energia diária consumida no sistema [Wh]$

 $E_p = Energia diária produzida por cada módulo [Wh]$

Assim:

$$N = 2220/646.7$$
 (15)
 $N = 3.43$ (16)

Conclui-se que serão necessários 4 módulos iguais aos especificados.

7.4 DIMENSIONAMENTO DO CONTROLADOR DE CARGA

No projeto que foi executado, o controlador deve ser capaz de receber a tensão das placas na forma que elas foram ligadas. Como todos os 4 painéis que foram dimensionados serão ligados em paralelo, a tensão de operação do controlador será de 18.3V. Consequentemente, as suas correntes máximas, que será a corrente de curto circuito, se somarão: 4 x 8,81 = 35.24A. No entanto, essa corrente pode ser corrigida com um fator de segurança de 10%, tornando-a de 38.76A.

7.4.1 Controlador do sistema

O controlador de carga que foi empregado nesse sistema suporta uma tensão de até 48V e uma corrente máxima de 60^a. Esse controlador também foi escolhido pelo custo benefício.



Figura 22 - Controlador de Carga

7.5 DIMENSIONAMENTO DO INVERSOR

A escolha do inversor de um sistema *off grid* é de acordo com a potência da carga que será conectada nele. Assim, deve-se escolher inversores com potência igual ou superior a carga.

7.5.1 Inversor do sistema

Para o caso do projeto necessitou-se fazer um estudo diferenciado do inversor, em virtude que a carga que foi conectada a ele era um motor elétrico, já que esse possui uma corrente de partida elevada o que aumentaria momentaneamente a potência necessária. Com isso buscou-se um inversor que fosse próprio para esse tipo aplicação, o qual é capaz de, por alguns instantes, superar a sua potência nominal. Vale ressaltar que essa forma de projeto foi escolhida devido ao anseio de implementar um sistema de *backup* na casa.

Devido a facilidades de compra e custo benefício, o inversor escolhido para o sistema é o ProLine5000 Watts da marca WAGAN TECH que possui as características de oscilações potência até 10000W sendo apropriado para ligações de pequenos motores, segundo o fabricante. Além de sistemas de segurança que incluem proteção contra alta tensão, sobrecarga, curto-circuito, alta temperatura e de bateria fraca. Especificações:

TrueRated Poder ™: 5,000W

Oscilação de energia: 10,000W

Saída AC: 120V

Frequência: 60Hz

- Tipo de socket: padrão dos EUA aterrado (4x)
- Máxima eficiência: 90%
- Onda de saída: Modificado onda senoidal
- Proteção contra sobrecarga: desligamento automático
- Proteção Superaquecimento: ventilador de refrigeração térmica com desligamento automático
- Entrada DC: 12V
- Faixa de entrada: 10V a 15V
- Curto-circuito e proteção de polaridade inversa: fusível interno (não substituível)
- Alarme de bateria baixa: 10.5V ± 0.5V
- Bateria fraca desligamento automático: 9.5V ± 0.5V
- Nenhuma tração atual da carga: <1.6A
- Dimensões CxLxH (pol.): 7,9 x 15,8 x 6,5
- Peso líquido: 18,0 kg



Figura 23 - Inversor ProLine 5000W - WAGAN

8. DIMENSIONAMENTO UTILIZANDO O SAM

A escolha do software *SAM* – *NREL* no projeto, visa melhorar a tomada de decisões dos produtos, além de estimar o desempenho e o investimento do sistema.

O Modelo Advisor Sistema (SAM) é utilizado por pesquisadores e engenheiros de projeto. O primeiro passo para a criação de um projeto no SAM é escolher o tipo de sistema que quer dimensionar, no caso desse projeto o escolhido foi um sistema solar fotovoltaico autônomo.

O SAM simula o desempenho e a análise financeira de projetos de energia renovável utilizando modelos de computador desenvolvidos pelo NREL, da Universidade de Wisconsin, e de outras organizações. Cada modelo de desempenho representa uma parte do sistema, e cada modelo financeiro representa a estrutura financeira de um projeto. Os modelos requerem dados de entrada para descrever as características dos equipamentos físicos de desempenho e dos custos do sistema. No projeto em questão colocaram-se as características do sistema desenvolvidas anteriormente.

8.1 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Com o módulo definido, inseriu-se no *software* a marca e o modelo escolhido, assim ele já busca em seu banco de dados todas as características do painel além de plotar o gráfico tensão x corrente do modulo.

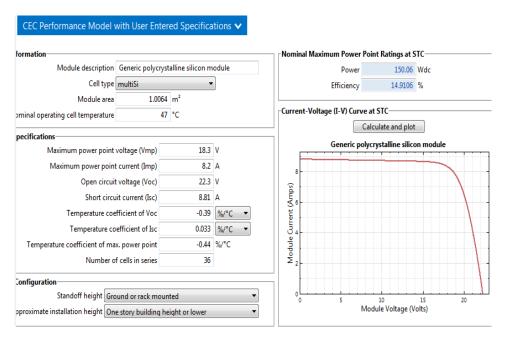


Figura 24 - Módulo fotovoltaico

8.2 INVERSOR

Com a marca, modelo e especificações do inversor, o SAM disponibiliza sua eficiência e o quanto de potência utilizará, além de gerar a curva que relaciona potência nominal de saída x eficiência.

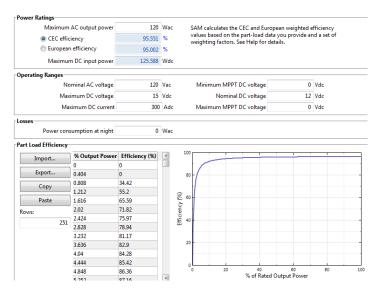


Figura 25 - Inversor do sistema

8.3 SOMBREAMENTO E LOCALIZAÇÃO

A próxima etapa da simulação é a entrada dos dados de localização onde as placas devem ser instaladas. Para o projeto foi desconsiderado sombreamento e ajustada a angulação de 16º dos painéis com orientação para o norte.

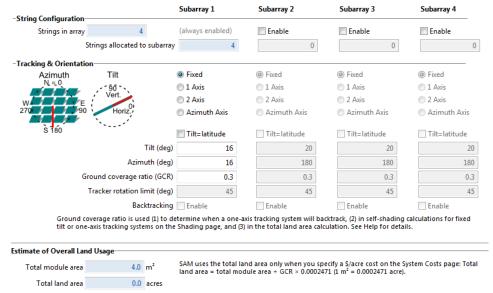


Figura 26 - Localização dos painéis

8.4 CUSTOS E FINANCIAMENTOS

Para essa etapa foram inseridos os custos totais do sistema do projeto levando em consideração a inflação de 9.8% desse ano, com a taxa de 3.5% a.m do banco, para investimentos de projetos em casas. Com esses valores ajustados no software ele calculou o valor de retorno. Vale ressaltar que como o programa é norte americano existe um campo em que se insere valores de incentivos fiscais, porém esse valor ficou zerado já que isso não acontece no Brasil.

Com os valores dos equipamentos comprados para o projeto, foi inserido no SAM, o qual gerou uma grande análise de investimentos mostrada a seguir:

Tabela 2 - Valores dos equipamentos

Equipamentos	Valor (REAIS)
Módulo fotovoltaico	2360,00
Inversor	2500,00
Bateria	1536,00
Controlador	341,00
Periféricos	700,00
TOTAL	7437,00

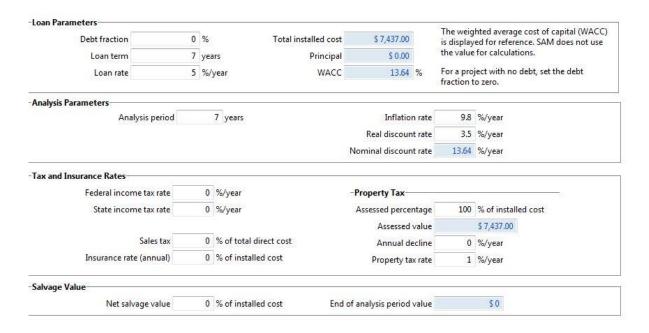


Figura 27 - Custo e financiamento

8.5 Análise de consumo de energia da residência

Assumindo que os consumos fixos da casa se mantêm constantes, observase que a variação de consumo mostrado no gráfico da direita, segue a mesma variação da radiação global, fato esse proveniente da maior frequência de acionamentos da bomba.

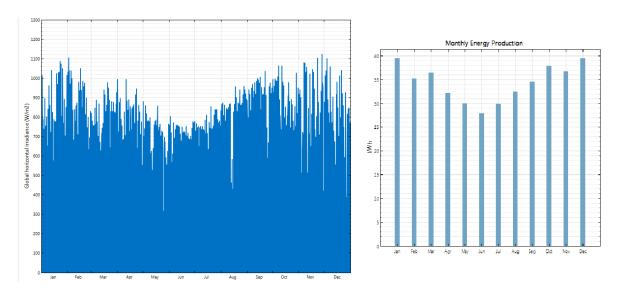


Figura 28 - Radiação global e consumo mensal de energia

9. MONTAGEM DO SISTEMA

Para a montagem do sistema, outros equipamentos foram necessários serem implementados e dimensionados com a finalidade de interligar todos os componentes já citados anteriormente. Primeiramente foi montado o diagrama a seguir, com o auxílio do *software* AutoCad, que também auxiliou no dimensionamento dos componentes elétricos.

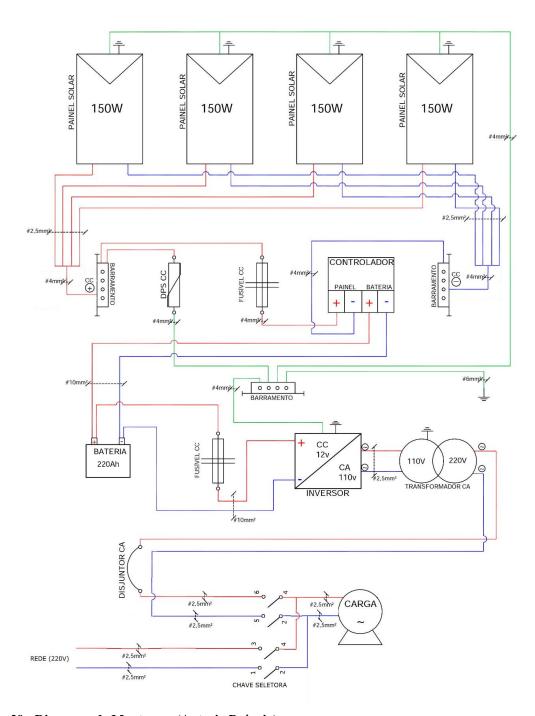


Figura 29 - Diagrama de Montagem (Autoria Própria)

Objetivando a facilidade da apresentação e compreensão do sistema, este foi montado em um painel fixado em cima do forro da residência, juntamente com a bateria, próximo ao telhado onde será instalado os painéis solares. O cabeamento do sistema foi todo dividido em cores: vermelho e preto são cabos com corrente contínua, azul e branco cabos com corrente alternada e verde cabos com a função de terra.

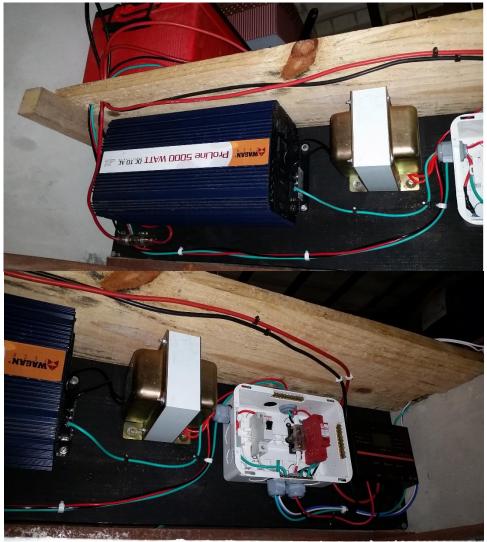


Figura 30 - Sistema Montado

Os dimensionamentos de todos os cabos e disjuntor do sistema foram realizados seguindo as orientações da NBR 5410/2004 através do *software* Prysmian DCE – Baixa Tensão disponibilizado pela fabricante de cabo Prysmian e pela própria norma também disponibilizada pela fabricante. Como segue no exemplo do circuito que liga o transformador com a bomba, resultando em um cabo de 2,5mm²:



DIMENSIONAMENTO DE CIRCUITOS ELÉTRICOS 4.0

Projeto: Projeto_DCE_BAIXA_sem_nome

Circuito: Trafo - Bomba

Dados de entrada

Maneira de instalar: Eletroduto de seção circular embutido em alvenaria

Sistema: Monofásico (F+N)

Cabo: Cabo AFUMEX PLUS 450/750V

 Número de condutores por fase :
 Automático

 Seção nominal do condutor :
 Automática

 Seção mínima de cada condutor :
 2.5 mm2

 Temperatura ambiente :
 30 oC

Dispositivo de proteção : Conf. NBR 5410/2004 - 220V

Fator de correção do disjuntor : 1.00

Comprimento do circuito 40.0 m

Queda de tensão máxima admitida em regime : 3.00 %

Queda de tensão máxima admitida na partida : 10.00 %

Tensão fase/neutro : 220.00 V

Fator de correção de agrupamento : Automático

Corrente c.c. presumida (Ikmax): 15.0 kA

Número de circuitos ou de cabos multipolares 2

Tipo de conduto fechado Não magnético

Motores considerados

	Quantidade de motores iguais	corrente nominal (A)	Fator de potência em regime	Considera na partida ?	Potência (cv)	Corrente na partida (A)	Fator de potência na partida
Ī	1	4,00	0,67	SIM	0,50	27,80	0,67

Corrente do circuito em regime: 4.0 A
Fator de potência do circuito em regime: 0.67
Corrente do circuito na partida: 27.8 A
Fator de potência do circuito na partida: 0.67
Fator de demanda: 1.00

Valores calculados

 Seção nominal dos condutores :
 1 x 2.5 mm2

 Critério de dimensionamento:
 Seção mínima

 Capacidade de condução de corrente :
 1 x 19.2 A

 Fator de correção de agrupamento :
 0.80

 Fator de correção de temperatura :
 1.00

Resistência em CA de cada condutor : 8.8661 ohm/km
Reatância indutiva de cada condutor : 0.1459 ohm/km

Os resultados apresentados foram baseados nas características dos produtos fabricados pela Prysmian

Figura 31 - Folha de Resultado

No diagrama apresentado pode-se observar que as placas foram ligadas em paralelo, porém essa ligação foi realizada com o auxílio de conectores de paralelo

para MC4 apropriado para utilização com cabos de 4 e 6mm², sendo esses capazes de suportar a corrente total do somatório de cada placa.



Figura 32 - Conector paralelo MC4

Os dois fusíveis do sistema tiveram formas de dimensionamento diferentes. O primeiro que está localizado entre as placas e o controlador de carga foi calculado com base no máximo de corrente que poderia passar nele, observando a ligação em paralelo das placas e somando todas as suas correntes de curto circuito, totalizando 35.24A onde o fusível, do tipo MIDI (recomendado pelo fabricante do controlador), disponível no mercado mais próximo é o de 40A.

O segundo fusível é o que está entre a bateria e o inversor que também, por recomendação do fabricante, deve ser utilizado do tipo MIDI ou ANL, porém esse tem como recomendação o uso de um fusível de 500A.



Figura 33 - Fusivel MIDI

Com o objetivo de ampliar a proteção do sistema, foi instalado um dispositivo de proteção contra sobrecorrente (DPS) de classe I e II combinados que, segundo o fabricante (CLAMPER), os dispositivos de classe I são indicados para locais sujeitos a descargas de alta intensidade, sendo o sistema elétrico exposto diretamente a raios. No caso do projeto, as placas e possíveis cabeamentos expostos no telhado da residência enquadram-se nesse perfil.



Figura 34 – DPS – Clamper

Para proporcionar o aterramento adequado ao sistema, e levando em consideração que a casa não o possuía, foi instalado uma barra de aterramento revestida de cobre com comprimento de 2,40m no solo. E seguindo as diretrizes da NBR 5410/2004 um cabo de 6mm² foi conectado a ele até o quadro de luz do sistema.



Figura 35 - Aterramento

Apesar de toda confiança que se tem no projeto, mas sabendo de sua natureza experimental, decidiu-se instalar uma chave seletora no sistema, assim dando a possibilidade do sistema trabalhar tanto com a energia produzida pelas placas ou com a energia proveniente da rede de distribuição. Quando a chave seletora está posicionada na opção 1 a energia é proveniente dos módulos solares, na opção 2 a energia é da rede e quando está em 0 o sistema está desligado.



Figura 36 - Chave seletora

9.1 ANÁLISE DA MONTAGEM

Infelizmente, até a conclusão do trabalho os painéis solares não tinham chegado, mesmo a compra sendo feita com 45 dias de antecedência, por isso foram utilizados painéis emprestados para se fazer os testes do sistema, que funcionou perfeitamente. O carregamento da bateria ocorreu, como pode ser observado na figura abaixo, representada pelas duas setas que saem do painel solar para a bateria no visor do controlador.



Figura 37 - Placas (250W) conectadas em paralelo



Figura 38 - Controlador carregando a bateria

O teste de funcionamento de motor foi realizado utilizando a carga da bateria, com ele foi identificado o perfeito funcionamento dele, tanto durante a partida quanto em seu funcionamento prolongado.

10. VIABILIDADE DO PROJETO

Para ter conhecimento do quanto que o aquecimento custa na residência foi utilizado o valor do quilowatt hora, que é de aproximadamente R\$ 0,68 e o consumo do motor (370W) durante seis horas diárias.

- Energia diária consumida: 2220 kWh;
- Valor 1kWh: R\$ 0,68;
- Energia mensal consumida pelo sistema: 66,6 kWh;
- Valor mensal consumido pela bomba: R\$ 45,28
- Valor anual consumido pela bomba: R\$ 543,45

De acordo com a média do consumo mensal da residência, que é de R\$ 400, observa-se que o valor corresponde a mais de 10% do valor da conta de luz da residência. Considerando o valor do projeto de R\$7437,00, e o valor da conta anual consumida pela bomba que foi de R\$543,45, juntamente com a taxas já citadas calcula-se o *payback do projeto*.

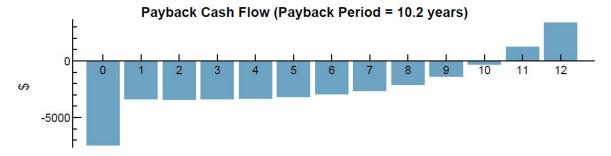


Figura 39 - Payback do projeto (SAM)

10.1 CUSTOS DA ENERGIA E SEU CRESCIMENTO

Segundo a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), a partir de março deste ano houve um aumento de 30% na conta de energia residencial, esse crescimento foi motivado pelo acionamento de usinas termelétricas, por conta do baixo nível de águas dos reservatórios das usinas.

O aumento da tarifa energética nos últimos anos impulsionou esse projeto de graduação final. Segundo (Nakabaiashi, 2015), as tarifas de energia não devem seguir uma trajetória linear devido a vários fatores, dentre elas: razões políticas adotadas, intervenções governamentais e diferentes momentos do setor elétrico brasileiro.

11. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste presente trabalho de conclusão de curso foi realizado um estudo, implementação e avaliação da viabilidade econômico-financeira de um sistema fotovoltaico. Tendo como referência um consumo residencial em um sistema de 2220 kWh.

A viabilidade do projeto depende de condições diversas como, por exemplo, investimento necessário, desempenho do sistema, nível de irradiação solar, energia gerada e, além disso, das condições vigentes nas tarifas de energia elétrica do consumidor.

Considerando uma evolução de tarifas em linha com a inflação e o retrato atual do setor elétrico brasileiro, com níveis de reservatórios hidroelétricos baixos, a viabilidade na maioria dos casos é certa, independentemente do consumo.

Neste trabalho foi abordado, um sistema que complementa um artigo de "luxo" - aquecer piscina -, entretanto, é uma análise de que se pode ir muito mais além, afinal gerar sua própria energia é de fundamental importância no âmbito sustentável e de ajuda na crise energética em nosso país.

12.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOSCH. **Baterias bosch:** Veículos leves, Veículos pesados e fora de estrada, Motos, Estacionarias. Brasil: Autopeças Bosch, 2014. 60 p.
- CÂMARA DOS DEPUTADOS. Energias Renováveis e o Brasil +20. 1.Ed.. Brasil: 2012.
- CENTRO DE ESTUDOS E DEBATES ESTRATÉGICOS. Energias Renováveis: Riqueza Sustentável ao Alcance da Sociedade. 1.Ed.. Brasil: 2012.
- CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO (CRESESB); **Manual de Energia para Sistemas Fotovoltaicos**; Rio de Janeiro: Centro de Pesquisa em Energia Elétrica CEPEL; março de 2014
- COMGAS. Sistema de Aquecimento de Água para Edifícios através da associação Energia Solar e Gás Natural: Manual Técnico para Projeto e Construção de Sistemas de aquecimento Solar e Gás Natural. São Paulo: ---, 2011. 22 p
- EUROPEAN PHOTOVOLTAIC INDUSTRY ASSOCIATION; Global Market Outlook 1.Ed..Europa:2013.
- NAKABAYASHI, Rennyo. **Microgeração fotovoltaica no Brasil: Viabilidade econômica.** 2015. 56 f. Tese (Doutorado) Curso de Energia, Universidade Estadual de São Paulo, São Paulo, 2015.
- PINHO, João Tavares et al. Sistemas Híbridos. Soluções energéticas para a Amazônia, 2008
- Potencial Solar SunData. Disponível em: < http://www.cresesb.cepel.br/> Acesso em: 18 de junho 2015.
- STARKE, Allan Ricardo. UMA ANÁLISE DE SISTEMAS DE AQUECIMENTOS DE PISCINAS DOMESTICAS ATRAVÉS DE BOMBA DE CALOR ASSISTIDA POR ENERGIA SOLAR. 2013. 165 f. Tese (Doutorado) Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianopolis, 2013. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/.../320032.pdf? Acesso em: 20 nov. 2015
- VALLÊRA, A. M. **Meio Século de história fotovoltaica**. Gazeta de Física, Campo Grande, v. 29, p.10-15, fev.,2007.
- VILLAVA, M. G.; GAZOLI, J. R. Curso de solar fotovoltaica Eudora Solar .3. Ed.. São Paulo: 2012.
- VILLAVA, M. G.; GAZOLI, J. R. Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações. 1. Ed.. São Paulo: Érica, 2012.

ANEXOS



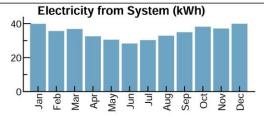
System Advisor Model Report

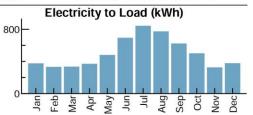
Photovoltaic System Residential 0.60 kW Nameplate \$12.39/W Installed Cost Brasilia_(Civ/Mil), BRA -15.87 N, -47.93 E GMT -3

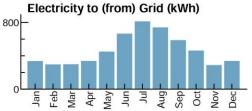
Perform	ance Model	Financial Mo	del
Modules		Project Costs	
User-specified parameters	s	Total installed cost	\$7,437
Cell material	multiSi	Salvage value	\$0
Module area	1 m²	Analysis Parameters	
Module capacity	150.1 DC Watts	Project life	12 years
Quantity	4	Inflation rate	9.8%
Total capacity	0.6 DC kW	Real discount rate	3.5%
Total area	4 m²	Project Debt Parameters (Mortg	iado)
Inverters		Debt fraction	0%
Custom (Inverter Part Loa	nd Curve Model)	Amount	\$0
Unit capacity	120 AC Watts	Term	12 years
Input voltage	12 DC V	Rate	5%
Quantity	1		
Total capacity	120 AC kW	Tax and Insurance Rates	(% of installed cost)
DC to AC Capacity Ratio	0.01	Federal income tax	0%/year
AC losses (%)	1.0	State income tax	0%/year
Array		Sales tax	0%
Strings	4	Insurance	0%/year
Modules per string	1	Property tax (% of assess. val.)	1%/year
String voltage (DC V)	18.3	Incentives	
Tilt (deg from horizontal)	20	Federal ITC 30%	
Azimuth (deg E of N)	180	State ITC 25%	
Tracking	fixed	Electricity Demand and Rate Su	ımmarv
Backtracking	-	Annual peak demand -2.1 kW	············
Rotation limit (deg)	-	Annual total demand -6,019 kWh	
Shading	no	Arizona Public Service Co	
Soiling	yes	Fixed fee: \$45.28/month	
DC losses (%)	4.4	Annual rate escalation: 30%/year	
Performance Adjustmen	nt .	Tiered rates with three or more ra	tes
Annual	no	Results	
Year-to-year decline	0.5	Nominal LCOE	186.3 cents/kWh
Hourly factors	yes	Net present value	\$-1,900
	<u> </u>	Payback period	10.2 years
Annual Results (in Year	•	1 ajbask poried	TOIL JOURS
GHI kW/m²/day	5.4		
POA kW/m²/day	4.0		
DC kWh from array	860		
Net to inverter	820 DC kWh		
Gross from inverter	420 AC kWh		
Net to grid	410 AC kWh		
Capacity factor	7.92		
Performance ratio	0.43		

System Advisor Model Report, Page 2

Photovoltaic System Residential 0.60 kW Nameplate \$12.39/W Installed Cost Brasilia_(Civ/Mil), BRA -15.87 N, -47.93 E GMT -3







No Net Metering Credits

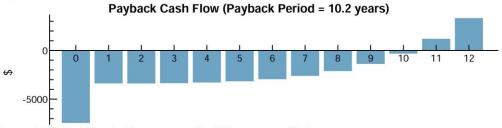
Monthly Electricity Purchases and Savings (Year 1 \$)

Month	Without System	With System	Savings
Jan	88	82	5
Feb	82	77	4
Mar	82	77	4
Apr	88	84	4
May	111	106	4
Jun	140	136	4
Jul	158	154	4
Aug	151	146	5
Sep	127	122	5
Oct	114	109	5
Nov	82	77	4
Dec	87	82	5
Annual	1,316	1,256	59

NPV Approximation using Annuities

Annuities, Car	nnuities, Capital Recovery Factor (CRF) = 0.1739			
Investment	\$-1,200	Sum:		
Expenses	\$0	\$-1,200		
Savings	\$0	NPV = Sum / CRF:		
Energy value	\$0	\$-7,000		

Investment = Installed Cost - Debt Principal - IBI - CBI Expenses = Operating Costs + Debt Payments Savings = Tax Deductions + PBI Energy value = Tax Adjusted Net Savings Nominal discount rate = 1,364.3%



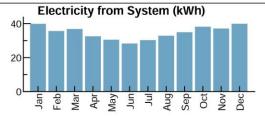
System Advisor Model Standard Report generated by SAM 2015.1.30 on Thu Nov 26 20:51:06 2015

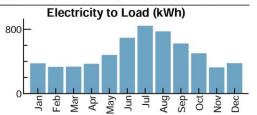
2/3

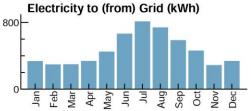
System Advisor Model Report, Page 2

Photovoltaic System Residential

0.60 kW Nameplate \$12.39/W Installed Cost Brasilia_(Civ/Mil), BRA -15.87 N, -47.93 E GMT -3







No Net Metering Credits

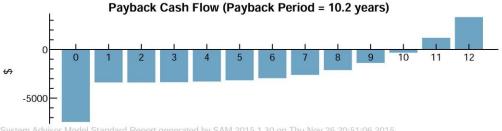
Monthly Electricity Purchases and Savings (Year 1 \$)

Month	Without System	With System	Savings
Jan	88	82	5
Feb	82	77	4
Mar	82	77	4
Apr	88	84	4
May	111	106	4
Jun	140	136	4
Jul	158	154	4
Aug	151	146	5
Sep	127	122	5
Oct	114	109	5
Nov	82	77	4
Dec	87	82	5
Annual	1,316	1,256	59

NPV Approximation using Annuities

Annuities, Capital Recovery Factor (CRF) = 0.1739				
Investment	\$-1,200	Sum:		
Expenses	\$0	\$-1,200		
Savings	\$0	NPV = Sum / CRF:		
Energy value	\$0	\$-7,000		

Investment = Installed Cost - Debt Principal - IBI - CBI Expenses = Operating Costs + Debt Payments Savings = Tax Deductions + PBI Energy value = Tax Adjusted Net Savings Nominal discount rate = 1,364.3%



System Advisor Model Standard Report generated by SAM 2015.1.30 on Thu Nov 26 20:51:06 2015