

Dimensionamento de Sistema Solar Off-Grid com Monitoramento de Energia para área Rural Residencial

Bruna Guedeihen Cattani Dias, David da Silva Oliveira, Herbert Alexandre Galdino Pereira, Hiago Marques Orneles Alcantara, Lucas Henrique de Mesquita, Marcel Stefan Wagner

Departamento de Engenharia Elétrica

Universidade Anhembi Morumbi (UAM)

Resumo — O projeto visa demonstrar uma forma alternativa de eletrificar áreas rurais do Brasil para garantir acesso energia elétrica, inclusão social e dignidade humana as pessoas que vivem nessas áreas. A técnica utilizada será da energia solar fotovoltaica e térmica. Possui ainda, o objetivo de garantir o controle da energia produzida e consumida.

Palavras-Chave — Energia. Rural. Solar.

I. INTRODUÇÃO

A energia elétrica nas áreas rurais residências são de grande importância para prover iluminação, aquecimento e refrigeração às propriedades. Através da energia elétrica os produtores e moradores conseguem realizar suas atividades de trabalho rural e ter acesso a iluminação segura a noite, a manutenção dos alimentos em geladeiras, rádio e televisão, entre outros benefícios que garante a dignidade humana a ele.

No Brasil, a maior produção de energia elétrica vem através das nos usinas hidrelétricas. Contudo, o país por apresentar grande extensão territorial e baixo investimento em infraestruturas, faz com que exista muitas regiões rurais não tenham acesso à energia elétrica ou de qualidade. O que torna-se imprescindível a adoção de técnicas muitas vezes não convencionais para a geração de energia elétrica.

Umas das técnicas mais utilizadas atualmente é através da energia solar. Ela pode ser dividida em dois tipos: a energia solar fotovoltaica e a energia solar térmica. A energia solar fotovoltaica é usada essencialmente para a gera energia elétrica diretamente dos raios solares através de placas feitas de cristal de silício. Já à energia solar térmica é utilizada para gerar através do calor do sol aquecimento líquidos, como por exemplo, em água para banho quente.

Os sistemas de energia solar fotovoltaicos se dividem em dois grupos:

- On-Grid: O sistema gerador fotovoltaico está ligado à rede pública de distribuição. Recebe e também envia energia a rede oficial da concessionária de energia elétrica.

- Off-Grid: O sistema gerador fotovoltaico não está ligado à rede pública de distribuição. Não recebe e não envia energia elétrica a rede elétrica da concessionária. Utilizam bancos de baterias próprios para receber e armazenar energia para utilizar em períodos de nenhuma ou baixa geração de energia.

II. PROBLEMA DE PESQUISA E OBJETIVOS

A. JUSTIFICATIVA E PROBLEMATICA

As áreas rurais do Brasil careassem de sistemas de alimentação elétrica convencional de concessionárias em razão de suas vastas dimensões e pouca infraestrutura de rede elétrica que seja capaz de cobrir todas essas regiões. Isso acarreta em privamento do desenvolvimento social e humano, uma vez que não terá acesso a comida sendo conservado em geladeiras, acesso a notícias e músicas pelos meios de comunicação como rádios, televisão, celular e internet. Além de geração de desgastes humano em execução de trabalhos manuais que poderiam ser feitos com máquinas elétricas. Garantia de banho com água em temperatura adequada depois de um dia longo de trabalho cansativo. Não ter acesso a iluminação adequados a noite e segura, pois utilizam meios que podem gerar incêndios ao tentar iluminar o ambiente a noite.

Para dar solução a esses problemas se optou em adotar o sistema de eletrificação rural por meio de energia solar que permite gerar energia elétrica e térmica dentro dessas regiões desprovida de acesso concessionárias de energia elétrica proveniente das concessionárias de energia do país.

O monitoramento do consumo e geração via celular permite um uso racional da energia elétrica e termina solar durante todos os períodos que divide o dia nas suas 24 horas.

B. OBJETIVO GERAL

Coletar dados das cargas instaladas e analisar o perfil de consumo de energia elétrica na residência, levando em consideração um consumo padronizado diário, e, com os dados que serão obtidos, produzir um correto dimensionamento dos módulos fotovoltaicos, controlador de carga, banco de baterias e inversor. Além disso, obter através de análise de perfil de consumo e dados técnicos geográficos e físicos os o correto dimensionamento do sistema de aquecedor solar. Por ultimo, gerar o monitoramento do consumo, produção de energia elétrica e temperatura da água de banho.

C. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

São apontados os seguintes objetivos específicos:

- Fazer o levantamento das principais cargas elétricas de em uso diário na casa, e o tempo de utilização diário e a potência consumida por cada equipamento elétrico;
- Delinear os picos de consumo de cada equipamento elétrico durante as horas que compõem o dia;
- Estudar o perfil de consumo;
- Gerar tabela unificada de dados de consumo por hora das cargas instaladas;
- Analisar tipo de telhado, inclinação e índice de irradiação solar no local;
- Gerar o dimensionamento dos equipamentos do sistema fotovoltaico off-Grid a partir das dos dados coletados e analisados;
- Gerar o dimensionar o banco de baterias;
- Gerar o dimensionamento das proteções do sistema fotovoltaico;
- Gerar o monitoramento da produção e consumo da energia elétrica na residência;
- Analisar o perfil de consumo de água quente para banho;
- Dimensionar o sistema de aquecimento de água solar.

III. PESQUISA TEÓRICA

PARTE I – SISTEMA OFF-GRID

A energia solar pode ser vista com sendo um tipo de energia alternativa e renovável, que possui um baixo impacto ambiental e gera resultados satisfatórios de suprimento das energias elétricas convencionais. Graças a tecnologia que desenvolveu os aos painéis solares fotovoltaicos, é possível fazer a captação da energia do sol e transformá-la em energia elétrica com a ajuda do seu sistema de geração. A sua armazenagem ocorre por meio de bancos de baterias que garantem a continuidade no abastecimento. Esse sistema

fotovoltaico Off-Grid é o que é mais utilizados nas áreas rurais e será utilizado nessa pesquisa. Entretanto, muitos moradores dessas regiões ainda não implantaram esses sistemas fotovoltaicos em suas propriedades em razão dos altos custos. Esse sistema demanda os componentes principais descritos a seguir:

A. PAINEL FOTOVOLTAICO

O painel fotovoltaico é um componente responsável por transformar a energia do sol em energia elétrica em corrente continua. A composição do painel solar consiste em células solares, também conhecidas como células fotovoltaicas. Elas trabalham da seguinte forma: são captados fótons da luz solar e, logo, são transformados em energia elétrica. Desta maneira, a energia absorvida por meio das placas fotovoltaicas pode ser utilizada de diferentes maneiras, tais como em indústrias, comércios, residências. Podendo usa-la até na iluminação de espaços públicos. Essas placas tem baixa manutenção, podem durar anos e não gera danos ao meio ambiente. A constituição dos painéis fotovoltaicos são utilizados normalmente 2 tipos de silício diferentes, que tem como função criar cargas positivas e negativas. Para gerar uma carga negativa, o silício é associado com o boro, e para gerar uma carga positiva, o silício é associado com o fósforo. Essa associação gera mais elétrons no silício o carregado positivamente e menos elétrons no silício o carregado negativamente. O silício quando carregado positivamente forma uma junção com o silício carregado negativamente, o que possibilita que a célula de silício interaja com o sol para gerar eletricidade.



Figura 1 – Painel Fotovoltaico.
Fonte: Portal G1, 2019 [4].

B. CONTROLADOR DE CARGA

O controlador de carga é um componente importante dentro do sistema fotovoltaico Off-Grid, pois ele é o equipamento responsável por garantir a vida útil das baterias estacionárias, protegendo as mesmas dos efeitos da sobrecarga ou descarga repentinas. Esse equipamento é responsável ainda

por tornar o armazenamento da energia elétrica excedente mais eficiente, evitando as perdas da energia elétrica. Tem a função gerar uma corrente de energização maior que a descarga automatizada do sistema, manter o sistema de funcionamento das baterias. O dispositivo também foi projetado para compensar os diferentes fluxos de energia elétrica que acontecem quando a bateria está em processo de carregamento e usada ao mesmo tempo - um processo de suspensão. O controlador também tem a função de indicar quando a bateria está com baixa carga, além de garantir a proteção contra curtos-circuitos e sobrecargas, além de poder medir a pressão e temperatura do conjunto, prevenindo danos por acidentes e superaquecimento.



Figura 2 – Controlador de Carga.
Fonte: Intelbras, 2022 [6].

C. INVERSOR

O inversor fotovoltaico ou solar é o equipamento utilizado para converter a energia elétrica gerada através painéis fotovoltaicos de corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA), dessa forma é possível a sua utilização como fonte de energia elétrica para uso nos aparelhos domésticos das casas. O inversor solar off grid foi criado para ser utilizado em sistemas solar fotovoltaico desconectados da rede elétrica das concessionárias e que utilizam sistemas de bancos de baterias. Ele converte a eletricidade de CC a 48, 24 ou 12 Volts para a energia de CA dentro das faixas de 110/220 V e 60 Hz aqui no Brasil. A sua potência é de acordo com a dimensão projetada do sistema solar. Os inversores de maior potência e mais modernos possuem o controlador de carga já acoplado a ele.



Figura 3 – Inversor.
Fonte: Sharenergy, 2017 [16].

D. BANCO DE BATERIAS

A bateria do sistema fotovoltaico utilizada em sistemas Off-Grid para garantir a estabilidade no fornecimento de energia. Sua finalidade principal é a de armazenamento da energia elétrica convertida para permitir o seu uso em qualquer instante, especificamente durante o período da noite, chuvoso ou nublados. Podemos encontrar três tipos de bateria para ser utilizada nesse sistema: níquel-cádmio, chumbo-ácido e íons de lítio. As mais utilizadas são as de chumbo-ácido estacionárias.



Figura 4 – Banco de Bateria.
Fonte: Intelbras, 2022 [9].

E. COMPONENTES PERIFÉRICOS

Os componentes periféricos do sistema Off Grid são partes menores que compõem o sistema como um todo, abaixo estão os principais:

- String Box Solar Off-Grid AC/DC para Inversor e Controlador (função: proteção do sistema): composta por Disjuntor DC, Porta Fusível, DPS DC Clamper, Quadro de distribuição com seus periféricos;



Figura 5 – String Box.
Fonte: Sharenergy, 2017 [17].

- Barra Perfil em Alumínio, Fixador Intermediário Middle Clamp, Fixador Final Z End Clamp/painéis (função: prender os painéis solar)

- Cabo flexível de cobre estanhado, têmpera mole e classe 5, Isolação a base de composto não halogenado termofixo, anti-chamas, resistente a radiação UV. E Par de Conector MC4 (função: ligar os painéis solar até a String Box).

PARTE II – SISTEMA DE AQUECEDOR SOLAR DE ÁGUA

Aquecedor de água por meio da energia solar é um importante instrumento nas residências para garantir o banho em temperatura apropriada os moradores.

Em suma, um sistema de aquecimento solar de água é composto por um coletor solar (painel) e o reservatório térmico chamado de Boiler.

As placas tem a função de captar a radiação solar. Esse calor absorvido é transferido para a água que transita por dentro da tubulação de cobre. A água aquecida volta para o reservatório e fica nesse processo de ida e volta.

A água quente é armazenada no recipiente chamado de Boiler, que é um cilindro de polipropileno, cobre ou inox que possui ainda isolamento térmico com poliuretano expandido, que a conserva aquecida até a hora do seu consumo.

No captador solar, os raios solares transpassam o vidro da tampa do captador e eles aquecem as aletas que são fabricadas com material de alumínio ou cobre e pintadas com uma tinta especial e escura que ajuda a realizar a captar a máxima radiação solar.

O calor então passa das aletas para as serpentinas feitas normalmente de cobre. Posteriormente, a água contida no interior da serpentina gera aumento de temperatura a esquentando e vai parar diretamente no Boiler.

O sistema acoplado ao chuveiro trabalha no sistema de misturador de água, uma tubulação vem da caixa de água normal e outra tubulação do aquecedor, que se encontram em dois registros de água dosados esses registros gera a temperatura ideal para banho, não muito quente e nem muito fria.

A seguir poderá ser visto uma foto que ilustra o sistema de aquecimento de água a partir de placas coletoras, o que proporcionará mais compreensão sobre esse sistema, ao mostrar com maior detalhes a montagem do sistema (Boiler, coletores, caixa de água e tubulação).

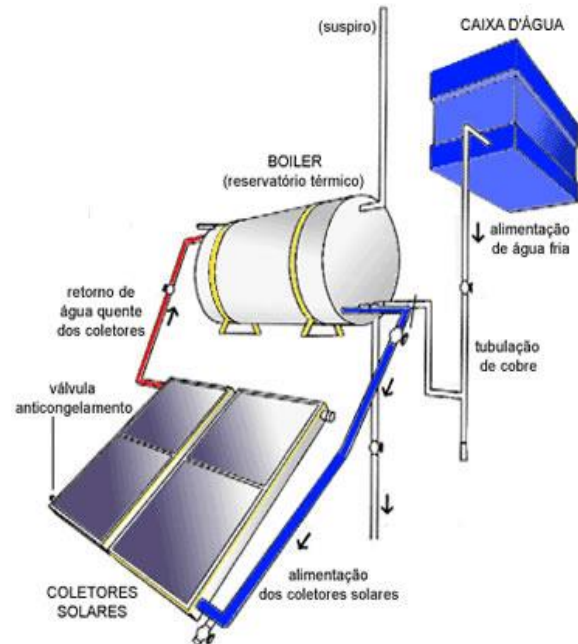


Figura 6 – Aquecedor Solar de Água.
Fonte: Brasil Escola, 2022 [2].

PARTE III – SISTEMA DE MONITORAMENTO

O conjunto de energia solar para utilização nas residências conta com um sistema de monitoramento de produção e consumo do sistema off grid fotovoltaico e monitoramento da temperatura da água de banho da caixa de água. Esse sistema de monitoramento trabalhará com componentes do sistema do Arduino.

IV. METODOLOGIA

A metodologia se desenvolverá através de um estudo de caso. Para tanto, foi escolhido uma residência de Chácara onde não existe energia elétrica, situada na Rua Francisco da Costa, Nº 107 107 – Bairro Chácara Guaio - CEP: 08.512-100 – Cidade de Ferraz de Vasconcelos – SP. Latitude e Longitude: 23.580412331232086, -46.357752892132034. Essa residência necessita de um sistema fotovoltaico capaz de suprir a demanda de energia e um sistema de aquecedor solar para banho. Para isso a instalação elétrica será dimensionada. Encontra seu consumo mensal de kWh/dia para posteriormente dimensionar a quantidade de placas fotovoltaicas, inversor, controlador de carga, String Box e banco de baterias. Será dimensionado ainda o sistema de aquecimento solar para banho dessa residência e gerado o monitoramento desses sistemas em suas gerações e consumo.



Figura 7 – Residência do Projeto.

Fonte: Google Maps, 2022 [8].

PARTE I – DIMENSIONAMENTO OFF GRID

O processo de dimensionamento precisa seguir os seguintes passos:

1. Estudo de Carga: cálculo do consumo médio dos aparelhos em Watt; estimativa de horas de consumo energético; estimativa de consumo diário em Watt e determinar o kWh/dia;
2. Estudo do telhado, inclinação e área disponível para instalar os painéis solares;
3. Verificação de sua posição geográfica e índices de irradiação solar do local através dos dados do CRESESB;
4. Estudo de perdas por sombreamento e sujeidade;
5. Dimensionamento da quantidade de módulos fotovoltaicos, inversor, controlador de carga e proteções;
6. Dimensionamento do banco de baterias. Esse dimensionamento irá considerar para seu dimensionamento as luzes, geladeira, televisão, rádio e uma tomada para carregar celular (os seus tempos de uso e potências) para compor os circuitos que utilizaram a carga da bateria com uma autonomia de 2 dias.

PARTE II – AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA

Para se realizar o processo de dimensionamento do sistema de aquecimento de água, olharemos quantas pessoas existem na casa, quantos banho tomam, o tempo que demoram com ele ligado e vazão de água pela tubulação do chuveiro. Além disso, olharemos o local de instalação e seu potencial de insolação e a forma de instalação. Conseguiremos assim, obter o volume de água para sabermos a quantidades de Boiler necessários e a quantidade de painel solar de aquecimento.

Referente à instalação dos coletores e do reservatório térmico, esse quesito é olhado devido as diversas formas de instalação de telhados e áreas de sombreamento do local, para melhor definimos o tamanho do coletor solar e o modelo do

reservatório. Esse quesito é fundamental para o dimensionamento do sistema, o que leva a impactar na eficiência do sistema.

Além disso, é necessário olhar a inclinação do telhado, direcionamentos das placas onde se obtém maior incidência solar e com pouco sombreamento, normalmente para regiões abaixo da linha Equador deve está voltada para o Norte. Já se situado acima da linha do Equador deve direcionar as placas para o Sul. [19]

O perfil de consumo da água aquecida pelos coletores é de fundamental importância nesse dimensionamento. Uma vez que, quanto maior a necessidade da água aquecida, maior a demanda por energia. Por isso, o reservatório precisa ter maior capacidade de armazenamento e podem ser necessários mais coletores.

O quesito da forma de instalação procura avaliar se em alguns casos, depois de instalado, existe a necessidade de instalado, por exemplo, de bomba de água ou válvulas para fazer a água circular pelos coletores ao boiler. O que é fundamental para manter o sistema funcionando e suprimindo a demanda.

PARTE III - MONITORAMENTO

A. SENSOR DE CORRENTE ELÉTRICA

O sensor de corrente SCT-013-000 será utilizado para medir corrente AC até 100A. Muito usado em projetos com Arduino de automação residencial como medidores de corrente elétrica. Através dessas medidas de corrente elétrica é possível através do Arduino encontra a potência de consumo e o tempo de uso energético do banco de baterias estacionarias.



Figura 8 – Sensor SCT-013-000.

Fonte: Portal Vida de Silício, 2022 [18].

B. SENSOR DE TEMPERATURA

Sensor de Temperatura DS18B20 será utilizado para medir a temperatura da água de banho do sistema de aquecedor solar dentro do Boiler. Com intuito monitorar a temperatura e decidir de acordo com o tempo de, por exemplo, adia ou antecipa seu banho. O DS18B20 é bastante preciso ($\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ exatidão) e proporciona leituras de temperatura de até 12-bits (configurável) através de uma conexão de dados de apenas 1 fio com o seu microcontrolador Arduino.



Figura 9 – Sensor DS18B20 .

Fonte: Portal Curto Circuito, 2021 [1].

C. ATMEGA328P - ARDUINO

O ATMEGA328P - arduino será usado para ler os dados e informa a seu usuário por meio de um aplicativo a temperatura, corrente. E desses dados obteremos a potência consumida, tempo de suprimento das baterias e temperatura de água de banho.

REFERÊNCIAS

- [1] CIRCUITO, Portal Curto. **Sensor DS18B20**. 2021. 9 fotografia 5,49 x 8,41 cm. Disponível em: <https://www.curtocircuito.com.br/blog/Categoria%20Arduino/como-utilizar-o-ds18b20>. Acesso em: 26 abr. 2022.
- [2] ESCOLA, Brasil. **Aquecimento Solar de Água**. 6 fotografia. 9,01 x 8,18 cm. Disponível em: <https://s1.static.brasilecola.uol.com.br/be/e/termossifao.jpg>. Acesso em: 26 abr. 2022.
- [3] ENERGÊS. **Do Início ao Fim Sistema Solar Fotovoltaico Off-grid**. Disponível em: <https://energes.com.br/do-inicio-ao-fim-sistema-solar-fotovoltaico-off-grid/>. Acesso em: 24 de abr. de 2022.
- [4] G1, Portal. **Painel Solar**. 2019. 1 fotografia. 500 x 375 pixels. Disponível em: [https://s2.glbimg.com/MntW5m0AZI9LVFYxBhMFt3jWfzI=/0x0:1000x669/984x0/smart/filters:strip_icc\(\)/i.s3.glbimg.com/v1/AUTH_59edd422c0c84a879bd37670ae4f538a/internal_photos/bs/2019/D/y/vhxFoASiG5TI7MSTsvYQ/foto-1.jpg](https://s2.glbimg.com/MntW5m0AZI9LVFYxBhMFt3jWfzI=/0x0:1000x669/984x0/smart/filters:strip_icc()/i.s3.glbimg.com/v1/AUTH_59edd422c0c84a879bd37670ae4f538a/internal_photos/bs/2019/D/y/vhxFoASiG5TI7MSTsvYQ/foto-1.jpg). Acesso em: 26 abr. 2022.
- [5] HODGE, B. K. **Sistemas e Aplicações de Energia Alternativa**. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2011.
- [6] INTELBRAS. **Controlador de Carga**. 2022. 2 fotografia. 3,79 x 3,98 cm. Disponível em: https://backend.intelbras.com/sites/default/files/2020-02/FlyerDigital_ECM-4024_CAPA_2.jpg. Acesso em: 26 abr. 2022.
- [7] LOPEZ, Ricardo Aldabó. **Energia Solar para Produção de Eletricidade**. São Paulo: Artliber Editora, 2012.
- [8] MAPS, Google. **Residência do Projeto**. 2022. 7 fotografia. 4,13 x 8,17 cm. Disponível em: <https://www.google.com/maps/place/R.+Manuel+Sebastião+C3%A3o+-+Ferraz+de+Vasconcelos,+SP/@-23.5803943,-46.3577558,48m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x94ce70021592df0f:0x1fa6fac8cd902dd2!8m2!3d-23.5753326!4d-46.3557836>. Acesso em: 26 abr. 2022.
- [9] PROUPS. **Banco de Baterias**. 2022. 4 fotografia. 6,12 x 4,51 cm. Disponível em: https://proups.com.br/media/cache/produto_380x506/uploads/images/5ae23ac898909.jpg. Acesso em: 03 jun. 2022.
- [10] RUTHER, R. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**. Florianópolis: LABSOLAR, 2004.
- [11] SENAI. **Instalação de sistema de microgeração solar fotovoltaica**. São Paulo: SENAI-SP EDITORA, 2016.
- [12] SOLAR, Portal. **Sistema de Aquecimento Solar de Água**. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/sistema-de-aquecimento-solar-de-agua.html>. Acesso em: 24 de abr. de 2022.
- [13] SILVA, Ennio Pares da. **Fontes renováveis de energia: produção de energia para um desenvolvimento sustentável**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2014.
- [14] SOLAR, Portal. **Sistema de Energia Solar Off Grid**. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/sistema-energia-solar-off-grid>. Acesso em: 24 de abr. de 2022.

[15] SUNDATA. **Base de dados sobre radiação solar no Brasil CRESESB**. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/>. Acesso em: 24 de abr. de 2022.

[16] SHAREENERGY. **Inversor**. 2017. 3 fotografia. 3,56 x 5,04 cm. Disponível em: https://shareenergy.com.br/wp-content/uploads/2017/11/Fronius-Primo-5.0-Single-phase-5kw-inverter_1.jpg. Acesso em: 26 abr. 2022.

[17] SHAREENERGY. **String Box**. 2017. 5 fotografia. 3,87 x 7,11 cm. Disponível em: <https://shareenergy.com.br/wp-content/uploads/2018/02/Sem-t%C3%ADtulo-768x514.png>. Acesso em: 26 abr. 2022.

[18] SILÍCIO, Portal Vida de. **Sensor SCT-013**. 8 fotografia 5,53 x 7,15 cm. Disponível em: <https://i0.wp.com/portal.vidadesilicio.com.br/wp-content/uploads/2017/10/664.jpg?resize=247%2C246&ssl=1>. Acesso em: 26 abr. 2022.

[19] SOLAR, Canal. **Os módulos FV devem ser orientados sempre para o Norte?**. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/os-modulos-fv-devem-ser-orientados-sempre-para-o-norte/>. Acesso em: 24 de abr. de 2022.

[20] VILLALVA, Marcelo Gradella. **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações**. São Paulo: Érica / Saraiva Editora, 2015.

APÊNDICE

GITHUB: <https://github.com/herbert1986/TCC-Engenharia-El-trica.git>