

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

GABRIEL RESENDE DA SILVA SCAPIM

**DESENVOLVIMENTO DE UM SOFTWARE EM JAVA PARA
DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS OFF-
GRID**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**MARINGÁ
2023**

GABRIEL RESENDE DA SILVA SCAPIM

**DESENVOLVIMENTO DE UM SOFTWARE EM JAVA PARA
DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS OFF-
GRID**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Departamento de
Engenharia Química, curso de
Engenharia Elétrica da Universidade
Estadual de Maringá, como requisito
parcial à obtenção do título de
Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Rubens Zenko
Sakiyama

Coorientador: Prof. Ms. Lucas Lima
Provensi

MARINGÁ

2023

TERMO DE APROVAÇÃO

DESENVOLVIMENTO DE UM SOFTWARE EM JAVA PARA DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS OFF- GRID

por

GABRIEL RESENDE DA SILVA SCAPIM

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado em 06 de fevereiro de 2023 como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Rubens Zenko Sakiyama
Prof. Orientador

Prof. Ms. Lucas Lima Provensi
Prof. Coorientador

Rafael Osipi de Sousa
Membro titular

Prof. Dr. Rafael Krummenauer
Membro titular

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

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha avó,
Maria Aparecida Resende Silva (*in
memoriam*), meu maior exemplo de
resiliência.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Mônica e Carlos, pelo amor e apoio em toda a minha trajetória.

Ao meu irmão, João Pedro, pelo companheirismo e conselhos.

Aos meus avós, *in memoriam*, Alberto, Donato, Maria Aparecida e Terezinha, sem eles esse momento não seria possível.

Aos meus padrinhos, Magno e Cristina, pelo apoio e torcida.

A minha namorada, Isabela, pelo carinho e incentivo.

Aos meus tios, tias e demais familiares.

A todos os professores que contribuíram para a minha formação, em especial aos meus orientadores Rubens Sakiyama e Lucas Provensi.

Ao meu companheiro de trabalho e amigo, Jorge Ortiz, pela oportunidade e ensinamentos.

A todos os meus amigos e colegas de graduação.

RESUMO

SCAPIM, Gabriel R. S. S. Desenvolvimento de um Software em Java para Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos Off-Grid. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 2023.

Energias renováveis são fontes de energia limpa e sustentável, representando 29% da matriz energética mundial. A geração de energia solar fotovoltaica off-grid é uma forma de se obter energia elétrica sem a necessidade de conexão à rede elétrica. Dimensionar um sistema fotovoltaico off-grid é complexo, pois requer a consideração de diversos fatores. A utilização de softwares de dimensionamento é essencial para garantir a eficiência e rentabilidade do sistema, mediante de simulações e cálculos dos equipamentos necessários para a instalação. Neste contexto, foi desenvolvido um software para dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos Off-Grid na linguagem de programação Java, que calcula os principais parâmetros necessários para o funcionamento do sistema. Além disso, criou-se um banco de dados em SQL contendo inversores e controladores de cargas presentes no mercado, sendo usado pelo programa para indicar qual equipamento utilizar. O software apresentou resultados que demonstram que seu uso é viável na prática, sendo capaz de calcular os parâmetros propostos em seus objetivos e validados em comparação com um sistema ativo instalado e dimensionado na literatura nacional.

Palavras-chave: energias renováveis, programação, sistemas autônomos de energia elétrica.

ABSTRACT

SCAPIM, Gabriel R. S. S. Development of a Java Software for Sizing Off-Grid Photovoltaic Systems. 2023. *Final Paper (Bachelor's Degree in Electrical Engineering)* – Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 2023.

Renewable energies are clean and sustainable sources of energy, representing 29% of the world's energy matrix. Off-grid photovoltaic solar power generation is a way to obtain electrical energy without the need for connection to the electrical grid. Dimensioning an off-grid photovoltaic system is complex, as it requires consideration of various factors. The use of dimensioning software is essential to ensure the efficiency and profitability of the system, through simulations and calculations of the necessary equipment for installation. In this context, a software for dimensioning Off-Grid Photovoltaic Systems in the Java programming language has been developed, which calculates the main parameters necessary for the system to function. In addition, a SQL database was created containing inverters and load controllers present in the market, being used by the program to indicate which equipment to use. The software presented results that demonstrate its feasibility in practice, being able to calculate the parameters proposed in its objectives and validated in comparison with an active system installed and dimensioned in national literature.

Keywords: renewable energies, programming, autonomous energy systems.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Irradiância diária média.....	16
Figura 2 - Exemplo de perfis de irradiação solar diária com valores equivalentes de HSP	16
Figura 3 - Potencial de geração solar fotovoltaica no mundo.....	17
Figura 4 - Potencial de geração solar fotovoltaica no Brasil.....	18
Figura 5 - Sistema fotovoltaico on-grid.....	19
Figura 6 - Sistema fotovoltaico off-grid.....	20
Figura 7 - Sistema fotovoltaico híbrido	21
Figura 8 - Sistema trifásico de energia.....	22
Figura 9 - Composição de um módulo fotovoltaico	23
Figura 10 - Ciclo de vida da bateria Freedom DF4100 em função da profundidade de descarga.....	27
Figura 11 - Fluxograma 1 do software.....	31
Figura 12 - Fluxograma 2 do software.....	32
Figura 13 - Dados de entrada do sistema fotovoltaico do software.....	38
Figura 14 - Levantamento de cargas do software	39
Figura 15 - Resultados dos cálculos realizados pelo software	39
Figura 16 - Dimensionamento do controlador de carga pelo software	40
Figura 17 - Resultados do dimensionamento de um sistema bifásico realizado pelo software	42
Figura 18 - Resultados do dimensionamento de um sistema trifásico realizado pelo software	43
Figura 19 - Banco de dados dos inversores fornecido pelo software	43
Figura 20 - Banco de dados dos controladores de carga fornecido pelo software	44
Figura 21 - Menu de ajuda do software.....	44
Figura 22 - Mensagem de aviso sobre a potência de partida.....	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultados obtidos pelo software e por Ribeiro (2020).....	40
Tabela 2 - Comparação dos controladores de carga SmartSolar MPPT 100/50 Victron Energy e Fangpusun Mppt 100/50	41
Tabela 3 - Comparação dos inversoresPhoenix 12/3000 Victron Energy e <i>LinkChamp's SP Series 2500</i>	42

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO	12
1.2. OBJETIVO GERAL.....	13
1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
2. DESENVOLVIMENTO	15
2.1. POTENCIAL SOLAR	15
2.1.1. Irradiação solar	15
2.1.2. Aspectos Geográficos	17
2.2. SISTEMAS DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	18
2.2.1. On-Grid	19
2.2.2. Off-Grid	19
2.2.3. Híbridos.....	20
2.3. COMPONENTES DE UM SISTEMA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICO	21
2.3.1. Cargas.....	21
2.3.2. Módulo Fotovoltaico	23
2.3.3. Inversor fotovoltaico	25
2.3.4. Baterias	26
2.3.5. Controlador de carga.....	28
2.4. LINGUAGENS DE PROGRAMAÇÃO	28
2.4.1. JAVA	28
2.4.2. SQL	29
3. MATERIAIS E MÉTODOS	30
3.1. PROCEDIMENTO 1	32
3.1.1. Procedimento 1.1	32
3.1.2. Procedimento 1.2	33

3.1.3.	Procedimento 1.3	34
3.1.4.	Procedimento 1.4	34
3.1.5.	Procedimento 1.5	34
3.1.6.	Procedimento 1.6	35
3.1.7.	Procedimento 1.7	35
3.1.8.	Procedimento 1.8	36
3.2.	PROCEDIMENTO 2	36
3.2.1.	Procedimento 2.1	36
3.2.2.	Procedimento 2.2	36
3.2.3.	Procedimento 2.3	37
3.2.4.	Procedimento 2.4	37
3.3.	FUNCIONALIDADES EXTRAS DO SOFTWARE.....	37
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
5.	CONCLUSÃO	46
6.	REFERÊNCIAS	47

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

A demanda global por energia elétrica causada pelo avanço da tecnologia vem aumentando cada vez mais, chegando a um crescimento de 5% entre os anos de 2020 e 2021 (IEA, 2022). Estima-se que mais de 61% da atual oferta energética mundial é proveniente da queima dos combustíveis fósseis (IEA, 2022), provocando um aumento nas emissões de gases na atmosfera e danos ao meio ambiente (ALI, AHMAD, YUSUP, 2020).

Com o avanço das políticas climáticas e o aceleração do efeito estufa causado pela emissão desses gases, a busca por fontes de energia renováveis está em crescimento, representando 29% da matriz energética mundial (C2ES, 2020).

O aumento recente nos preços do gás natural no continente europeu, provocado por diversos fatores, como a recuperação econômica global após a pandemia do COVID-19 e um inverno mais frio na região, causa um temor na população pelo risco da falta de energia e aumento das contas de luz (EURONEWS, 2022).

O Brasil possui uma das matrizes energéticas mais limpas do mundo, gerando mais de 77% de sua energia por meio de fontes renováveis. Pelo território possuir diversos rios extensos e abundantes, que correm sobre depressões e planaltos, 55,45% de toda energia consumida é proveniente de usinas hidrelétricas (RITCHIE, ROSER & ROSADO, 2020).

Entretanto, o funcionamento das hidrelétricas depende de fatores climáticos por conta de seus reservatórios. Em 2021, o Brasil passou pela pior crise hídrica em mais de 90 anos, que resultou em baixos níveis dos reservatórios e foi forçado a utilizar usinas termelétricas para evitar o risco de apagões ou racionamento (CNN, 2021). Assim como na Europa, essa crise resultou no aumento das contas de luz e a necessidade de aumentar a geração de energia por outras fontes renováveis.

A energia solar fotovoltaica surge como uma das alternativas para a produção de energia limpa, renovável e com baixo impacto ambiental. Seu princípio de funcionamento consiste na obtenção de energia a partir do efeito

fotovoltaico, convertendo luz em eletricidade a partir de um elemento semicondutor chamado célula fotovoltaica (NASCIMENTO, 2004).

Os sistemas fotovoltaicos podem ser divididos em três tipos: on-grid, off-grid e híbrido. Os sistemas on-grid são ligados à rede pública de distribuição, em momentos em que a produção de energia está baixa, ele utilizará a energia da concessionária para compensar a demanda. Em contrapartida, os sistemas off-grid não utilizam a energia da rede de distribuição, e sim baterias que são responsáveis por armazenar a energia excedente produzida e alimentar o sistema quando a produção está mais baixa. Os sistemas híbridos combinam esses dois modelos, permitindo uma conexão com várias fontes de geração e armazenamento de energia utilizando baterias (PINHO; GALDINO, 2014).

Os sistemas off-grid e híbridos possuem a vantagem de não dependerem do fornecimento de energia da rede pública de distribuição, podendo ser utilizados em regiões remotas e não estarem sujeitos aos riscos de apagões e racionamento por parte da concessionária.

Apesar dessas vantagens, esses sistemas necessitam de mais equipamentos em relação ao on-grid. Por isso, seu dimensionamento envolve mais variáveis e seu grau de complexidade é maior. A dificuldade nos cálculos, escolha do equipamento, acesso a materiais de apoio e softwares, acabam sendo um empecilho quando decide-se optar por esse tipo de instalação.

Nesse contexto, o presente trabalho visa desenvolver um software para facilitar o dimensionamento desses sistemas.

1.2. OBJETIVO GERAL

Desenvolver um software de dimensionamento para sistemas fotovoltaicos off-grid.

1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Calcular a potência elétrica de pico do sistema fotovoltaico;
- Calcular a capacidade de armazenamento de energia do banco de baterias;
- Calcular a potência elétrica do inversor;
- Balancear as cargas em sistemas bifásicos e trifásicos;
- Calcular a tensão e corrente elétrica do controlador de carga;
- Criar um banco de dados com os equipamentos presentes no mercado;
- Selecionar o inversor e o controlador de carga a partir dos modelos cadastrados no banco de dados.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. POTENCIAL SOLAR

Em 1839, Alexandre-Edmond Becquerel observou que uma célula eletroquímica gerava uma diferença de potencial elétrico entre dois eletrodos quando exposto à luz solar (BECQUEREL, 1839), posteriormente, esse fenômeno foi chamado de efeito fotovoltaico.

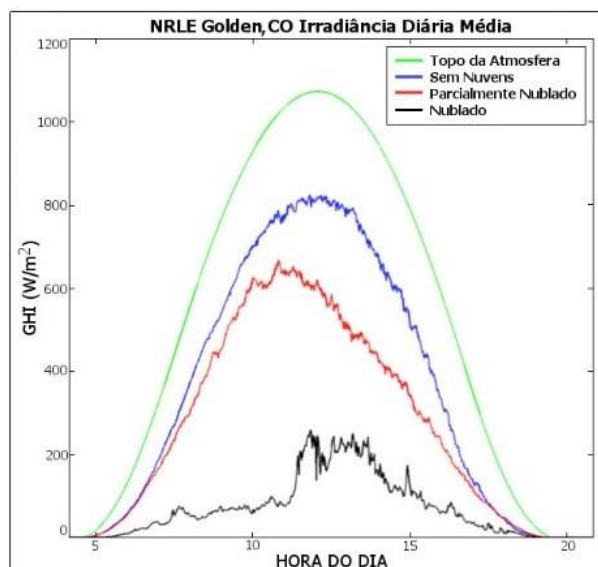
As primeiras células fotovoltaicas de selênio foram fabricadas em 1883 por Charles Fritts. Em 1954, por meio dos avanços tecnológicos na área de semicondutores, nos Laboratórios Bell, nos Estados Unidos, foram feitos os primeiros experimentos utilizando junções p-n de silício cristalino. Posteriormente, esses experimentos culminaram na primeira célula solar comercial, que atingia uma eficiência de conversão de energia solar em elétrica de aproximadamente 6% e potência máxima de 5 Miliwatts, em uma área de 2 cm². Atualmente, são utilizadas várias células fotovoltaicas em um único módulo fotovoltaico (PINHO; GALDINO, 2014).

2.1.1. Irradiação solar

A energia emitida pelo Sol por meio de ondas eletromagnéticas é chamada de radiação solar, sendo a principal fonte de energia para os processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem no planeta Terra. A irradiação solar é a quantidade dessa energia que incide por unidade de área, determinada em Wh/m² (GÓMEZ; CARLESSO; VIEIRA; SILVA, 2018)

O total de energia que atinge o limite exterior da atmosfera terrestre varia de 1318 Wh/m² a 1360 Wh/m², esse valor é chamado de constante solar (JOHNSON, 1954). Diversos fatores afetam a irradiação solar em um determinado local, como condições meteorológicas e hora do dia (Figura 1).

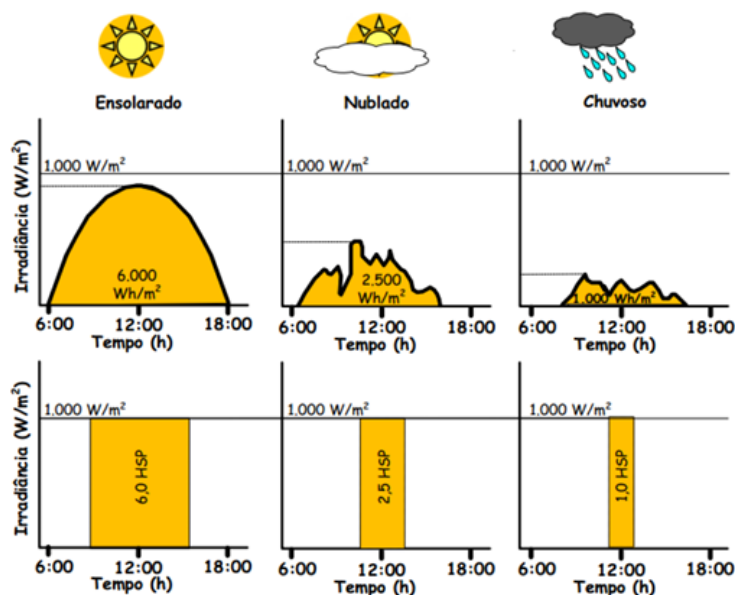
Figura 1 - Irradiância diária média



Fonte: Instituto Solar (2020)

A irradiação solar diária média é referida como “horas de sol pico” ou “horas de sol pleno” (HSP) e determinada pelo número de horas que a irradiação solar em um local alcança uma taxa constante de 1000 W/m^2 (Figura 2). Esse valor é utilizado para estimar a produção de energia de um sistema fotovoltaico.

Figura 2 - Exemplo de perfis de irradiação solar diária com valores equivalentes de HSP

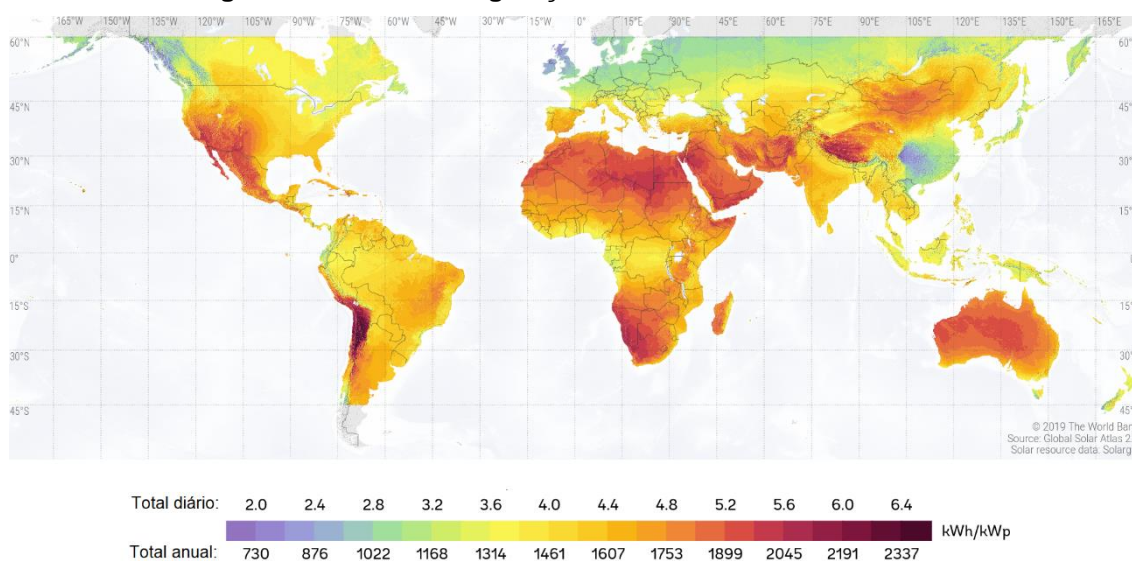


Fonte: Andrade (2014)

2.1.2. Aspectos Geográficos

O nível de irradiância solar de um local está diretamente ligado à sua localização (Figura 3). Estima-se que 91% da população global vive em locais que possuem um potencial de geração solar acima de 3,5 kWh/kWp por dia, sendo condições favoráveis para a geração solar fotovoltaica (ESMAP, 2020).

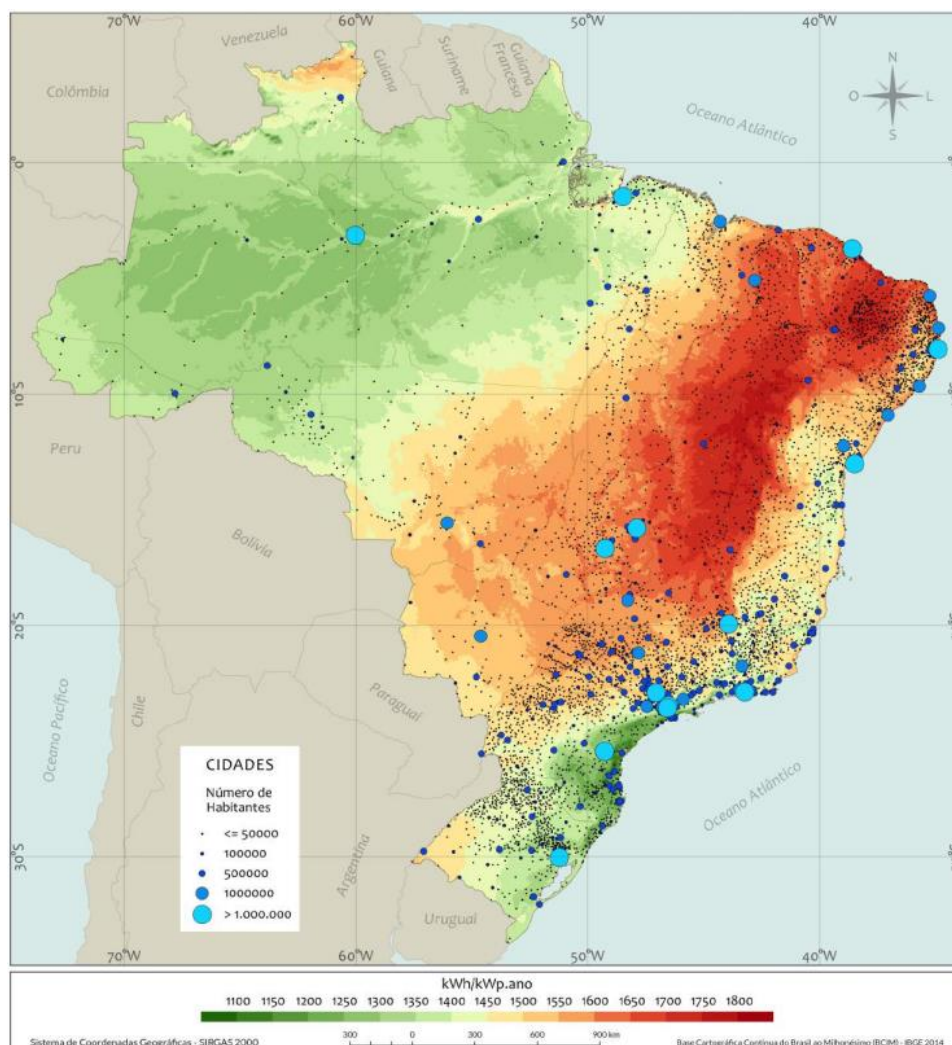
Figura 3 - Potencial de geração solar fotovoltaica no mundo



Fonte: Adaptado de ESMAP (2020)

No Brasil, irradiação solar diária varia em média de 4444 Wh/m² a 5483 Wh/m², dependendo da região (Figura 4), sendo possível gerar mais energia no local menos ensolarado do país do que no local mais ensolarado da Alemanha (ATLAS BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 2017). Com esse elevado número de irradiação, o potencial de geração solar fotovoltaica no Brasil é enorme, sendo considerado uma opção para a diversificação de sua matriz energética.

Figura 4 - Potencial de geração solar fotovoltaica no Brasil



Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar (2017)

2.2. SISTEMAS DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Os sistemas de energia solar fotovoltaica são responsáveis pela geração de energia elétrica por meio da radiação solar pelo efeito fotovoltaico. Esses sistemas são divididos em três tipos: on-grid, off-grid e híbrido e podem ser instalados em telhados, fachadas ou usinas para a geração de energia elétrica. A seguir, serão descritos os três tipos.

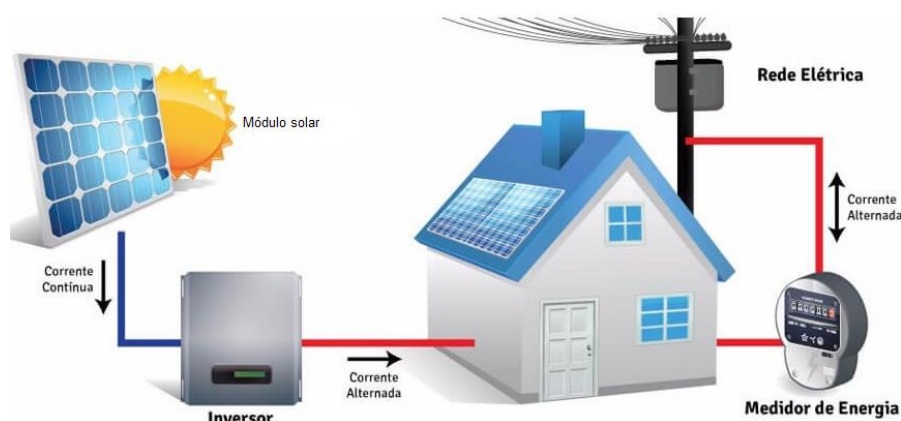
2.2.1. On-Grid

Os sistemas fotovoltaicos on-grid são conectados à rede elétrica de distribuição de uma concessionária de energia. Funcionando em paralelo com a rede e podendo reduzir, eliminar ou gerar um excedente de energia (VILLALVA, 2012).

Esse sistema começa na geração de energia elétrica em corrente contínua dos módulos fotovoltaicos e conectados ao inversor, responsável por converter essa corrente em alternada. A energia gerada passa por um medidor bidirecional que irá medir a energia gerada pelo sistema e a consumida pelas cargas (Figura 5).

A concessionária de energia irá suprir a demanda caso o sistema não produza ao equivalente consumido pelas cargas ou gerar créditos que irão abater na conta de luz do consumidor.

Figura 5 - Sistema fotovoltaico on-grid



Fonte: Adaptado de Bao Ribeiro (2023)

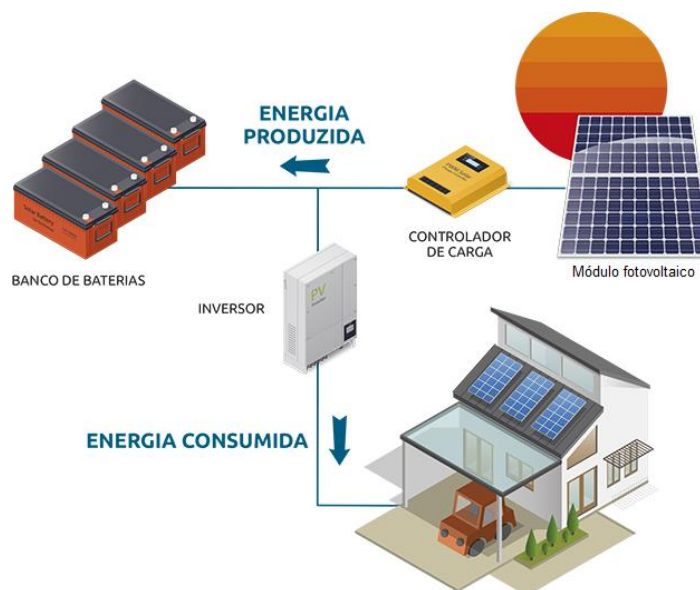
2.2.2. Off-Grid

Os sistemas fotovoltaicos off-grid, ou isolados, funcionam sem a conexão com uma concessionária de energia. Seu funcionamento é semelhante ao on-grid, entretanto, a energia gerada pelos módulos passa por um controlador de carga, responsável por proteger as baterias. Essa energia é armazenada no banco de baterias para que possa ser utilizada em momentos em que o sistema

não estiver produzindo a demanda necessária, como em dias chuvosos, nublado ou durante a noite (Figura 6).

Os sistemas isolados são mais utilizados em locais remotos, não atendidos por uma rede elétrica, como zonas rurais, ilhas, montanhas ou em qualquer lugar que a energia elétrica não esteja disponível (VILLALVA, 2012).

Figura 6 - Sistema fotovoltaico off-grid



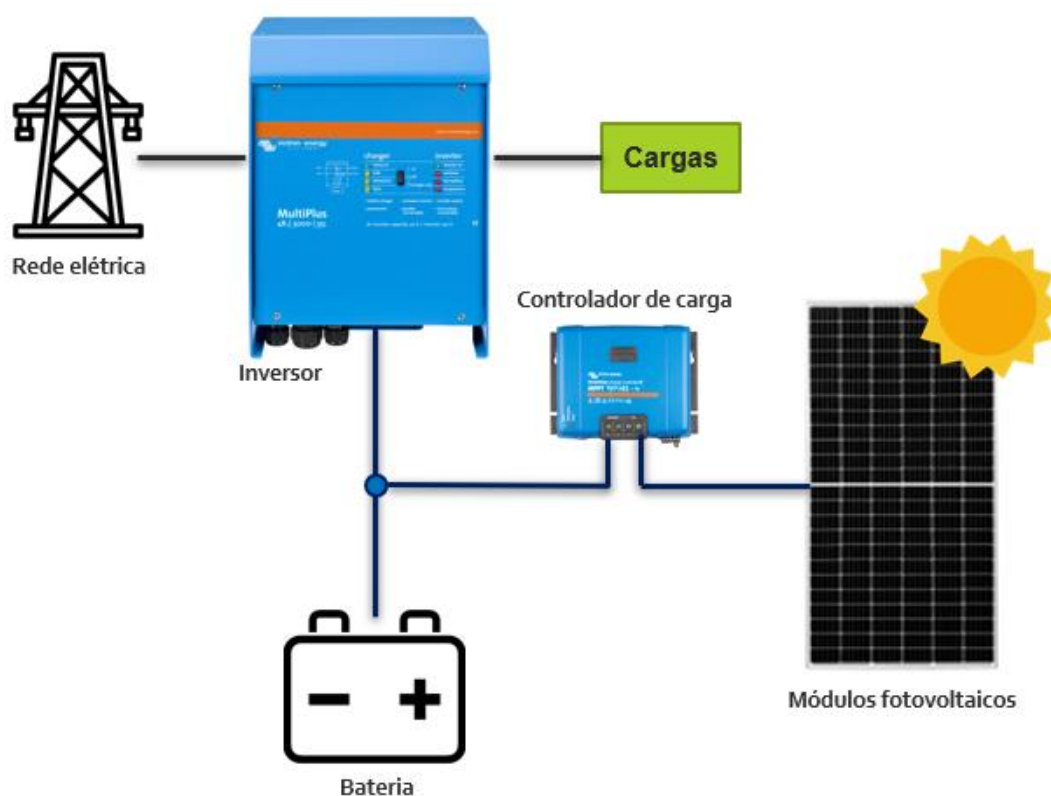
Fonte: Adaptado de EcoAquecedores (2023)

2.2.3. Híbridos

Combinando duas ou mais fontes de energia, os sistemas fotovoltaicos híbridos podem ser utilizados em situações onde o fornecimento de energia a uma determinada carga deve ser ininterrupto. Esses sistemas geram energia a partir de um sistema fotovoltaico off-grid, mas o inversor também é conectado a uma outra fonte de geração, como a rede elétrica ou um gerador à diesel (Figura 7).

Nesse caso, além de transformar a corrente contínua em alternada, os inversores possuem a função de administrar o fornecimento de energia a carga, alternando entre as fontes de geração conectadas a ele e carregando o banco de baterias com a energia excedente.

Figura 7 - Sistema fotovoltaico híbrido



Fonte: Autoria própria

2.3.COMPONENTES DE UM SISTEMA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICO

Para o funcionamento de um sistema fotovoltaico, são necessários componentes que irão gerar e administrar a energia elétrica. Alguns componentes variam de acordo com o tipo de sistema escolhido, outros são comuns em todos eles.

2.3.1. Cargas

As cargas em um sistema de energia solar fotovoltaico são contempladas por todos equipamentos que funcionarão com a energia gerada por ele, por isso, é necessário um levantamento de algumas características elétricas essenciais para o dimensionamento do sistema.

Em sistemas fotovoltaicos off-grid, primeiramente realiza-se o levantamento determinando a potência, quantidade, uso diário, energia consumida (Equação 1) e tensão das cargas (CARI, 2020).

$$E \text{ (Wh/dia)} = P_i \cdot C_i \quad (1)$$

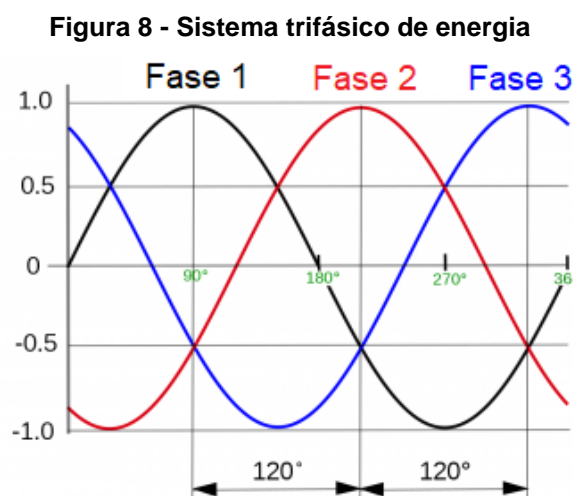
Em que:

E = energia consumida pela carga por dia;

P_i = potência elétrica nominal do equipamento (Watts);

C_i = uso diário do equipamento (horas).

Além disso, alguns sistemas podem possuir cargas que são alimentadas por mais de uma fase de energia. Os equipamentos bifásicos são alimentados por 2 fases defasadas em 120° e os trifásicos com 3 fases defasadas em 120° entre si (Figura 8). Nesses equipamentos, a corrente de funcionamento é dividida igualmente entre suas fases. (EL-HAWARY, 2008)



Fonte: Universo Lambda (2023)

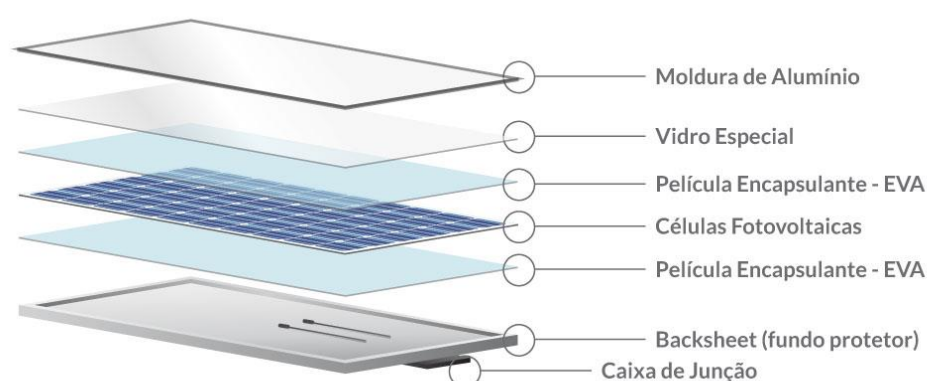
Também pode ocorrer a presença de motores elétricos como uma das cargas alimentadas pelo sistema. Nesse caso, por conta de diversos fatores, como a ausência de tensão induzida com o motor parado, ocorre um pico de corrente em sua partida, elevando também a sua potência no início, podendo chegar a 10 vezes o valor da corrente nominal (FITZGERALD & KINGSLEY,

2014). Por conta disso, caso não seja levada em consideração a corrente de partida, o sistema pode não ser capaz de ligar essas cargas.

2.3.2. Módulo Fotovoltaico

Os módulos fotovoltaicos são compostos, em média, por 36 a 72 células fotovoltaicas de silício encapsuladas e conectadas em um arranjo para produzir tensão e corrente elétrica contínua (Figura 9).

Figura 9 - Composição de um módulo fotovoltaico



Fonte: Blue Sol Energia Solar (2021)

Esse componente é caracterizado por possuir diversas propriedades elétricas, dentre eles, seus valores máximos de potência elétrica (Watt-pico), tensão (V_{mp}) e corrente (I_{mp}). Quando um módulo está desconectado, ou seja, sem uma carga conectada, ele apresentará valores de tensão de circuito aberto (V_{oc}) e corrente de curto circuito (I_{sc}) (JINKO SOLAR, 2023).

A temperatura do módulo também implicará em sua capacidade de gerar eletricidade. Com o aumento da temperatura, haverá uma queda significativa de tensão e uma elevação muito pequena em sua corrente, esses valores são descritos como coeficientes de temperatura de V_{oc} e I_{sc} (PINHO; GALDINO, 2014).

Essas características elétricas geralmente são determinadas em condições padrões de ensaio (STC), considerando uma irradiância solar de 1000 W/m², temperatura de 25°C e distribuição espectral de 1,5 AM, ou em temperatura nominal de operação (NOCT), com uma irradiância solar de 800 W/m², temperatura de 20°C, distribuição espectral de 1,5 AM e velocidade do vento de 1 m/s (JINKO SOLAR, 2023).

Os sistemas podem apresentar conexões em série, com o terminal positivo de módulo conectado ao terminal negativo de outro, aumentando a tensão total, e também conexões em paralelo, conectando polos da mesma polaridade, aumentando a corrente total (CARI, 2020).

A potência total dos módulos de um sistema fotovoltaico autônomo pode ser calculada pela Equação 2 (Adaptado de CARI, 2020).

$$P_{PV} (Watts) = \frac{E}{HSP \cdot \eta_{PV}} \quad (2)$$

Em que:

E = energia elétrica total consumida pelas cargas diariamente (Wh/dia);

HSP = horas de sol pleno no mês de pior irradiação solar no ano (horas);

η_{PV} = eficiência do sistema fotovoltaico.

A eficiência do sistema fotovoltaico (η_{PV}) pode ser definida pela Equação 3 (Adaptado de CARI, 2020).

$$\eta_{PV} = \eta_{ar} \cdot \eta_{ter} \cdot \eta_{inv} \cdot \eta_{var} \quad (3)$$

Em que:

- Eficiência devido à poluição do ar (η_{ar}) = entre 90% a 95%;
- Eficiência devido às perdas térmicas (η_{ter}) = entre 90% a 95%;
- Eficiência devido ao inversor (η_{inv}) = entre 95% a 98%;
- Eficiência devida a vários fatores atípicos como sombreamento, orientação dos painéis ao sul. (η_{var}) = entre 80% a 100%.

2.3.3. Inversor fotovoltaico

Como a maior parte dos aparelhos elétricos e eletrônicos são construídos para funcionarem em corrente alternada, os inversores fotovoltaicos são utilizados para transformar a corrente contínua gerada pelos módulos em corrente alternada. Apesar de possuírem semelhanças, seu funcionamento irá variar dependendo do tipo de sistema fotovoltaico escolhido (PINHO; GALDINO, 2014 & VILLALVA, 2012)

Os inversores on-grid conectam o sistema de energia solar com a rede de distribuição local, sincronizando a tensão de saída e frequência. Quando ocorre uma queda de energia fornecida pela concessionária, o inversor imediatamente desliga e interrompe o funcionamento do sistema fotovoltaico (PINHO; GALDINO, 2014; VILLALVA, 2012).

Nos sistemas autônomos, são utilizados os inversores off-grid, que não precisam da rede pública de distribuição de energia para funcionar. Eles funcionam de maneira semelhante aos on-grid, também convertendo a corrente *contínua em alternada, porém, ele “recolhe” a energia gerada pelos módulos fotovoltaicos e pelas baterias, fornecendo energia para as cargas* (PINHO; GALDINO, 2014 & VILLALVA, 2012).

Alguns inversores off-grid possuem um carregador de baterias integrado, com isso, a energia excedente gerada pelos módulos fotovoltaicos será destinada para o banco de baterias e fornecida para as cargas nos momentos em que a produção esteja abaixo da demanda. Além disso, existem inversores que podem ser conectados para funcionarem em paralelo, atendendo a cargas que funcionam com mais de uma fase (VICTRON ENERGY, 2023).

Em sistemas híbridos, os inversores possuem uma ou mais entradas para outras fontes de geração de energia. Esses inversores são capazes de gerenciar o fornecimento de energia para a carga, alternando entre as fontes de geração e armazenando a energia excedente no banco de baterias.

Os inversores possuem características elétricas de potência nominal e tensão de saída que variam de acordo com seu modelo. Além disso, outros fatores como corrente e tensão máxima de conexão do arranjo fotovoltaico também devem ser observados. As perdas ocorridas no seu funcionamento são

determinadas pela sua eficiência em converter a energia (CANADIAN SOLAR, 2023).

A potência do inversor (P_{inv}) em sistemas autônomos deve ser igual ou superior a potência máxima das cargas, pois é levado em consideração que todas as cargas podem estar ligadas ao mesmo tempo, como descrito na equação 4. Além disso, deve-se considerar a potência de pico de algumas cargas, como por exemplo, em motores elétricos (PINHO; GALDINO, 2014).

$$P_{inv} (Watts) = \sum_{i=1}^n P_i \quad (4)$$

Em que:

P_i = potência elétrica nominal do equipamento (Watts).

2.3.4. Baterias

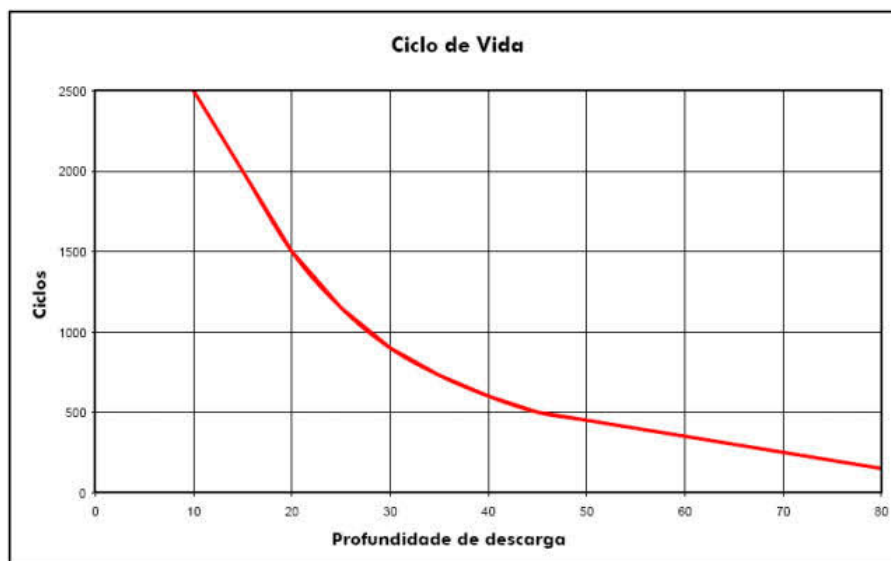
As baterias são dispositivos que convertem a energia de uma reação eletroquímica de oxidação e redução em energia elétrica. Durante o processo de carregamento, esse processo se inverte (MICHELINI, 2020).

Esses equipamentos são utilizados para armazenar a energia gerada pelos módulos fotovoltaicos sendo classificadas pela capacidade de armazenar energia, medida em watt-hora (Wh) ou ampere-hora (Ah) (MICHELINI, 2017).

Geralmente, as baterias utilizadas em sistemas fotovoltaicos possuem uma tensão nominal de funcionamento entre 12, 24 e 48 Volts. Seu material eletroquímico irá influenciar na profundidade de descarga, unidade que estabelece a quantidade de energia retirada medida em porcentagem (%) e sua eficiência, também medida em porcentagem (%) (PINHO; GALDINO, 2014).

A profundidade de descarga de uma bateria está diretamente relacionada ao seu ciclo de vida (Figura 10). As baterias de chumbo-ácido possuem uma profundidade de descarga e eficiência menores do que as de íon-lítio.

Figura 10 - Ciclo de vida da bateria Freedom DF4100 em função da profundidade de descarga



Fonte: Energy Shop (2023)

As baterias podem ser conectadas em arranjos em série ou em paralelo, formando um banco de baterias para sistemas fotovoltaicos. Na conexão em série, as baterias terão sua tensão somadas e em paralelo as correntes de cada uma são somadas, mantendo igual a tensão entre elas.

Para o dimensionamento da capacidade de energia do banco de baterias em sistemas autônomos (C_B), utiliza-se as equações 5 e 6 (CARI, 2020).

$$C_B(\text{Watt} \times \text{hora}) = \frac{E \cdot N}{P_d} \quad (5)$$

$$C_B(\text{Ampere} \times \text{hora}) = \frac{C_B(\text{Watt} \times \text{hora})}{V_{bat}} \quad (6)$$

Em que:

E = energia elétrica total consumida pelas cargas diariamente (Wh/dia);

N = autonomia do banco de baterias (dias);

P_d = profundidade de descarga da bateria (%);

V_{bat} = tensão nominal do banco de baterias (V).

2.3.5. Controlador de carga

Os controladores de carga são dispositivos instalados entre os módulos fotovoltaicos e o banco de baterias, sendo responsáveis pelo gerenciamento da energia produzida pelos módulos e garantir que as baterias sejam carregadas corretamente, sem haver sobrecarga ou descarga excessiva (CARI, 2020).

O dimensionamento da corrente (I_C) e tensão (V_C) máxima do controlador de carga pode ser realizado utilizando, respectivamente, as equações 7 e 8. O fator mínimo de segurança de 25% é utilizado pois assume-se que o módulo pode receber uma irradiância de até 1.250 W/m². (PINHO; GALDINO, 2014).

$$I_C \text{ (Ampere)} = 1,25 \cdot N^{\circ} \text{ módulos_em_paralelo} \cdot I_{SC} \quad (7)$$

$$V_C \text{ (Volts)} = 1,25 \cdot N^{\circ} \text{ módulos_em_série} \cdot V_{oCTmin} \quad (8)$$

Em que:

I_{sc} = corrente de curto circuito do módulo fotovoltaico;

V_{oCTmin} = tensão de circuito aberto do módulo fotovoltaico, na menor temperatura de operação prevista.

Além disso, controladores de cargas comerciais possuem uma tensão de circuito aberto e corrente de curto circuito máxima do arranjo dos módulos fotovoltaicos que devem ser considerados durante seu dimensionamento (VICTRON ENERGY, 2023)

2.4. LINGUAGENS DE PROGRAMAÇÃO

2.4.1. Java

O Java foi desenvolvido na década de 90, oferecendo a possibilidade de desenvolvimento de diversos sistemas e aplicativos, inclusive softwares que possuem uma interface de interação por meio de elementos gráficos, conhecida como interface gráfica do utilizador (GUI) (JAVA, 2013).

2.4.2. SQL

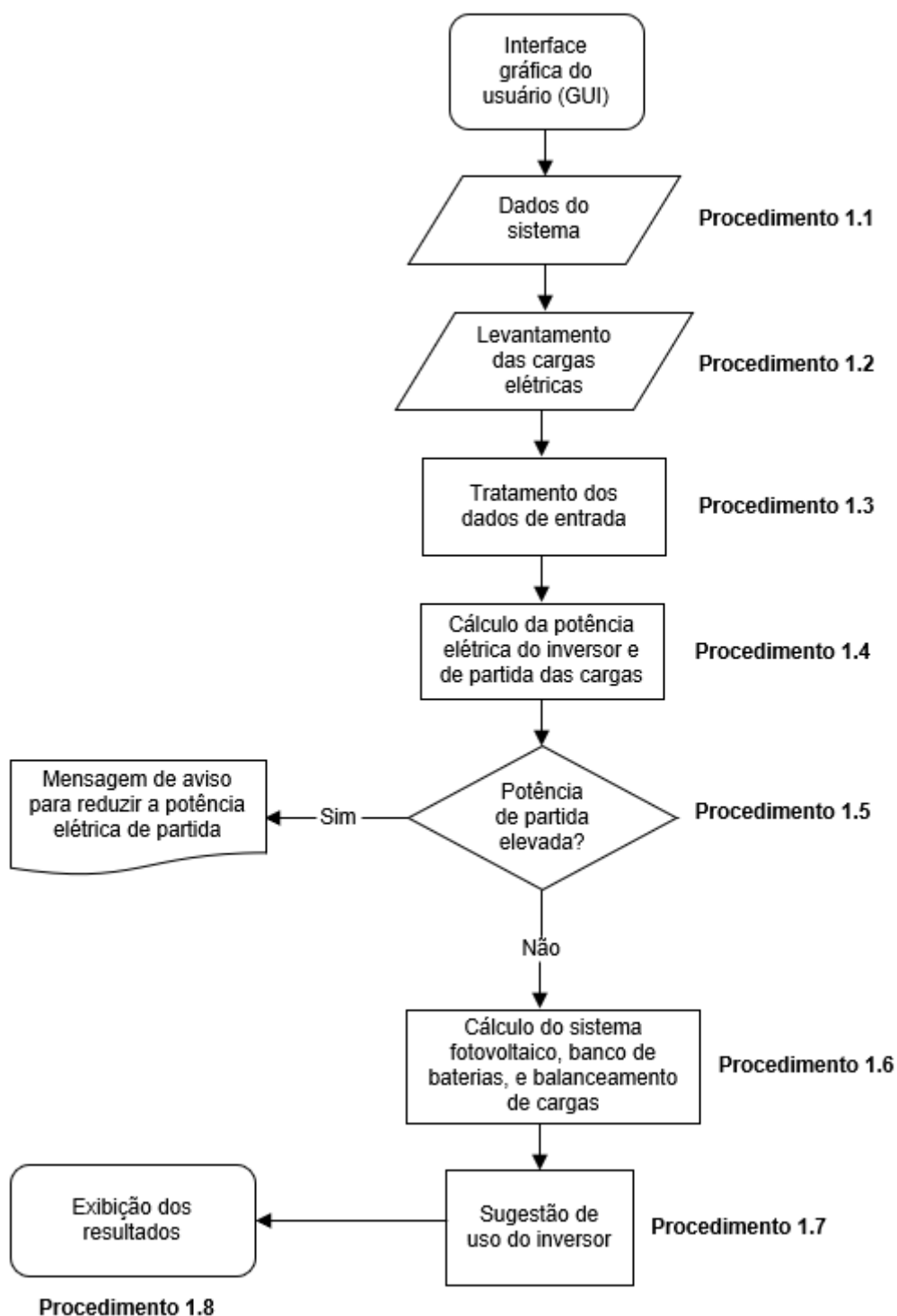
O SQL é uma linguagem de programação estruturada utilizada para armazenar e processar informações em um banco de dados. Com ela, é possível criar dados em formato tabular, com linhas e colunas e acessá-lo utilizando uma outra linguagem de programação, como o Java, por exemplo (AWS, 2023).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

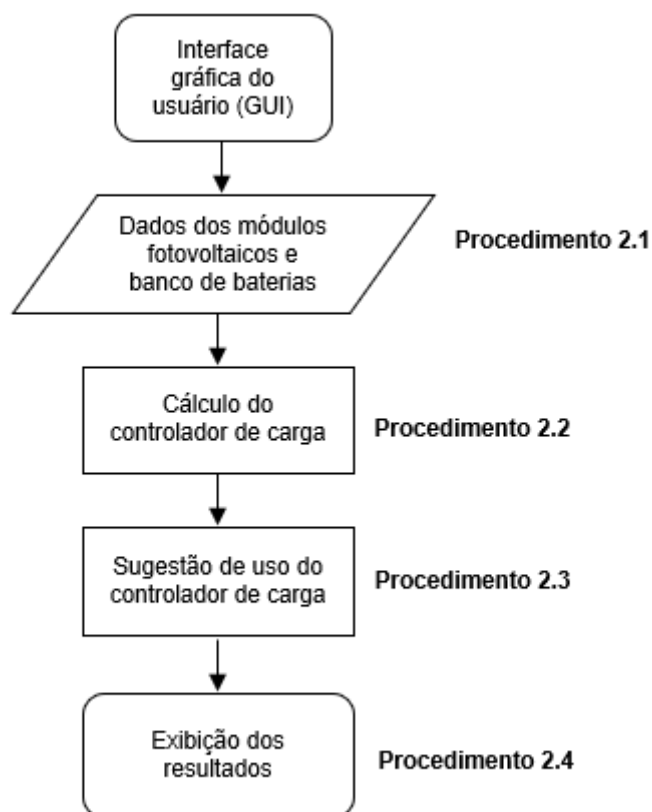
Com base nos objetivos descritos, foi necessário um estudo de como proceder diante de um dimensionamento de um sistema fotovoltaico isolado. Em seguida, criou-se uma interface gráfica do usuário utilizando a linguagem de programação Java no ambiente de desenvolvimento NetBeans.

O procedimento criado para o funcionamento do software foi dividido em dois e segue as sequências lógicas indicadas nas Figuras 11 e 12, respectivamente.

Figura 11 - Fluxograma 1 do software



Fonte: Autoria própria

Figura 12 - Fluxograma 2 do software

Fonte: Autoria própria

3.1. PROCEDIMENTO 1

3.1.1. Procedimento 1.1

A etapa inicial consistiu na criação de entradas de dados necessários para a realização dos cálculos. Os dados exigidos são:

Dados gerais (não obrigatórios):

- Nome do cliente;
- Responsável técnico;
- Descrição do sistema.

Dados da instalação (obrigatórios):

- Escolha no uso de inversor com carregador;
- HSP do local;
- Tensão por fase (V).

A escolha do uso de inversor com carregador irá influenciar no tipo de inversor sugerido. Foi criada uma caixa de mensagem que explica para o usuário qual a consequência de sua escolha, *com o seguinte conteúdo: “Selecione a caixa de opção caso deseje que o inversor possua um carregador de bateria integrado. Os inversores/carregadores da Victron Energy podem ser ligados em paralelo e abastecem cargas com mais de 1 fase. Além disso, podem ser conectados a outras fontes de energia CA, como por exemplo, um gerador.”*

Banco de baterias (obrigatórios):

- Autonomia do sistema (dias);
- Material;
- Profundidade de descarga (%);
- Eficiência (%);
- Tensão (12V, 24V ou 48V).

Os dados gerais são opcionais e não influenciam no cálculo do sistema, sendo apenas uma informação adicional sobre aquela instalação. Os outros dados são obrigatórios para a continuidade do dimensionamento.

3.1.2. Procedimento 1.2

A criação da etapa de levantamento das cargas elétricas consistiu na criação das seguintes entradas de dados:

- Nome da carga;
- Potência nominal (W);
- Horas de uso por dia;
- Quantidade da carga;
- Número de fases (monofásico, bifásico e trifásico);

- Escolha se a carga é um motor;
- Corrente de partida (A), caso a carga seja um motor.

A corrente de partida do motor não é um dado obrigatório, caso a carga seja um motor e o campo não for preenchido, o software calculará a potência de partida no próximo procedimento. Quando o campo for preenchido, a potência de partida é calculada multiplicando esse valor pela sua tensão de funcionamento.

Os demais dados presentes na relação são obrigatórios para a adição do respectivo equipamento nas cargas.

3.1.3. Procedimento 1.3

Com base no levantamento das cargas elétricas, foi desenvolvida uma tabela que exhibe os dados de cada carga. Nela é calculada a energia consumida diariamente por cada carga utilizando a Equação 1.

No caso dos motores, quando não é preenchido sua potência de partida, ela é calculada automaticamente pela multiplicação da potência nominal por 12. Para o restante das cargas, considerou-se a potência de partida igual a nominal.

3.1.4. Procedimento 1.4

Utilizou-se a equação 4 dividido por 0,75 como um fator de segurança no desenvolvimento do algoritmo para determinar a potência necessária do inversor. Além disso, também é calculado a potência de partida total das cargas.

3.1.5. Procedimento 1.5

O software foi desenvolvido para exibir uma mensagem de aviso ao usuário caso a potência do inversor, acrescido de um fator de 50%, seja maior do que seu valor nominal. O conteúdo da mensagem cita está indicado na Figura 22.

3.1.6. Procedimento 1.6

Para o cálculo da capacidade do banco de baterias, foram utilizadas as equações 5 e 6 dividida pela sua eficiência. Na potência total dos módulos, a equação 2 é multiplicada pelo número de dias de autonomia do sistema, para que seja possível o carregamento total das baterias em apenas 1 dia. Além disso, foi considerado um rendimento total do sistema de 80% utilizando a equação 3, com as seguintes eficiências:

- Eficiência devido à poluição do ar (η_{ar}) = 93%;
- Eficiência devido às perdas térmicas (η_{ter}) = 90%;
- Eficiência devido ao inversor (η_{inv}) = 95%;
- Eficiência devida a vários fatores atípicos como sombreamento, orientação dos painéis ao sul. (η_{var}) = 98%

Foi desenvolvido um algoritmo para realizar o balanceamento de cargas em sistemas bifásicos e monofásicos. Primeiramente, esse algoritmo irá identificar as cargas que são monofásicas, bifásicas e trifásicas. Em seguida, ele irá identificar qual fase possui a menor potência acumulada e dividir a potência total do equipamento pelo seu número de fases. Por último, essas potências serão distribuídas da forma mais uniforme possível entre o número de fases presentes no sistema.

3.1.7. Procedimento 1.7

Para a sugestão de uso do inversor, foi criado um banco de dados em SQL com os inversores da empresa Victron Energy (VICTRON ENERGY, 2023). Em seguida, determinou-se que o software escolherá o inversor com a potência maior ou igual a calculada no procedimento 1.4, pela tensão do sistema escolhida pelo usuário e no tipo de inversor escolhido, escolhido no procedimento 1.1.

Além disso, definiu-se que quantidade de inversores utilizados por fase também dependerá da potência calculada no procedimento 1.4.

3.1.8. Procedimento 1.8

A exibição dos resultados ocorre a partir de uma tela desenvolvida (Figura 15) para apresentar todos os cálculos realizados nos procedimentos anteriores.

3.2. PROCEDIMENTO 2

3.2.1. Procedimento 2.1

A interface gráfica do usuário para o dimensionamento do controlador de carga foi desenvolvida para exigir os seguintes dados de entrada:

Dados do módulo fotovoltaico:

- Potência;
- Temperatura mínima e máxima ($^{\circ}\text{C}$);
- Tensão de circuito aberto V_{oc} (V);
- Coeficiente de temperatura de V_{oc} ($\%/^{\circ}\text{C}$);
- Tensão de potência máxima V_{mpp} (V);
- Corrente de curto circuito I_{sc} (A);
- Conexão do arranjo: número de módulos em série e em paralelo.

Dado do banco de baterias:

- Tensão (12V, 24V ou 48V).

3.2.2. Procedimento 2.2

A partir dos dados de entrada coletados no procedimento anterior, determinou-se a corrente e tensão do controlador de carga pelas equações 7 e 8, respectivamente.

3.2.3. Procedimento 2.3

Assim como ocorreu com os inversores, criou-se um banco de dados com os controladores de carga da empresa Victron Energy (VICTRON ENERGY, 2023).

Os controladores de carga desse fabricante possuem uma tensão e corrente máximas de conexão dos módulos fotovoltaicos e de saída. A tensão máxima de entrada é definida pela tensão máxima de circuito aberto do arranjo (V_{oc}) na maior temperatura prevista e a corrente pela de curto circuito dos módulos (I_{sc}). Além disso, a tensão de potência máxima (V_{mpp}) na maior temperatura de funcionamento deve ser superior a tensão do banco de baterias. Esses valores e a tensão do banco de baterias são utilizados para a sugestão do controlador de carga.

3.2.4. Procedimento 2.4

Desenvolveu-se uma tela de exibição dos resultados dos cálculos do controlador de carga, como indicado na Figura 16.

3.3. FUNCIONALIDADES EXTRAS DO SOFTWARE

Além das funcionalidades desenvolvidas descritas nos procedimentos anteriores, foi realizada a criação de mais algumas funções, são elas:

- Possibilidade de consulta do banco de dados;
- Menu de ajuda ao usuário contendo um e-mail de suporte para dúvidas e direcionamento ao site da Victron Energy (VICTRON ENERGY, 2023).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da metodologia descrita no capítulo anterior, obteve-se os seguintes resultados com a utilização dos dados de entrada de um sistema off-grid dimensionado e instalado por Ribeiro (2020) (Figuras 13 a 16 e Tabela 1).

Figura 13 - Dados de entrada do sistema fotovoltaico do software

The screenshot displays a software window titled "Dados de entrada do sistema fotovoltaico do software". The window has a top navigation bar with four tabs: "Dados do sistema" (selected), "Dados dos equipamentos", "Resumo do sistema", and "Controlador de carga". To the right of the tabs are two buttons: "Inversores Victron" and "Ajuda". The main content area is divided into three sections:

- Dados gerais**: Contains three input fields: "Cliente:", "Responsável técnico:", and "Descrição:".
- Dados da instalação**: Contains a checkbox labeled "Inversor com carregador" (unchecked), a field for "*HSP do local da instalação:" with the value "5", and a field for "*Tensão por fase (V):" with the value "220".
- Banco de baterias**: Contains a field for "*Autonomia do sistema (dias):" with the value "2", a dropdown menu for "Material:" showing "Chumbo ácido", two input fields for "*Profundidade de descarga (%):" (60) and "*Eficiência (%):" (85), and a dropdown menu for "Tensão de funcionamento (V):" showing "12".

At the bottom left, it says "Developed by Electr. Eng. Gabriel Scapim". At the bottom right, there is an "Avançar" button.

Fonte: Autoria própria

Figura 14 - Levantamento de cargas do software

Nome do equipamento:

Potência nominal (W):

Horas de uso por dia:

Quantidade:

☐ Motor

Nome	Potência (W)	Horas de uso	Energia (Wh/dia)	Potência de partida (W)	Número de fases
Fita LED	60.0	8.0	480.0	60.0	1
Exaustores	12.0	1.0	12.0	12.0	1
Microondas	1500.0	0.25	375.0	1500.0	1
SmartTV LED 32'	48.0	8.0	384.0	48.0	1
Geladeira	72.0	12.0	864.0	72.0	1
Notebooks	130.0	2.0	260.0	130.0	1
Celulares	40.0	1.5	60.0	40.0	1
Bomba d' água	91.0	3.0	273.0	1092.0	1

Fonte: Autoria própria

Figura 15 - Resultados dos cálculos realizados pelo software

Potência do sistema fotovoltaico (Wp): 1354.0

Energia total (Wh/dia): 2708.0

Autonomia do sistema (dias): 2.0

Potência do inversor (W): 2604.0

HSP do local da instalação: 5.0

Capacidade do banco de baterias (Ah): 885.0

Tensão do inversor (V): 220.0

Tensão do banco de baterias (V): 12.0

Inversor sugerido: Phoenix Inverter 12/3000; Phoenix Inverter 12/3000 Smz

Quantidade de inversores por fase: 1.0

Número de fases do sistema: 1

Potência fase 1 (W): 1953.0

Potência fase 2 (W): 0.0

Potência fase 3 (W): 0.0

Resultado:

Número de fases do sistema: 1.0

Potência fase 1 (W): 1953.0

Potência fase 2 (W): 0.0

Potência fase 3 (W): 0.0

Nome	Potência	Fase
Fita LED	60.0	1
Exaustores	12.0	1
Microondas	1500.0	1
SmartTV LED 32'	48.0	1
Geladeira	72.0	1
Notebooks	130.0	1
Celulares	40.0	1
Bomba d' água	91.0	1

Fonte: Autoria própria

Figura 16 - Dimensionamento do controlador de carga pelo software

The screenshot shows a software window titled 'Controlador de carga'. It has tabs for 'Dados do sistema', 'Dados dos equipamentos', 'Resumo do sistema', and 'Controlador de carga'. The 'Controlador de carga' tab is active, showing the 'Dados do módulo fotovoltaico' section. The inputs are as follows:

- Potência (W): 305
- Temperatura (°C): Mín. -40, Máx. 85
- Tensão de circuito aberto Voc (V): 39.9
- Coefficiente de temperatura de Voc (%/°C): -0.30
- Tensão de potência máxima Vmp (V): 32.7
- Corrente de circuito aberto Isc (A): 9.91
- Conexão: Em série: 1, Em paralelo: 4
- Tensão do banco de baterias (V): 12

The 'Resultado' section displays the following calculated values:

- Coefficiente de temperatura de Voc (%/°C): -0.30
- Tensão máxima dos módulos na temperatura máxima (Vmp): 23
- Corrente de circuito aberto do módulo (Isc): 9.91
- Número de módulos em série: 1
- Número de módulos em paralelo: 4
- Tensão do banco de baterias (V): 12
- Tensão do controlador de carga (V): 56.0
- Corrente do controlador de carga (A): 50.0
- Controlador de carga sugerido: SmartSolar MPPT 100/50

Buttons at the bottom include 'Controladores de carga', 'Gerar PDF', and 'Voltar'.

Fonte: Autoria própria

Tabela 1 - Resultados obtidos pelo software e por Ribeiro (2020)

Cálculo realizado	Resultados	
	Software	Ribeiro (2020)
Potência total dos módulos (W)	1354	772,98
Capacidade do banco de baterias (Ah)	885	752,38
Potência do inversor (W)	2604	1586
Corrente do controlador de carga (A)	50	49,55
Tensão do controlador de carga (V)	56	-
Inversor sugerido/utilizado	Phoenix 12/3000 Victron	LinkChamp's SP Series
	Energy	2500
Controlador de carga sugerido/utilizado	SmartSolar MPPT 100/50	Fangpusun MPPT 100/50
	Victron Energy	

Fonte: Autoria própria

No cálculo da potência total dos módulos, como descrito na metodologia, considerou-se o número de dias de autonomia do sistema, diferentemente de Ribeiro (2020). Além disso, esse autor definiu um rendimento total do sistema de 70%. Isso refletiu na diferença do resultado do cálculo, porém, esses parâmetros podem ser alterados a partir da abordagem adotada, modificando a programação do software.

A capacidade do banco de baterias é similar ao de Ribeiro (2020), a única diferença foi a consideração da eficiência das baterias no cálculo, apontada na metodologia.

Assim como no cálculo da potência total dos módulos, a potência do inversor foi calculada pelo autor utilizando uma outra abordagem, que levou em consideração a potência total dos módulos acrescido de um fator de segurança de 30%.

Em relação ao controlador de carga, sua corrente é praticamente igual ao de Ribeiro (2020). Esse autor não realizou o cálculo de sua tensão, porém, pode-se observar que o controlador de carga utilizado possui características elétricas semelhantes ao sugerido pelo software (Tabela 2).

Tabela 2 - Comparação dos controladores de carga SmartSolar MPPT 100/50 Victron Energy e Fangpusun Mppt 100/50

Características elétricas	Modelo	
	SmartSolar MPPT 100/50 Victron Energy	Fangpusun MPPT 100/50
Tensão da bateria (V)	12 ou 24	12 ou 24
Corrente nominal (A)	50	50
Tensão máxima dos módulos em circuito aberto (V)	100	100
Corrente máxima dos módulos em curto circuito (A)	35	Não especificado
Eficiência (%)	98	98

Fonte: Adaptado de Victron Energy (2023) e Israel Solar (2023)

O inversor sugerido também apresenta características elétricas semelhantes ao utilizado por Ribeiro (2020) (Tabela 3).

Tabela 3 - Comparação dos inversores Phoenix 12/3000 Victron Energy e LinkChamp's SP Series 2500

Características elétricas	Modelo	
	Phoenix 12/3000 Victron Energy	LinkChamp's SP Series 2500
Tensão de saída (V)	230	220
Tensão da bateria (V)	12 ou 24 ou 48	12 ou 24
Potência nominal (W)	3000	2500
Frequência de saída (Hz)	50	50 a 60
Eficiência com baterias de 12V (%)	92	85

Fonte: Adaptado de Victron Energy (2023) e DC-AC (2023)

O software também apresentou resultados satisfatórios no balanceamento de cargas em sistemas com mais de uma fase (Figuras 17 e 18).

Figura 17 - Resultados do dimensionamento de um sistema bifásico realizado pelo software

Dados do sistema

Dados dos equipamentos

Resumo do sistema

Controlador de carga

Inversores Victron

Ajuda

Potência do sistema fotovoltaico (Wp):
Energia total (Wh/dia):
Autonomia do sistema (dias):
Potência do inversor (W):
HSP do local da instalação:
Capacidade do banco de baterias (Ah):
Tensão do inversor (V):
Tensão do banco de baterias (V):
Inversor sugerido:

Quantidade de inversores por fase:
Número de fases do sistema:
Potência fase 1 (W):
Potência fase 2 (W):
Potência fase 3 (W):
Resultado:

1230.0
2460.0
2.0
800.0
5.0
539.0
120.0
12.0
MultiPlus C 12/2000/80-50; MultiPlus 12/2000/80-50
1
2
495.0
600.0
0.0
Quantidade de inversores por fase: 2
Número de fases do sistema: 1
Potência fase 1 (W): 495.0
Potência fase 2 (W): 600.0
Potência fase 3 (W): 0.0

Nome	Potência	Fase
Carga 1	150.0	1
Carga 2	300.0	2
Carga 3	45.0	1
Carga 4	600.0	1, 2

Gerar PDF

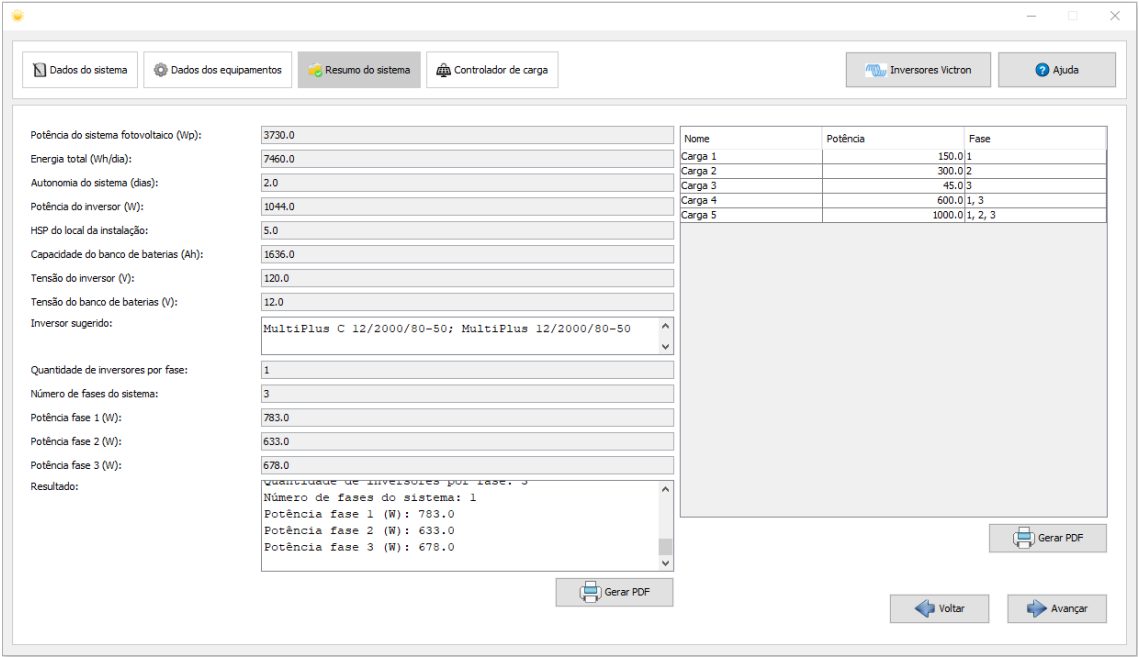
Gerar PDF

Voltar

Avançar

Fonte: Autoria própria

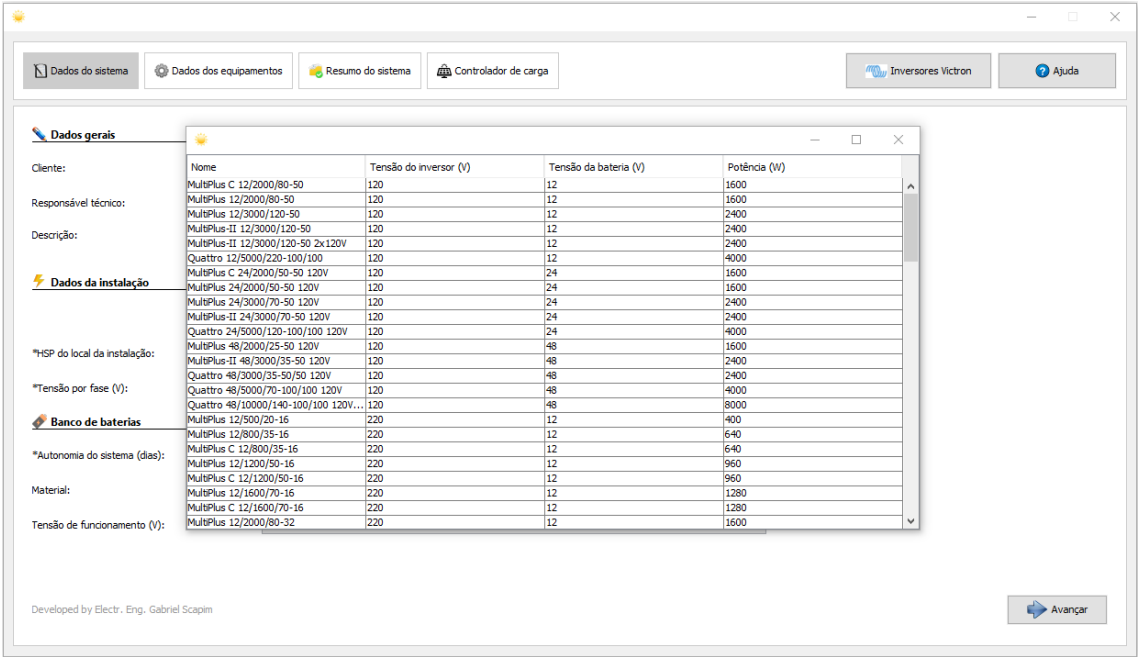
Figura 18 - Resultados do dimensionamento de um sistema trifásico realizado pelo software



Fonte: Autoria própria

Em relação as suas funcionalidades extras, como citado na metodologia, obtiveram-se os seguintes resultados para a consulta do banco de dados dos equipamentos (Figuras 19 e 20) e menu de ajuda (Figura 21).

Figura 19 - Banco de dados dos inversores fornecido pelo software



Fonte: Autoria própria

Figura 20 - Banco de dados dos controladores de carga fornecido pelo software

Nome	Tensão da bateria (V)	Tensão de circuito aberto máxima (V)	Corrente de circuito aberto máxima (A)
Blue-/ SmartSolar MPPT 75/10	12; 24	75	13
Blue-/ SmartSolar MPPT 75/15	12; 24	75	15
Blue-/ SmartSolar MPPT 100/15	12; 24	100	15
Smart Solar MPPT 100/20	12; 24	100	20
Blue-/ SmartSolar MPPT 100/30	12; 24	100	30
Blue-/ SmartSolar MPPT 100/50	12; 24	100	50
Blue-/ SmartSolar MPPT 150/35	12; 24; 48	150	40
BlueSolar MPPT 150/45 Tr/MC4	12; 24; 48	150	50
BlueSolar MPPT 150/60 Tr/MC4	12; 24; 48	150	50
BlueSolar MPPT 150/70 Tr/MC4	12; 24; 48	150	50
SmartSolar MPPT 150/85 Tr/MC4	12; 24; 48	150	70
SmartSolar MPPT 150/100 Tr/MC4	12; 24; 48	150	70
SmartSolar MPPT 250/60 Tr/MC4	12; 24; 48	250	35
SmartSolar MPPT 250/70 Tr/MC4	12; 24; 48	250	35
SmartSolar MPPT 250/85 Tr/MC4	12; 24; 48	250	70
SmartSolar MPPT 250/100 Tr/MC4	12; 24; 48	250	70
BlueSolar MPPT 150/70 VE.Can	12; 24; 48	150	50
BlueSolar MPPT 150/85 VE.Can	12; 24; 48	150	70

Fonte: Autoria própria

Figura 21 - Menu de ajuda do software

Dados gerais

Cliente:

Responsável técnico:

Descrição:

Dados da instalação

☒ Inversores com carregador

*HSP do local da instalação:

*Tensão por fase (V):

Banco de baterias

*Autonomia do sistema (dias):

Material: *Profundidade de descarga (%): *Eficiência (%):

Tensão de funcionamento (V):

Developed by Electr. Eng. Gabriel Scapim

Ajuda

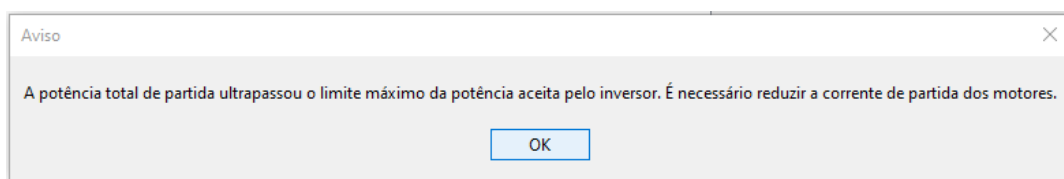
Contate um distribuidor local ou entre em contato através do e-mail: suportoffgridsoftware@gmail.com

OK

Fonte: Autoria própria

Na mensagem de aviso no caso da potência de partida ultrapassar o limite estipulado na metodologia, obteve-se o resultado indicado na Figura 22.

Figura 22 - Mensagem de aviso sobre a potência de partida



Fonte: Autoria própria

5. CONCLUSÃO

O presente estudo realizou a criação e implementação de um software para dimensionamento de sistemas fotovoltaicos off-grid, utilizando as linguagens de programação Java e SQL para o banco de dados.

Os resultados obtidos demonstraram que seu uso é viável na prática, quando comparado com um sistema ativo instalado e dimensionado citado na literatura nacional, validando sua funcionalidade e execução.

É importante ressaltar que foi elaborada uma interface gráfica do usuário e apresentação de resultados de fácil compreensão, facilitando seu uso.

Desta forma, concluímos que o software cumpre seu objetivo para dimensionamento de sistemas fotovoltaicos off-grid, apresentando resultados coesos com a realidade.

Como proposta de trabalhos futuros, poderão ser adicionados outros equipamentos ao banco de dados, fornecendo mais opções ao usuário. Além disso, a orientação dos painéis, sombreamento e local exato da instalação via simulação 3D, trará uma melhor precisão nos cálculos.

6. REFERÊNCIAS

ALI, Khozema Ahmed; AHMAD, Mardiana Idayu; YUSUP, And Yusri. Issues, Impacts, and Mitigations of Carbon Dioxide Emissions in the Building Sector: Commentary. **MDPI**, Malásia, set./2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/18/7427>. Acesso em: 17 out. 2022.

ANDRADE, Reginaldo Alves de. **ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA-ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA HÍBRIDO SOLAR FOTOVOLTAICO - BIOMASSA CONECTADO À REDE DE ENERGIA ELÉTRICA**. 2014. 111 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologia de Processos Sustentáveis, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás Ifg - Campus Goiânia, Goiânia, 2014.

AWS (org.). **O que é SQL?** Disponível em: <https://aws.amazon.com/pt/what-is/sql/>. Acesso em: 15 jan. 2023.

BAO RIBEIRO (org.). **Sistema On Grid: O processo de produção de energia solar fotovoltaica**. Disponível em: <https://baoribeiro.com.br/blog/sistema-de-energia-on-grid-como-funciona/>. Acesso em: 15 jan. 2023.

BECQUEREL, M. E. Mémoire sur les effets électriques produits sous l'influence des rayons solaires. Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences, v. 9, p. 561-567, 1839.

BLUE SOL ENERGIA SOLAR (org.). **As 5 Principais Questões sobre o Módulo Fotovoltaico Respondidas para Você Entender Tudo**. Disponível em: <https://blog.bluesol.com.br/modulo-fotovoltaico/>. Acesso em: 14 jan. 2023.

CANADIAN SOLAR (org.). **Inversores**. Disponível em: <https://www.csisolar.com/br/inverter/>. Acesso em: 14 jan. 2023.

CARI, Elmer Pablo Tito. **Introdução à Sistemas Fotovoltaicos, Dimensionamento e Instalação**. São Carlos, Sp: Universidade de São Paulo,

2020. Disponível em: http://www.sel.eesc.usp.br/cursosolar/wp-content/uploads/2020/09/Apostila_Modulo1_Introducao_a_Sistemas_Fotovoltaicos_Revisao12set2020.pdf. Acesso em: 15 jan. 2023.

CENTER FOR CLIMATE AND ENERGY SOLUTIONS. **Renewable Energy**. Disponível em: <https://www.c2es.org/content/renewable-energy/#:~:text=Globally%2C%20renewables%20made%20up%2029,was%20added%20globally%20during%202020..> Acesso em: 18 out. 2022.

CNN (org.). . **Crise energética deve aliviar em 2022, mas espaço para queda em contas é pequeno**. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/business/crise-energetica-deve-aliviar-em-2022-mas-espaco-para-queda-em-contas-e-pequeno/#:~:text=O%20Brasil%20passou%20em%202021,risco%20de%20apag%C3%B5es%20ou%20acionamento..> Acesso em: 18 out. 2022.

CRESESB. **Potencial Solar - SunData v 3.0**. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata&>. Acesso em: 18 out. 2022.

DC-AC. **SP-2500**. Disponível em: <https://www.dc-ac.com/product/sp-series/sp-2500>. Acesso em: 16 jan. 2023.

ECOQUECEDORES (org.). **ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA OFF GRID**. Disponível em: <https://www.ecoquecedores.com.br/energia-solar-fotovoltaica-off-grid/>. Acesso em: 15 jan. 2023.

EL-HAWARY, Mohamed E.. **Introduction to Electrical Power Systems**. Piscataway, Nj: lee, 2008.

ENERGY SHOP (org.). **BATERIA ESTACIONÁRIA FREEDOM 240AH - DF4100**. Disponível em: <https://www.energyshop.com.br/bateria-solar/bateria-estacionaria-freedom-df4100-240ah>. Acesso em: 14 jan. 2023.

ESMAP. 2020. (org.). Global Photovoltaic Power Potential by Country. Washington, DC: World Bank.

EURONEWS. **Why is there an energy crisis in Europe?**. Disponível em: <https://www.euronews.com/2022/02/03/europe-s-energy-crisis-why-are-natural-gas-prices-soaring-and-how-will-it-affect-europeans#>. Acesso em: 17 out. 2022.

FITZGERALD; KINGSLEY. **Máquinas Elétricas**. 7. ed. Porto Alegre, Rs: Amgh, 2014.

GALDINO, J. T. P. & M. A. **Manual de Engenharia para Sistema Fotovoltaicos**. 1. ed. Rio de Janeiro (RJ): CEPEL-CRESEB, 2014. p. 1-530.

GÓMEZ, J.M. Rodríguez; CARLESSO, F.; VIEIRA, L.e.; SILVA, L. da. A irradiância solar: conceitos básicos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [S.L.], v. 40, n. 3, p. 1-12, 26 mar. 2018. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1806-9126-rbef-2017-0342>.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Electricity Sector**. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/electricity-sector>. Acesso em: 20 out. 2022.

ISRAEL SOLAR (org.). **Controlador MPPT 50a 100v Fangpusun**. Disponível em: <https://www.israelsolar.com.br/controlador-mppt-50a-fanggupson>. Acesso em: 16 jan. 2023.

JAVA (org.). **O que é tecnologia Java e por que preciso dela?** Disponível em: https://www.java.com/pt-BR/download/help/whatis_java.html. Acesso em: 15 jan. 2023.

JINKO SOLAR (org.). **Produtos**. Disponível em: <https://www.jinkosolar.com/pt/site/suntank>. Acesso em: 14 jan. 2023.

JOHNSON, Francis S.. THE SOLAR CONSTANT. **Journal Of Meteorology**, [S.L.], v. 11, n. 6, p. 431-439, dez. 1954. American Meteorological Society. [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0469\(1954\)01112.0.co;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0469(1954)01112.0.co;2).

MICHELINI, Aldo. **Baterias de lítio**. Cotia, Sp: S.T.A. – Sistemas e Tecnologia Aplicada Ind. Com. Ltda, 2020.

NASCIMENTO, C. A. D. PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DA CÉLULA FOTOVOLTAICA.. **Universidade Federal de Lavras**, Lavras (MG), v. 1, n. 1, p. 1-21, jan./2004. Disponível em: https://www.solenerg.com.br/files/monografia_cassio.pdf. Acesso em: 18 out. 2022.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. L.; RÜTHER, R.; ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J. G. Atlas brasileiro de energia solar.2.ed. São José dos Campos: INPE, 2017. 80p. Disponível em: <http://doi.org/10.34024/978851700089>

RIBEIRO, Giankarlo Fialho. **DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO OFF-GRID EM UM MOTORHOME**. 2020. 20 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Uniceub, Brasília, Df, 2020. Disponível em: https://repositorio.uniceub.br/jspui/bitstream/prefix/15114/1/Artigo_Giankarlo_Ribeiro-%20Final.pdf. Acesso em: 16 jan. 2023.

RITCHIE Hannah, ROSER Max, ROSADO Pablo. **Our World in Data: Energy**. Disponível em: <https://ourworldindata.org/energy>. Acesso em: 18 out. 2022.

SOARES, Thalita. **Os principais conceitos para Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos**. 2020. Disponível em: <https://institutosolar.com/dimensionamento-de-sistemas-fotovoltaicos/>. Acesso em: 13 jan. 2023.

UNIVERSO LAMBDA (org.). **HOME Nossa História Serviços Artigos Dicas Blog Acontece E-Books Contato FUNDAMENTOS DE SISTEMAS TRIFÁSICOS**. Disponível em: <http://universolambda.com.br/fundamentos-de-sistemas-trifasicos/>. Acesso em: 15 jan. 2023.

VICTRON ENERGY (org.). **Produtos**. Disponível em: <https://www.victronenergy.pt/>. Acesso em: 14 jan. 2023.

VILLALVA, Marcelo Gradella. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações**. 2. ed. São Paulo, Sp: Érica, 2012.