



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE CENTRO DE CIÊNCIAS
EM TECNOLOGIA AGROALIMENTAR PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM SISTEMAS AGROINDUSTRIAIS**

THALES HIERON SOARES DE ALMEIDA

**DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO *GRID-TIE* E
OFF-GRID PARA ALIMENTAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA DO
LABORATÓRIO HIDRÁULICO DO CCTA / UFCG**

POMBAL-PB

2018

THALES HIERON SOARES DE ALMEIDA

**DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO *GRID-TIE* E
OFF-GRID PARA ALIMENTAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA DO
LABORATÓRIO HIDRÁULICO DO CCTA / UFCG.**

Artigo apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Sistemas Agroindustriais, do Centro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, da Universidade Federal de Campina Grande – Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Sistemas Agroindustriais.

Orientadora: Prof^a. D.Sc: Jussara Silva Dantas

Co-orientador: Prof. D.Sc: Patrício Borges Maracajá

POMBAL-PB

2018

A447d Almeida, Thales Hieron Soares de.
Dimensionamento de um sistema fotovoltaico grid – tie e off - grid para
alimentação de energia elétrica do laboratório hidráulico do CCTA / UFCG /
Thales Hieron Soares de Almeida. – Pombal, 2019.
25 f.

Artigo (Mestrado em Sistemas Agroindustriais) – Universidade Federal de
Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, 2018.
"Orientação: Profa. Dra. Jussara Silva Dantas".
"Co-orientação: Prof. Dr. Patrício Borges Maracajá".
Referências.

1. Energia renovável. 2. Sistema fotovoltaico - Dimensionamento. 3. Energia
solar. 4. Geleia real - Propriedades terapêuticas. I. Dantas, Jussara Silva. II.
Maracajá, Patrício Borges. III. Título.

CDU 620.92(043)



Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar



CAMPUS DE POMBAL

“DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO GRID-TIE E OFF-GRID PARA ALIMENTAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA O LABORATÓRIO HIDRÁULICO DO CCTA / UFCG.”

Defesa de Trabalho Final de Mestrado apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Sistemas Agroindustriais do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar da Universidade Federal de Campina Grande, Campus Pombal-PB, em cumprimento às exigências para obtenção do Título de Mestre (M. Sc.) em Sistemas Agroindustriais.

Aprovada em 20/12/2018

COMISSÃO EXAMINADORA

Jussara Silva Dantas
Orientadora

Patrício Borges Maracajá
Examinador Interno

André Japiassú
Examinador Externo

POMBAL-PB
2018

RESUMO

Diante do atual panorama energético e ambiental, a sociedade busca reduzir os impactos ambientais inserindo novas fontes alternativas de energia. Este trabalho propõe o projeto e dimensionamento de um sistema de captação de energia solar à ser instalado no Laboratório de Hidráulica do Centro de Ciência e Tecnologia Agroalimentar da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), localizado na cidade de Pombal/PB. O sistema tem como finalidade, alimentar os equipamentos eletroeletrônicos do prédio. O trabalho avalia o uso dos tipos de energia solar fotovoltaico como fonte geradora de eletricidade, ou seja, o Sistema Isolados (off-grid) e o Sistema Conectado à Rede Elétrica (grid-tie), e analisa suas viabilidades financeiras. Os dois sistemas são eficientes, sendo o Sistema Conectado à Rede Elétrica (grid-tie) o mais indicado para implementação no laboratório de hidráulica, pelo seu baixo custo e capacidade de se interligar com a rede da concessionária.

Palavras-chaves: Sistema fotovoltaico, Energia solar, Geração de energia, dimensionamento.

ABSTRACT

Faced with the current energy and environmental scenario, society seeks to reduce environmental impacts by inserting new alternative sources of energy. This work proposes the design and design of a solar energy capture system to be installed in the Hydraulic Laboratory of the Center of Science and Agri-food Technology of the Federal University of Campina Grande (UFCG), located in the city of Pombal / PB. The system has as purpose, to feed the electronic equipment of the building. The work evaluates the use of photovoltaic solar energy as the source of electricity, ie the Off-grid System and grid-tie system, and analyzes its financial feasibility. The two systems are efficient, with the grid-tie system being the most suitable for implementation in the hydraulic laboratory, due to its low cost and the ability to interconnect with the utility's network.

Keywords: Photovoltaic system, Solar energy, Power generation, sizing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Laboratório de Hidráulica do Centro de Ciência e Tecnologia Agroalimentar	10
Figura 2. Possível esquema de disposição das placas solares integrando a arquitetura do estacionamento	11

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia] para a cidade de Pomal- PB	18
Tabela 2. Levantamento da demanda de equipamentos de uso diário e consumo geral	19
Tabela 3. Análise da viabilidade econômica dos sistemas fotovoltaicos	20

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	7
2 OBJETIVOS.....	9
2.1 Geral.....	9
2.2 Específicos.....	9
3 MATERIAL E METODOS.....	10
3.1 Área de Estudo.....	10
3.2 Metodos.....	11
3.2.1 Avaliação do recurso solar, posição geográfica.....	12
3.2.1.1 <i>Localização</i>	12
3.2.2 Levantamento do consumo de energia elétrica.....	12
3.2.3 Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos isolados (<i>off-grid</i>) pelo método do mês crítico.....	14
3.2.3.1 <i>Dimensionamento do banco de baterias</i>	14
3.2.3.2 <i>Dimensionamento do Controlador de carga (CI)</i>	14
3.2.3.3 <i>Dimensionamento do inversor</i>	15
3.2.4 Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos conectados à rede (<i>grid-tie</i>).....	15
3.2.5 Dimensionamento dos módulos fotovoltaicos.....	15
3.2.6 Dimensionamento dos inversores.....	16
3.2.7 Dimensionamento da potência de pico do painel FV.....	16
3.3 Análise da viabilidade econômica.....	17
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	18
4.1 Avaliação do recurso solar, posição geográfica.....	18
4.2 Levantamento do consumo de energia elétrica.....	18
4.3 Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos isolados (<i>off-grid</i>).....	19
4.4 Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos conectados à rede (<i>grid-tie</i>).....	20
4.5 Análise da viabilidade econômica.....	20
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	22
REFERÊNCIAS.....	23

1 INTRODUÇÃO

A radiação solar é a principal fonte energética na Terra, sendo responsável pelo dinamismo da atmosfera e pelas características climáticas terrestres (HILLS et al., 2013). Através dessa energia, temos o sistema fotovoltaico que por sua vez é definido como uma fonte renovável gerada mediante conversão direta da radiação solar em eletricidade. Isto se dá, por meio de um dispositivo conhecido como “célula fotovoltaica”, são constituídas de um material semicondutor, onde o principal material é o silício. Segundo Nascimento (2014), as células fotovoltaicas são feitas para manter o fluxo de elétrons num circuito elétrico enquanto houver incidência de luz sobre ela, fenômeno denominado “Efeito Fotovoltaico”.

A Terra possui uma capacidade de captar cerca de $1,8 \times 10^{11}$ MW de energia provinda do sol, o que é muitas vezes maior do que a taxa atual de todo o consumo de energia global (PARIDA et al., 2011). Vanni (2008) enfatiza que o total desta energia gerada, em todo o mundo, chega a ser 10.000 vezes maior que o consumo anual de energia utilizada pela humanidade. Assim sendo, a tecnologia fotovoltaica é uma das melhores maneiras de aproveitar a energia solar.

Segundo informações disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2017), a média anual de irradiação solar no Brasil oferece uma boa uniformidade, com níveis nacionais de irradiância solar global muito maior que os de países que fazem uso da tecnologia solar fotovoltaica para geração de energia elétrica em grande escala, como a Alemanha. Portanto, o Brasil dispõe um grande potencial para o aproveitamento dessa energia, principalmente na região Nordeste e, especificamente no semiárido onde as condições são ainda mais vantajosas.

A tecnologia solar fotovoltaica fornece eletricidade para diversas aplicações, desde calculadoras e relógios de pulso até para satélites, como para a iluminação pública, fornecimento de energia elétrica residencial e industrial. E, para tanto, existem basicamente dois tipos de sistemas fotovoltaicos, os chamados Sistemas Isolados (*Off-grid*) e os Sistemas Conectados à Rede Elétrica (*Grid-tie*).

O sistema *off-grid* é bastante utilizado em áreas isoladas, sem depender de rede elétrica convencional para funcionar e em sua maioria utiliza um sistema de armazenamento de energia para garantir o fornecimento de energia elétrica em períodos sem sol. O sistema *off-grid* com armazenamento geralmente é utilizado em carregamento de baterias de veículos elétricos, em iluminação pública e, até mesmo, em pequenos aparelhos portáteis (VILLALVA & GAZOLI, 2012). Já o sem armazenamento é frequentemente utilizado em bombeamento de

água e por não utilizar instrumentos de armazenamento de energia apresenta maior viabilidade econômica (PEREIRA & OLIVEIRA, 2011).

O sistema *grid-tie* operam sem a necessidade do uso de baterias, já que o suprimento de energia em momentos que a geração é menor do que o consumo da edificação ou dias sem sol solar é feito pela rede da concessionária. O seu objetivo é gerar eletricidade para consumo local, podendo reduzir ou eliminar o consumo de energia da rede elétrica.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Apresentar o projeto de dimensionamento de um Sistema Fotovoltaico (SFV) para instalação no Laboratório de Hidráulica do Centro de Ciência e Tecnologia Agroalimentar, campus Pombal, da Universidade Federal de Campina Grande, visando alimentar os equipamentos eletroeletrônicos do mesmo.

2.2 Específicos

- Avaliar a disponibilidade de recurso solar incidente e disponível na área da aplicação e definição da localização;
- Estudar e diagnosticar a demanda e o consumo de energia elétrica do Laboratório de Hidráulica CCTA/UFCG;
- Determinar a configuração dos Sistemas Fotovoltaico *off-grid* e *grid-tie*;
- Dimensionar a geração fotovoltaica e do sistema de armazenamento da energia;
- Mensurar os equipamentos de condicionamento de potência: controlador de carga e inversor de frequência.
- Avaliar a viabilidade socioeconômica e ambiental dos sistemas propostos.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de Estudo

Haja vista a importância dessa linha de pesquisa, o seguinte projeto de pesquisa tem por área de estudo a elaboração do projeto e dimensionamento de um sistema fotovoltaico para suprir o consumo de equipamentos eletroeletrônicos do Laboratório de Hidráulica do Centro de Ciência e Tecnologia Agroalimentar, localizado na cidade de Pombal, expansão institucional da Universidade Federal de Campina Grande (**Figura 1**).

O laboratório situa-se na parte Leste do Sertão paraibano, e conforma-se sob as latitudes $6^{\circ} 46' 56''$ e $6^{\circ} 47' 4''$ Sul e entre as longitudes $37^{\circ} 48' 8''$ e $37^{\circ} 48' 4''$ a Oeste de Greenwich. A insolação na região de Pombal corresponde a mais de 2.800 horas luz por ano (FRANCISCO, 2016).

Para nossa aplicação sugere-se que tal instalação seja realizada em um local que potencialize a incidência solar, como um estacionamento, local este que proporciona maior anulação dos efeitos de sombreamento. Na **Figura 2** é possível verificarmos uma sugestão de instalação, que integra a arquitetura do estacionamento em frente ao prédio.

Figura 1. Laboratório de Hidráulica do Centro de Ciência e Tecnologia Agroalimentar



Fonte: Acervo da pesquisa (2018)

Figura 2. Possível esquema de disposição das placas solares integrando a arquitetura do estacionamento.



Fonte: QDOQ (2017)

3.2 Métodos

Para se ter um máximo aproveitamento da energia solar nos sistemas fotovoltaicos, faz-se necessário conhecer todo o sistema e realizar o dimensionamento adequado dos equipamentos que o compõe, afim de suprir a energia demandada pela determinada aplicação. No entanto, as etapas para o dimensionamento do SFV são as seguintes:

1. Levantamento do recurso solar disponível no local da aplicação e definição da localização;
2. Levantamento de demanda e consumo de energia elétrica;
3. Determinação da configuração do sistema;
4. Dimensionamento da geração fotovoltaica;
5. Dimensionamento do sistema de armazenamento;
6. Dimensionamento dos equipamentos de condicionamento de potência;
 - a. Controlador de Carga;
 - b. Inversor;

Além disto, faz-se necessário realizar alguns levantamentos quanto ao custo do investimento, ou seja, custos relativos a compra dos equipamentos do sistema gerador e ao projeto, execução, compra de demais dispositivos e aquisição de dispositivos de aterramento.

3.2.1 Avaliação do recurso solar, posição geográfica

Para avaliação dos recursos solares da localização desejada, faz-se necessário informações referente à irradiação solar média, que pode ser obtida por meio de instrumentos específicos para a medição da irradiação do sol, como piranômetros ou pireliômetros. Entretanto, pode-se obter tais informações por intermédio de softwares computacionais que fornece dados realísticos em qualquer ponto do território nacional, visando servir de suporte ao dimensionamento de sistemas fotovoltaicos. Além disso, é de suma importância determinar o ângulo de inclinação dos módulos fotovoltaicos, por ser determinante no desempenho do sistema.

O ângulo de inclinação dos painéis fotovoltaicos igual a latitude é normalmente o melhor ângulo para se instalar um painel fotovoltaico, em que a parte frontal do módulo deve ser direcionada para o Norte. No entanto, para latitudes iguais ou inferiores a 10°, adota-se o valor fixado de 10°, por tal inclinação minimizar a obstrução por meio de poluentes, derivados de possíveis fatores climáticos locais, como períodos de poeiras intensas, ou de nevoeiro.

3.2.1.1 Localização

A integração com elementos arquitetônicos e a presença de elementos de sombreamento ou superfícies reflexíveis próximas podem afetar a eficiência de um sistema fotovoltaico, além de outros fatores como por exemplo: ângulo e orientação dos painéis, presença de elementos de sombreamento ou superfícies reflexivas próximas, fontes de sujeiras, capacidade de troca de calor com o meio e ainda, elementos arquitetônicos. Para CEPEL-CRESESB (2014), em regiões isoladas é mais provável que se encontrem superfícies livres, sem sombreamento e com fácil circulação de ar, no entanto, nas instalações urbanas tipo *rooftop* (de telhado), o projetista tem menos liberdade no posicionamento dos painéis.

3.2.2 Levantamento do consumo de energia elétrica

Para realização do levantamento do consumo de energia elétrica do laboratório utilizou-se a metodologia de acordo com os parâmetros descritos por CEPEL-CRESESB (2014), com modificações para a presente pesquisa. Entretanto, vale a ressalva que em abril de 2012 a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) criou a Resolução Normativa Nº

482, que estabelece as condições para a conexão das centrais geradoras, que se utiliza de fontes alternativas, no qual será o marco regulatório para toda a presente pesquisa (FIGUEIRA, 2014).

A fim de entender que o sistema deve gerar mais eletricidade do que o limite estabelecido para o consumo, deve-se definir um período de tempo e a produção de eletricidade, sabendo que para este período, a geração de energia deve ser maior do que a demanda elétrica a ser atendida. Então, deve-se realizar o levantamento do consumo diário dos equipamentos, sua potência elétrica (verificada no catálogo ou manual do fabricante), período de funcionamento diário, quantidade de dias de utilização por semana. Logo, tem-se dados diários de energia consumida, em Wh.dia^{-1} , e, portanto, realiza-se os cálculos mediante Equações 1 e 2.

$$E_{\text{consumida}} = P_e \times N_d \quad (1)$$

$$\text{Consumo} \left(\frac{\text{Ah}}{\text{dia}} \right) = \frac{E_{\text{consumida}}}{F_{\text{sistema}} \times 0,9} \quad (2)$$

Onde:

- $E_{\text{consumida}}$ (W/h): Energia média consumida diariamente;
- P_e (W): potência nominal do equipamento (dado de placa ou do manual do fabricante);
- N_d (h/dia): número médio de horas diárias de utilização do equipamento;
- 0,9: Fator de descarga da bateria.

O fator de capacidade (F_{sistema}) é um índice que representa a razão entre a energia real entregue pelo sistema e a energia que seria entregue caso se operasse na potência nominal de forma contínua, 24 horas por dia durante o ano inteiro. Este índice geralmente é apresentado em percentual e é muito utilizado para comparar a capacidade de geração de diferentes tipos de fontes de energia (BENEDITO, 2009).

3.2.3 Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos isolados (*off-grid*) pelo método do mês crítico

O método do mês crítico consiste na realização do dimensionamento considerando um balanço de energia durante o período do ano no qual ocorrem as condições médias mais desfavoráveis para o sistema, conforme a Equação 3.

$$Pot_{FV} = \frac{\text{Consumo} \left(\frac{wh}{dia} \right)}{HS_{\text{Mínimo}}} \quad (3)$$

3.2.3.1 Dimensionamento do banco de baterias

De acordo com Dazcal & Mello (2008), são dispositivos responsáveis por fazer o armazenamento da energia elétrica gerada pelos módulos, com o intuito de suprir a demanda da mesma na ausência da radiação solar. Segundo Copetti & Macagnan (2007, p.8), “a bateria para aplicações FV deve apresentar como principais características: capacidade de ciclagem, alta eficiência energética, longo período de vida útil, pouca manutenção e baixo custo”. Levando em consideração todos os parâmetros citados, assim como a energia consumida, foi calculada a capacidade do banco de baterias para o sistema, mediante Equação 4.

$$\text{Capacidade do Banco Bat} = \frac{\text{Consumo}}{\text{Tensão}_{\text{bateria}} * \text{eficiência}_{\text{bateria}}} \times \frac{\text{Autonomia}}{PD} \quad (4)$$

A capacidade de uma bateria é definida como sendo a quantidade de eletricidade em ampères-hora (Ah), representada pelo resultado da corrente (A) e o tempo de descarga em (h) até a tensão final de descarga ser alcançada, ou seja, é a taxa de corrente que uma bateria fornece durante um período de uma hora de utilização (SIMÕES, 2017).

3.2.3.2 Dimensionamento do Controlador de carga (IC)

Conforme Simões (2017), o controlador de carga é o equipamento responsável pela proteção da bateria (ou banco de baterias) contra cargas e descargas excessivas, reduzindo assim seu desgaste e aumentando a sua vida útil. Sua operação baseia-se no monitoramento da tensão da bateria e é instalado entre os módulos fotovoltaicos e as baterias.

Para este cálculo, levou-se em consideração a potência total requerida pelo sistema (Pot_{FV}) e a tensão fornecida pela bateria (V), de acordo com a Equação 5.

$$I_c = \frac{Pot_{FV}}{V} \times 1,25. \quad (5)$$

3.2.3.3 Dimensionamento do inversor

Os inversores são dispositivos eletrônicos que fornecem energia elétrica em corrente alternada a partir de uma fonte de energia elétrica em corrente contínua (CRESESB-CEPEL, 2014), vale salientar que a potência do inversor deve ser igual ou superior a potência máxima da curva de carga, acrescidos de 20% (Equação 6) (CRESESB-CEPEL, 2014).

$$Pot_{inv} = E_{consumida} \times 1,2. \quad (6)$$

3.2.4 Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos conectados à rede (*grid-tie*)

Para este sistema também foi realizado o levantamento do consumo de energia e dados do local idênticos ao *off-grid*.

3.2.5 Dimensionamento dos módulos fotovoltaicos

Para o dimensionamento da potência do sistema é importante ter o entendimento do sistema de compensação regulamentado na região. No sistema de compensação de energia adotado pelo Brasil, de acordo com a Resolução Normativa 482 da ANEEL de 2012, quando o SFV gerar mais energia do que a demanda pela instalação consumida a energia excedente é entregue a rede elétrica e o medidor registra essa energia. Aplica-se a Equação 7.

$$PFV = \frac{\text{Compensação} \times \text{Consumo mensal}}{HS_{\text{Mínimo}} \times 30} \quad (7)$$

3.2.6 Dimensionamento dos inversores

Análises na literatura mostra que os valores inferiores de FDI recomendados por fabricantes instaladores situa-se na faixa de 0,75 a 0,85 enquanto que o limite superior é de 1,05 (CRESESB-CEPEL, 2014). Logo o dimensionamento pode ser dado a partir da Equação 8.

$$P_{\text{inv}} = 0,9 \times PFV. \quad (8)$$

3.2.7 Dimensionamento da potência de pico do painel FV

A potência de pico pode ser calculada pela Equação 9, onde se pode escolher uma fração da demanda de energia elétrica consumida que se pretende suprir com o sistema.

$$PFV = \left(\frac{E_{\text{consumida}} / TD}{HS_{\text{MédiaAnual}}} \right) \quad (9)$$

O desempenho de um SFV é tipicamente medido pela taxa de desempenho (TD), que é definida como a relação entre o desempenho real dos sistemas sobre o desempenho máximo teórico possível. Essa relação é um parâmetro para avaliar a geração de energia elétrica de um dado SFV por levar em consideração a potência real do sistema sob condições de operação e todas as perdas envolvidas como: perdas por queda de tensão devido à Resistência de conectores de cabeamento, sujeira na superfície do painel, sombreamento, eficiência do inversor, carregamento do inversor, resposta espectral, temperatura operacional, dentre outras. Para sistemas *grid-tie*, em locais bem ventilados e não sombreados, uma TD entre 70 e 80% pode ser encontrada nas condições de radiação solar encontrada no Brasil (CEPEL-CRESESB, 2014).

3.3 Análise da viabilidade econômica

Por fim, foi realizada uma análise dentro das opções de mercado, a viabilidade e preço de compra dos equipamentos necessários ao estabelecimento básico do projeto, verificando sites específicos de venda de sistemas fotovoltaicos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Avaliação do recurso solar, posição geográfica

Para o presente dimensionamento, utilizou-se dados de irradiação diária disponibilizado pelo Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito (CRESESB), Tabela 1, mediante programa SunData, que teve como entrada a informação das coordenadas geográficas do local, ou seja, 7,6716° S, 36,88° O.

Tabela 1. Irradiação solar diária média mensal [kWh/m².dia] para a cidade de Pombal - PB.

<i>Meses</i>	<i>Jan</i>	<i>Fev</i>	<i>Mar</i>	<i>Abr</i>	<i>Mai</i>	<i>Jun</i>	<i>Jul</i>	<i>Ago</i>	<i>Set</i>	<i>Out</i>	<i>Nov</i>	<i>Dez</i>	<i>Média</i>
Plano horizontal	6,12	6,05	6,03	5,64	4,89	4,4	4,57	5,28	6,14	6,38	6,57	6,28	5,70
Ângulo = latitude (8° N)	5,82	5,88	6,03	5,81	5,17	4,71	4,87	5,51	6,21	6,25	6,28	5,93	5,71

Fonte: SUNDATA (2018).

Os dados fornecidos têm como base a radiação solar incidente em planos horizontais, bem como em planos inclinados com ângulo igual à latitude, 8° N.

De acordo com os dados da Tabela 1, conclui-se que o mês que apresenta valor crítico de irradiação mensal, é o mês de junho, com valor de 4,4 h/dia para planos que se encontram na posição horizontal. Contudo, esses valores são superiores aos de grandes centros produtores de energia elétrica fotovoltaica, como os casos dos quatro maiores produtores mundiais, que são: Alemanha, Itália, Espanha e Japão, respectivamente (BARBOSA, 2014).

Referente a inclinação dos painéis fotovoltaicos adotou-se o valor de 10°, visto que a latitude da região é inferior a 10° e que essa inclinação minimiza o desgaste por meio de poluentes derivados de possíveis fatores climáticos locais.

4.2 Levantamento do consumo de energia elétrica

Além do levantamento da potência dos equipamentos que consomem energia elétrica, através do manual ou pelo próprio equipamento (**Figura 4**), calculou-se o consumo médio por dia. Considerou-se que, normalmente, os equipamentos são usados apenas uma vez na semana, durante uma aula de 2h.

Todos os dados de tensão, potência, horas e quantidade de dias de utilização e o consumo de energia (Equações 1 e 2), estão dispostos na **Tabela 2**.

Tabela 2. Levantamento da demanda de equipamentos de uso diário e consumo

<i>Equipamento</i>	<i>Qtd</i>	<i>Tensão (V)</i>	<i>Potência (W)</i>	<i>Utilização (horas/dias)</i>	<i>Quantidade geral. Dias/ Semanal</i>	<i>Consumo (kw/h.dia⁻¹)</i>
HD 24 Calha de escoamento aberto (bomba 1cv)	1	127-220	735,499	2	1	1,471
H1D Volumetric bench (jato) (bomba 1cv)	1	127-220	735,499	2	1	1,471
HD98 (perda de carga) (bomba 1cv)	1	127-220	735,499	2	1	1,471
Medidor de vazão (venturi) (bomba 1cv)	1	127-220	735,499	2	1	1,471
HD36 Associação de bombas (bomba 1/2cv)	2	220-380	735,499	2	1	1,471

Pode-se destacar que o consumo de energia total dos equipamentos utilizados no laboratório, é de aproximadamente 7,355 kWh.dia⁻¹.

A partir do levantamento realizado, dimensionou-se os sistemas fotovoltaicos.

4.3 Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos isolados (*off-grid*)

Levando em consideração o dimensionamento do sistema off grid, de acordo com as Equações 3, 4, 5 e 6, para suprir a necessidade do laboratório tem-se:

Potência total dos módulos fotovoltaicos: 1,672 kW;

- i. Capacidade do banco de baterias, considerando tensão do banco 36 V, eficiência da bateria de 90%, 2 dias de autonomia e 50% de profundidade de descarga (PD):908,03 Ah.
- ii. Corrente do Controlador de carga: 58,06 A;

iii. Inversor: 8826 W.

Considerando as correntes elétricas e potências comerciais, é possível adotar um controlador de 60 A, assim como um inverso de 9000 W. Além disso, considerando baterias de 150 Ah de capacidade, temos que são necessárias 7 baterias.

4.4 Dimensionamento de sistema fotovoltaico conectados à rede (*grid-tie*)

Já para o dimensionamento do sistema fotovoltaico conectado à rede (Grid-Tie), tem-se:

- i. Potência total dos módulos, considerando compensação de 90 % do consumo: 1,51 kW;
- ii. Inversor (FDI = 0,9): 1,36 kW.

4.5 Análise da viabilidade econômica

Na **Tabela 3**, pode-se verificar algumas opções de mercado, a viabilidade e preço de compra dos equipamentos necessários ao estabelecimento básico do projeto.

Tabela 3. Análise da viabilidade econômica dos sistemas fotovoltaicos.

<i>Sistema Off-Grid</i>			<i>Sistema Grid-tie</i>		
Painel Solar			Painel Solar		
W	Preço	Qnt	W	Preço	Qnt
270	559	7	270	559	7
300	679	6	300	679	6
330	699	5	330	699	5
Controlador			Inversor		
A	Preço	Qnt	W	Preço	Qnt
60	1429	1	1600	2699	1
Inversor					
W	Preço	Qnt			
9000	2695	1			
Bateria					
V/A	Preço	Qnt			
12/150	891,87	7			

Fonte: Minha Casa Solar (2018).

Dado o dimensionamento realizado, tem-se que a escolha mais viável seria utilizar 5 placas de 330W, tanto para o sistema *off-grid*, quanto para o *grid-tie*. O primeiro sistema custaria em torno de R\$ 12.017,09 (Doze mil, dezessete reais e nov centavos) e o segundo R\$ 4.349,00 (Quatro mil, trezentos e quarenta e nove reais).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os dois sistemas dimensionados (*off-grid* e *grid-tie*) são eficientes, o primeiro geralmente é utilizado em áreas isoladas, assim, o segundo seria o mais indicado para implementação no laboratório de hidráulica, uma vez que além de ter um custo menor, esse sistema supre o consumo de energia em momentos que a geração é menor, a partir de um inversor para conexão à rede, com a capacidade de se interligar com a rede da concessionária, podendo reduzir e/ou eliminar o consumo de energia da rede elétrica.

REFERÊNCIAS

- ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). **Resolução Normativa N° 482**, de 17 de abril de 2012. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em 19/11/2015.
- BARBOSA, V. Os 10 países que mais usam energia solar no mundo. **Revista Online Exame**. 2014. Disponível em: < <https://exame.abril.com.br/economia/os-10-paises-que-mais-usam-energia-solar-no-mundo/> >. Acesso: 19/12/2017.
- BENEDITO, R. S. **Caracterização da geração distribuída de eletricidade por meio de sistemas fotovoltaicos conectados à rede, no Brasil, sob os aspectos técnico, econômico e regulatório**. 2009. 110f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - UNiversidade de São Paulo, São Paulo, 2009.
- CEPEL-CRESESB. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Organizadores: João Tavares Pinho & Marco Antônio Galdino. Rio de Janeiro, março de 2014.
- COPETTI, J.; MACAGNAN, M. **Baterias em sistemas solares fotovoltaicos**. Abens – Associação Brasileira de Energia Solar. Fortaleza, 11, abr. 2007.
- DAZCAL, R.; MELLO, A. **Estudo da implementação de um sistema de energia solar fotovoltaica em um edifício da Universidade Presbiteriana Mackenzie**. Abenge – Associação Brasileira de Educação de Engenharia. Fortaleza, 2008.
- FIGUEIRA, F.F. **Dimensionamento de um sistema fotovoltaico conectado à rede para alimentar a sala de computação da Escola Municipal Tenente Antônio João**. TCC, 2014. Rio de Janeiro: UFRJ/ESCOLA POLITÉCNICA, 2014.
- HILLS, D. M.; SADAVA, D. E.; BERENBAUM, M. *Life: The Science of Biology*. SundeHemus, MA: **Sinauer Associates**, 2013.
- Informativo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). **Atlas Brasileiro de Energia Solar ganha nova edição após dez anos**. Número 08. 05 de Janeiro de 2017. Disponível em: <<http://www.inpe.br/informativo/08/nota03>>. Acesso: 21/10/2017.
- MINHA CASA SOLAR. **Orçamento**. Disponível em: < <https://www.minhacasasolar.com.br/grupolistacompra/gerador-solar-para-conexao-a-rede-publica-grid-tie> >. Acesso: 15/06/2018.
- MOURA, C. S. **Vulnerabilidades das Terras Agrícolas, Degradação Ambiental e Riscos e Desastres ENOS no Município de Sumé-PB**. 2002. 155p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2002.
- NASCIMENTO, C. **Princípio de Funcionamento da Célula Fotovoltaica**. Dissertação de Mestrado apresentada à Escola de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2014. 23 f.

PARIDA, B.; INIYAN, S.; GOIC, R. A review of solar photovoltaic technologies. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Elsevier Ltd, v. 15, n. 3, p. 1625-1636, abr. 2011. ISSN 13640321. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032110004016>>. Acesso: 21/10/2017.

PEREIRA, F.; OLIVEIRA, M. **Curso técnico instalador de energia solar fotovoltaica**. Porto: Publindústria, 2011.

QDOQ. **Energias**. Disponível em: <<https://www.qdoqenergias.com/sistemas-conectados-a-rede-ongrid>>. Acesso: 19/12/2017.

SUNDATA. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata&>>. Acesso: 02/01/ 2018.

SIMÕES, M. C. S. **Dimensionamento de um sistema fotovoltaico para alimentar um sistema de produção de hidrogênio eletrolítico**. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2017.

VANNI, S. R. **Estudo de viabilidade econômica de fontes alternativas de energia de uma comunidade típica da região Nordeste do Brasil**. 2008. 164f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear – Reatores) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares- Autarquia associada à Universidade de São Paulo, SÃO PAULO, 2008.

VILLALVA, M.; GAZOLI, J. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações**. São Paulo: Erica, 2012.