

FRANCIELLE PAREJA SCHNEIDER

**COMPARAÇÃO DE SISTEMAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA
UTILIZANDO GERADOR A DIESEL E PAINÉIS FOTOVOLTAICOS
PARA ÁREAS RURAIS ISOLADAS**

**CASCVEL
PARANÁ – BRASIL
2019**

FRANCIELLE PAREJA SCHNEIDER

**COMPARAÇÃO DE SISTEMAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA
UTILIZANDO GERADOR A DIESEL E PAINÉIS FOTOVOLTAICOS
PARA ÁREAS RURAIS ISOLADAS**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus Cascavel, para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Energia na Agricultura.

Prof. Orientador: Dr. Carlos Eduardo Camargo Nogueira.

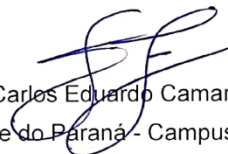
Prof. Coorientador: Samuel Nelson Melegari de Souza.

**CASCADEL
PARANÁ – BRASIL
2019**

FRANCIELLE PAREJA SCHNEIDER

Comparação de sistemas de geração de energia utilizando gerador a diesel e painéis fotovoltaicos para áreas rurais isoladas

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestra em Engenharia de Energia na Agricultura, área de concentração Agroenergia, linha de pesquisa Fontes Renováveis e Racionalização de Energia Na Agroindústria e Agricultura, APROVADO(A) pela seguinte banca examinadora:

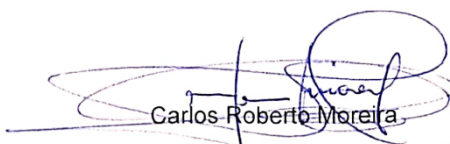


Orientador(a) - Carlos Eduardo Camargo Nogueira
Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Maritane Prior

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Carlos Roberto Moreira
Centro Universitário Assis Gurgacz (FAG)

Cascavel, 12 de março de 2019

Aos meus Pais,
Meu marido Sergio e
Minha filha Luiza.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades.

A UNIOESTE –Universidade Estadual do Oeste do Paraná, ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura - PPGEA e a administração que oportunizaram meu aprimoramento na área acadêmica e profissional

Ao meu orientador Carlos Eduardo Camargo Nogueira, pelo suporte, pelas suas correções e incentivos. Uma bela amizade construída no decorrer do trabalho, aos professores do laboratório Jair e Luciene, os colegas da turma de 2017, que sempre oportunizaram discussões para contribuir com minha formação.

Aos professores Carlos Roberto Moreira e Maritane Prior, que pela arguição na banca contribuíram para o enriquecimento do trabalho.

Aos meus pais, pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

Ao meu marido e filha pelo suporte no dia a dia, pelas horas de trabalho e dedicação.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado!

Se o dinheiro for a sua esperança de independência, você jamais a terá. A única segurança verdadeira consiste numa reserva de sabedoria, de experiência e de competência.

(Henry Ford)

O período de maior ganho em conhecimento e experiência é o período mais difícil da vida de alguém.

(Dalai Lama)

SCHNEIDER, Francielle Pareja. Msc. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Março de 2019. **Comparação de sistemas de geração de energia utilizando gerador a Diesel e painéis fotovoltaicos para áreas rurais isoladas** Professor orientador Dr. Carlos Eduardo Camargo Nogueira.

RESUMO

Com o desenvolvimento tecnológico cada vez mais são utilizados equipamentos dependentes de eletricidade e em áreas rurais isoladas, mesmo com a produção de energia com o uso de painéis fotovoltaicos, essa energia gerada necessita ser armazenada para uso. O estudo objetivou dimensionar e comparar o custo de alguns sistemas de geração e armazenamento de energia, considerados como sendo mais adequados e acessíveis para serem utilizados em áreas rurais isoladas, sem acesso à rede de distribuição de energia. A geração de energia foi realizada por um gerador a Diesel e por um sistema fotovoltaico isolado, capazes de suprir a mesma carga estabelecida para a propriedade. O armazenamento de energia, acoplado ao sistema fotovoltaico, foi realizado por um banco de baterias de chumbo ácido (armazenamento na forma de energia eletroquímica). Foi considerado que a residência consome, em média, 300 kWh de energia elétrica por mês, utilizando um sistema de alimentação monofásico, com tensão de 220V entre fase e neutro. A residência possui uma demanda máxima de potência de 8 kW. Em seguida, foi dimensionado o sistema de armazenamento de energia (baterias eletroquímicas), para suprir as demandas da residência por um período de 3 dias consecutivos, ou seja, os sistemas deverão conseguir armazenar uma energia total de 30 kWh. Para a geração de energia foram comparados: a geração a Diesel e a geração fotovoltaica. Foi observado que com a anualização dos custos de produção e obtenção do custo unitário de produção do gerador chegou a um custo por kWh de 2,18 já para o sistema de geração Fotovoltaico uniformizando os desembolsos anuais e o investimento obteve-se um custo unitário de produção do gerador fotovoltaico de 9,8 R\$/kWh. “O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001”.

PALAVRAS-CHAVE: sistema fotovoltaico *off grid*; geração a Diesel; energização rural.

SCHNEIDER, Francielle Pareja. Msc. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, March, 2019. **Comparison between power generation systems using Diesel generator and photovoltaic panels for isolated rural areas.** Teacher advisor Dr. Carlos Eduardo Camargo Nogueira.

ABSTRACT

With the technological development, more and more electricity-dependent equipments are used, and in isolated rural areas, even if the production of energy uses photovoltaic panels, this generated energy needs to be stored for the use. The study aimed to assess and compare the cost of some energy generation and storage systems considered to be more adequate and accessible for use in isolated rural areas without access the energy distribution network. The energy generation was performed by a Diesel generator, and by an isolated photovoltaic system, capable of supplying the same load established for the property. The energy storage, coupled to the photovoltaic system, was carried out by a bank of acid lead batteries (storage in the form of electrochemical energy). It was considered that residences consume, on average, 300 kWh of electricity per month, using a single-phase power system, in a 220 V between phase and neutral. The residence has a maximum power demand of 8 kW. Then, the system of energy storage (electrochemical batteries) was designed to deal the demands of the residence for a period of 3 consecutive days, the systems should be able to storage in total of 30 kWh energy. For the generation of energy were compared: Diesel generation and photovoltaic generation. It was observed that with the annualization of the production costs and obtaining the unit cost of production of the generator reached a cost per kWh of 2.18 already for the photovoltaic generation system, standardizing the annual disbursements and the investment was obtained a unit cost of production of the photovoltaic generator of 9.8 R \$ / kWh. "This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001"

KEYWORDS: photovoltaic system off grid; Diesel generation; rural energization.

LISTA DE ABREVIATURAS, SÍMBOLOS E SIGLAS

| | |
|---------------------|--|
| (Ah) | – Ampere-hora |
| (A-Si) | – Células solares de silício amorfo |
| (Cc) | – Corrente extra baixa |
| (CFC) | – Clorofluorcarbono |
| (C-Si) | – Células solares de silício cristalino |
| (DC) | – Corrente contínua |
| (HSP) | – Horas de Sol Pleno |
| (OPzS) | – Ortsfest stationary, |
| (PV) | – Célula fotovoltaica |
| (PVs) | – Painéis solares fotovoltaicos |
| (V) | – Tensão nominal |
| (VLRA) | – Bateria estacionária selada de chumbo ácido regulada por válvula. |
| (VmpTmáx) | – Tensão de máxima potência para a maior temperatura prevista para o local |
| (Vsist) | – Tensão do sistema |
| (γ) | – Ângulo Azimutal de Superfície |
| (γ_S) | – Ângulo Azimutal do Sol (azimute solar) |
| (α) | – Altura Solar |
| (β) | – Inclinação |
| (θ) | – Ângulo de Incidência |
| (θ_z) | – Ângulo Zenital |
| (ω) | – Ângulo Horário do Sol / Hora Angular |
| (GTES) | – Grupo de Trabalho de energia solar fotovoltaica do CRESESB/CEPEL. |
| (L) | – Quantidade de energia consumida diariamente no mês (Wh/dia); |
| (P_m) | – Potência do painel fotovoltaico (Wp); |
| (RA) | – Média de radiação solar (kWh/m ² dia). |
| (Red ₁) | – Fator de Redução da Potência dos Módulos Fotovoltaicos (%) |
| (Red ₂) | – Fator de Redução da Potência Devido a Perdas do Sistema (%); |
| (B) | – Inclinação do painel em relação ao plano horizontal |
| (Φ) | – Latitude do local ou região (graus). |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Matriz elétrica brasileira em maio de 2017 de acordo com dados disponíveis no Banco de Informações de Geração da Agência Nacional de Energia Elétrica..... | 4 |
| Figura 2 – Sentidos dos movimentos da Terra e da Lua. | 7 |
| Figura 3 – Composição do painel fotovoltaico. | 10 |
| Figura 4 – Célula fotovoltaica..... | 11 |
| Figura 5 – Células Fotovoltaicas de Silício..... | 12 |
| Figura 6 – Sistemas Químicos de Armazenamento de Energia. | 17 |
| Figura 7 – Modelo de armazenamento com o uso de baterias. | 19 |
| Figura 8 – Gerador a Diesel. | 22 |
| Figura 9 – Placa solar CANADIAN. | 38 |
| Figura 10 – Representação da disposição dos painéis fotovoltaicos..... | 39 |
| Figura 11 – Inversor Solar Off Grid Victron. | 40 |
| Figura 12 – Controlador de Carga VICTRON..... | 41 |
| Figura 13 – Bateria Estacionária Heliar Freedom..... | 42 |
| Figura 14 – Representação da composição de cada bloco do banco de baterias. ... | 43 |

LISTA DE TABELAS E QUADROS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 – Dados de Geração de Energia Elétrica – Brasil 2018..... | 4 |
| Tabela 2 – Comparativo entre baterias | 20 |
| Tabela 3 - Limites de Consumo Específico de Combustíveis por Faixa de Potência e Tecnologia a partir de 1º janeiro de 2014 | 21 |
| Tabela 4 – Valores típicos da implantação de usinas geradoras de energia. | 25 |
| Tabela 5 – Irradiação solar no Estado do Paraná | 28 |
| Tabela 6 – Características elétricas dos painéis fotovoltaicos | 38 |
| Tabela 7 – Descrição dos custos envolvidos na Geração a Diesel..... | 43 |
| Tabela 8 – Descrição dos custos envolvidos na Geração Fotovoltaica. | 44 |
| Tabela 9 – Investimentos e custos operacionais do sistema de Geração a Diesel... | 44 |
| Tabela 10 - Investimentos e custos operacionais do sistema de Geração Fotovoltaica | 45 |
| | |
| Quadro 1 – Tipos de energia renovável. | 6 |
| Quadro 2 – Relações geométricas formadas entre a superfície da terra e a posição aparente do sol..... | 9 |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1 | OBJETIVOS | 2 |
| 1.1.1 | Objetivo geral | 2 |
| 1.1.2 | Objetivos específicos | 2 |
| 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 3 |
| 2.1 | GERAÇÃO DE ENERGIA NO BRASIL | 3 |
| 2.1.1 | Energias Renováveis | 5 |
| 2.1.2 | Energia Solar | 7 |
| 2.1.3 | Energia solar fotovoltaica | 9 |
| 2.1.3.1 | Sistemas fotovoltaicos | 10 |
| 2.1.4 | Sistema fotovoltaico <i>off grid</i> | 13 |
| 2.2 | SISTEMA DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA POR BATERIAS ELETROQUÍMICAS | 15 |
| 2.3 | SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA A DIESEL | 20 |
| 2.3.1 | Regime de uso do gerador | 23 |
| 2.4 | ANÁLISE COMPARATIVA DE CUSTOS | 24 |
| 2.4.1 | Custo da Energia | 24 |
| 2.4.2 | Taxa Mínima De Atratividade (TMA) | 25 |
| 2.4.3 | Custos de sistemas de geração de energia | 25 |
| 3 | MATERIAL E MÉTODOS | 27 |
| 3.1 | DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA A DIESEL | 27 |
| 3.2 | DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO | 28 |
| 3.3 | DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA POR BATERIAS ELETROQUÍMICAS | 32 |
| 3.4 | ANÁLISE DE CUSTO | 33 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 35 |
| 4.1 | SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA A DIESEL | 35 |
| 4.1.1 | Dimensionamento de potência | 35 |
| 4.1.2 | Custo de aquisição e instalação do grupo gerador | 35 |
| 4.1.3 | Custo do Diesel | 35 |
| 4.1.4 | Custos com manutenção | 36 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 4.1.5 | Vida útil | 36 |
| 4.2 | SISTEMA FOTOVOLTAICO | 37 |
| 4.2.1 | Inversores | 40 |
| 4.2.2 | Controlador de carga..... | 40 |
| 4.3 | DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA POR BATERIAS ELETROQUÍMICAS | 41 |
| 4.4 | ANÁLISE DOS CUSTOS | 43 |
| 5 | CONCLUSÕES | 46 |
| 5.1 | SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS..... | 46 |
| 6 | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 47 |
| | ANEXO I – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO GRUPO GERADOR..... | 52 |
| | ANEXO II - INFORMAÇÕES ADICIONAIS DOS PAINÉIS SOLARES | |
| | CANADIAN | 53 |
| | ANEXO III - INFORMAÇÕES ADICIONAIS SOBRE OS INVERSORES | 54 |
| | ANEXO IV - INFORMAÇÕES ADICIONAIS SOBRE O CONTROLADOR DE | |
| | CARGA | 56 |
| | ANEXO V - BATERIA ESTACIONÁRIA FREEDOM – DF4100 – 220AH / 240AH | |
| | (ANTIGA DF4001)..... | 57 |

1 INTRODUÇÃO

A utilização e disponibilidade de energia são essenciais para o desenvolvimento social e econômico de uma sociedade. A energia elétrica é um recurso essencial, necessário para melhorar o padrão e a qualidade de vida dos seres humanos (AHLBORG, HAMMAR, 2011). A obtenção e o acesso ao fornecimento confiável e estável de eletricidade são desafios para os moradores urbanos e rurais.

Uma questão importante de estudo é saber quais são as inovações que estão reservadas para o setor, de onde são oriundas e como podem contribuir para a implementação de projetos sociais mais sustentáveis em benefício da população (ACHARJEE, 2013). É o caso do desenvolvimento e aplicação de tecnologias de energia renovável, as quais utilizam alternativas em economias emergentes nos lugares mais remotos, proporcionando equidade social e econômica à população.

A eletrificação rural deve ser tratada como uma questão social, devendo atender não somente as agroindústrias, mas, principalmente, os pequenos produtores rurais que, quase sempre, fazem parte de populações de baixa renda. Deve ser analisada dentro de uma estrutura que inclua a energia na agricultura, em um amplo panorama de desenvolvimento rural (MUNASHINGHE, 1990).

Com o desenvolvimento tecnológico, cada vez mais são utilizados equipamentos dependentes de eletricidade em áreas rurais remotas, distantes da rede de eletrificação da concessionária. A fim de suprir essas necessidades energéticas, têm-se utilizado fontes renováveis para produzir energia de maneira autônoma (AKINYELE, RAYUDU, 2014). No entanto, de modo geral, muitas fontes possuem um ciclo de produção de energia intermitente, necessitando de dispositivos para realizar o armazenamento energético em períodos de indisponibilidade.

As tecnologias de armazenamento de energia podem ser aplicadas em duas vertentes: primeiro, para sistemas fora da rede de distribuição de energia, instalados em áreas rurais e, em segundo lugar, para o apoio descentralizado à rede em áreas na vizinhança imediata de uma cidade, que permanecem subeletrificadas. Tecnologias capazes de satisfazer a necessidade de consumo local são econômicas para pequenas unidades, tendo um bom equilíbrio entre a capacidade de geração de energia e o consumo, bem como uma rápida resposta à mudança na demanda (ROHIT, RANGNEKAR, 2017).

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

O projeto tem por objetivo geral dimensionar e fazer uma avaliação econômica comparativa entre sistemas de geração de energia a Diesel e fotovoltaica, a serem utilizados em áreas rurais isoladas, sem acesso à rede de distribuição de energia.

1.1.2 Objetivos específicos

- Dimensionar um sistema de geração a Diesel para satisfazer a energia consumida em uma residência rural de pequeno porte;
- Dimensionar um sistema fotovoltaico para atender uma mesma residência rural de pequeno porte;
- Dimensionar um sistema de armazenamento de energia a ser acoplado ao sistema de geração fotovoltaica. O sistema será composto por baterias eletroquímicas. O sistema de armazenamento será dimensionado para atender às necessidades de energia da propriedade durante três dias consecutivos, nos momentos em que a geração fotovoltaica for insuficiente (muitas nuvens no local);
- Fazer um levantamento dos custos de aquisição, instalação, manutenção e operação de cada sistema de geração e armazenamento de energia;
- Fazer uma avaliação econômica comparativa entre os sistemas estudados.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 GERAÇÃO DE ENERGIA NO BRASIL

A cada ano, a população está se tornando mais dependente do uso de energia. Sendo assim, a comodidade do uso de recursos tecnológicos cada vez mais modernos e dependentes de fontes de energia faz com que se busque por novas alternativas de geração de energia para satisfazer essa nova realidade de consumo.

Quanto à geração brasileira, segundo dados da (Empresa de Pesquisa Energética), no ano de 2013, a produção de energia por fontes renováveis chegou a 41%, com destaque para a biomassa (cana-de-açúcar), hidráulica, lenha e carvão vegetal, além de outras renováveis (EPE, 2013).

Esse fato aponta como indício que o Brasil poderia se tornar um dos maiores produtores de energia no mundo, por conta de seu imenso potencial hidráulico, solar, eólico, além do desenvolvimento de combustíveis alternativos, liderado pelo etanol (VICHI e MANSOR, 2009).

São muitos os empreendimentos desenvolvidos para a geração de energia, como se pode visualizar na tabela 1. As principais relacionadas em quantidade são as usinas termelétricas e hidrelétricas, seguidas de centrais geradoras de energia solar fotovoltaica (BIG, 2018).

Quando se fala em potência outorgada em kW, a ordem se modifica, estando à frente as centrais geradoras hidrelétricas, seguidas das usinas hidrelétricas, conforme tabela 1.

Tabela 1 – Dados de Geração de Energia Elétrica – Brasil 2018.

| Tipo | Empreendimentos em Operação | | | % |
|--|-----------------------------|-------------------------|---------------------------|-------|
| | Quantidade | Potência Outorgada (kW) | Potência Fiscalizada (kW) | |
| Central Geradora Hidrelétrica | 685 | 670.583 | 669.929 | 0,42 |
| Central Geradora Undi-elétrica (através das ondas) | 1 | 50 | 50 | 0 |
| Central Geradora Eólica | 536 | 13.158.039 | 13.131.043 | 8,21 |
| Pequena Central Hidrelétrica | 426 | 5.103.119 | 5.075.853 | 3,17 |
| Central Geradora Solar Fotovoltaica | 2.233 | 1.306.510 | 1.306.510 | 0,82 |
| Usina Hidrelétrica | 220 | 101.897.047 | 96.405.579 | 60,26 |
| Usina Termelétrica | 3.006 | 43.152.739 | 41.401.986 | 25,88 |
| Usina Termonuclear | 2 | 1.990.000 | 1.990.000 | 1,24 |
| Central Geradora Hidrelétrica | 7.109 | 167.278.087 | 159.980.950 | 100 |

Os valores de porcentagem são referentes à Potência Fiscalizada. A Potência Outorgada é igual à considerada no Ato de Outorga. A Potência Fiscalizada é igual à considerada a partir da operação comercial da primeira unidade geradora.

Fonte: BIG - Banco de Informações de Geração - ANEEL – dados de 09/07/2018

A tabela 1 revela que o número de empreendimentos não está diretamente relacionado com a potência instalada e, para explicitar mais essa realidade, a figura 1 mostra como a contribuição de centrais de geração de energia, a partir de fontes alternativas como o sol e o vento, ainda estão contribuindo com um baixo percentual de geração ao país.

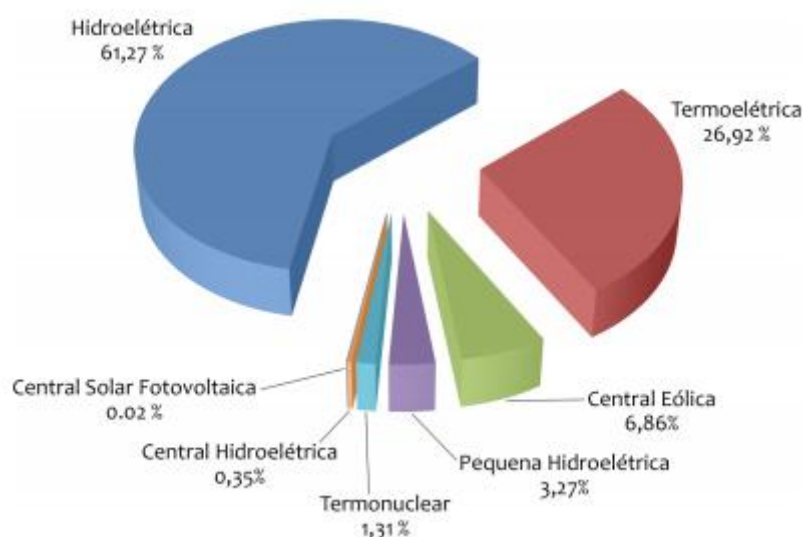


Figura 1 – Matriz elétrica brasileira em maio de 2017 de acordo com dados disponíveis no Banco de Informações de Geração da Agência Nacional de Energia Elétrica.

Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar. 2017.

A geração de energia elétrica no país, conforme comprovam a tabela 1 e a figura 1, está fortemente dependente das hidrelétricas e correndo riscos em razão da escassez das chuvas e conseqüente baixa de seus reservatórios.

2.1.1 Energias Renováveis

As energias renováveis são aquelas provenientes de ciclos naturais de conversão como da radiação solar, que é fonte primária de quase toda energia disponível na Terra e, por isso, são praticamente inesgotáveis e não alteram o balanço térmico do planeta (PACHECO, 2006).

São exemplos de fontes de energia renovável:

- Energia Hídrica;
- Energia Eólica;
- Energia Solar;
- Energia Geotérmica;
- Energia das Ondas e Marés;
- Energia da Biomassa.

No quadro 1, seguem os tipos de energia renovável e como se dá sua conversão em energia.

Quadro 1 – Tipos de energia renovável.

| | |
|---------------------------------------|--|
| Células fotovoltaicas | Convertem a radiação solar diretamente em eletricidade. Sistemas fotovoltaicos acoplados no telhado e/ou arranjos independentes. |
| Tecnologias elétricas térmicas | Produzem eletricidade concentrando a luz solar onde o calor acumulado é usado para aquecer o fluido que, em seguida, aquece a água até seu estado gasoso. O vapor irá movimentar as turbinas, acionando o gerador que produzirá a energia. |
| Máquinas eólicas | Convertem a energia cinética do vento em energia rotacional que impulsiona turbinas geradoras de eletricidade. |
| Biomassa | Principalmente resíduos de madeira e seus subprodutos, mas também resíduos industriais e resíduos sólidos urbanos, e que são queimados para produzir calor e eletricidade. |
| Energia geotérmica | Calor retido até 3000 pés abaixo da superfície da terra. |
| Energia hidrotérmica | Vapor, água quente e salmoura quente dentro de 900 pés da superfície da terra é a forma primária usada comercialmente para gerar eletricidade e aquecimento de edifícios. |
| Energia hidrelétrica | A água em movimento ou em queda é usada para gerar eletricidade, isto é, a mais importante tecnologia de energia renovável para a eletricidade hoje. |

Fonte: adaptado de BANG *et al*, 2000.

O principal componente da matriz energética brasileira é a fonte hidráulica, que, em termos de poluição, é considerada entre as fontes, uma das mais limpas, mas o seu impacto no meio ambiente é de grande monta, visto que há necessidade de alagamento de grandes áreas, interferência direta na fauna, na flora e deslocamento de comunidades (PEDROSA, 2005).

A busca por implementar novas fontes de energias renováveis também está relacionada com o desenvolvimento de tecnologias mais eficientes, aos programas de pesquisa e desenvolvimento, bem como aos mercados de comercialização de energias limpas (SILVA; WEIS; FREITAS, 2011).

A energia solar é uma importante fonte de energia alternativa para uso atual e futuro. O principal fator limitante para a sua aplicação é figurar como um recurso de energia cíclico dependente do tempo (DINCER, 1999).

2.1.2 Energia Solar

Energia solar é a energia proveniente do Sol. Todos os dias a superfície terrestre recebe uma grande quantidade de energia solar na forma de luz e calor, sendo uma fonte inesgotável de energia à nossa disposição.

O Sol é a fonte primária de energia e vida. Pode-se dizer que o Sol é a fonte responsável pela maior parte da energia existente na superfície da Terra. A radiação eletromagnética do Sol propicia a produção de calor e potência. Assim, é possível obter dois tipos de energia solar: a térmica e a fotovoltaica (IDEC, 2018):

- Energia solar térmica: a forma mais comum desse aproveitamento utiliza coletores solares que captam a energia do sol e a transferem para a água, dispensando ou reduzindo a necessidade de uso de aquecedores e chuveiros elétricos;
- Energia solar fotovoltaica: a energia solar também pode ser coletada por meio de lâminas ou painéis chamados fotovoltaicos. Essa energia pode ser utilizada diretamente ou armazenada.

O clima e a temperatura afetam diretamente o desempenho dos dispositivos fotovoltaicos. Eles também exercem influência sobre as demandas da energia necessária para aquecimento e resfriamento do sistema de produção de energia (MARKVART; CASTAÑER, 2003).

As estações do ano são causadas pela inclinação do eixo de rotação da Terra em relação à perpendicular ao plano definido pela órbita da Terra, conforme representado na figura 2.

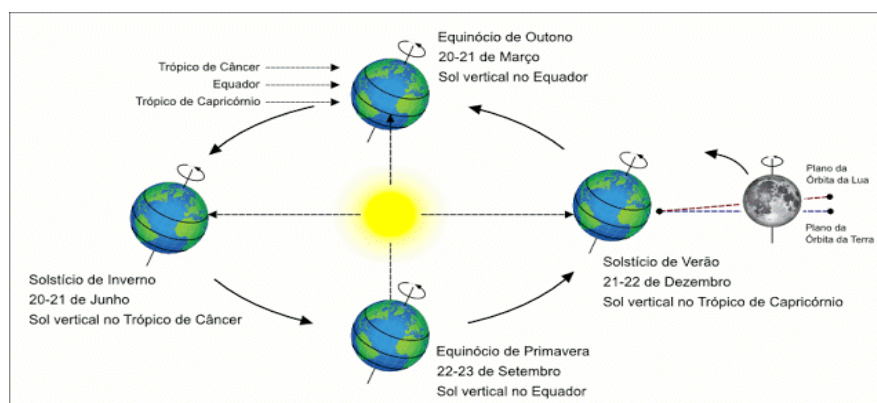


Figura 2 – Sentidos dos movimentos da Terra e da Lua.
Fonte: Dan Scientia, 2010.

Tal inclinação faz com que a orientação da Terra em relação ao Sol mude continuamente enquanto a Terra gira em torno do Sol. O Hemisfério Sul se inclina para longe do Sol durante o nosso inverno e em direção ao Sol durante o nosso verão. Isto significa que a altura do Sol, o ângulo de elevação do Sol acima do horizonte, para uma dada hora do dia (por exemplo, meio dia) varia no decorrer do ano. No hemisfério de verão, as alturas do Sol são maiores, os dias mais longos e há mais radiação solar. No hemisfério de inverno, as alturas do Sol são menores, os dias mais curtos e há menos radiação solar (BOCZKO, 1978).

A energia emitida pelo sol e transmitida sob a forma de radiação eletromagnética recebe o nome de radiação solar. Metade dessa energia é emitida na forma de luz visível e no restante em infravermelho e ultravioleta. Anualmente, a radiação solar fornece para a atmosfera terrestre cerca de $1,5 \times 10^{18}$ kWh de energia (ARAUJO, 2005).

Aproximadamente 25% da radiação solar penetram na superfície da Terra de forma direta. Isso constitui a insolação direta, o restante da radiação, os 75%, são refletidos e retornam ao espaço, sendo absorvidos, ou espalhados até atingir a superfície terrestre (ARAUJO, 2005).

A órbita terrestre é elíptica e, por isso, a quantidade de insolação pode variar ligeiramente no decorrer do ano. Seu valor médio, denominado constante solar, é o valor de duas calorias por centímetro quadrado por minuto, representado por $2 \text{ cal/cm}^2/\text{min}$. Esse é número referência para a quantidade de energia radiante incidente sobre uma superfície que é perpendicular aos raios solares antes que ocorram perdas ou distribuições (MOREIRA, 2001)

Para calcular a radiação solar que atinge uma superfície horizontal na Terra, é necessário estabelecer algumas relações geométricas entre a posição do Sol no céu e as coordenadas desta superfície na Terra. No quadro 2, são descritos os ângulos relacionados com os cálculos de radiação.

Quadro 2 – Relações geométricas formadas entre a superfície da terra e a posição aparente do sol

| | |
|--|--|
| Ângulo Azimutal de Superfície (γ): | Ângulo entre a projeção da normal à superfície do painel solar e a direção norte – sul. |
| Ângulo Azimutal do Sol (azimute solar) (γ_S): | É o ângulo entre a projeção dos raios solares no plano horizontal e a direção Norte – Sul. |
| Ângulo Horário do Sol / Hora Angular (ω): | É o deslocamento angular do sol, no sentido Leste – Oeste, a partir do meridiano local, devido ao movimento de rotação da Terra; |
| Ângulo de Incidência (θ) | Formado entre os raios solares e a vertical de captação. Quanto menor esse ângulo, mais energia será captada. |
| Altura Solar (α): | Ângulo entre os raios solares e sua projeção sobre um plano horizontal. |
| Ângulo Zenital (θ_z): | O ângulo formado entre os raios solares e a vertical (Zênite). O ângulo zenital é o inverso da altura solar. O sol só alcança o Zênite nas localidades entre os trópicos (zona tropical). Fora dos trópicos, em nenhuma localidade haverá, ao meio dia solar, ângulo zenital igual a zero. |
| Inclinação (β): | Ângulo entre um determinado painel solar e o plano horizontal. |

Fonte: Adaptado de MACAGNAM, 2010.

2.1.3 Energia solar fotovoltaica

A energia solar é uma importante fonte de energia alternativa para uso atual e futuro. O principal fator limitante quanto à sua aplicação, é ser um recurso de energia cíclico dependente do tempo (DINCER, 1999).

A energia fotovoltaica é a tecnologia de captação da energia proveniente da radiação do sol, por meio das células fotovoltaicas que são capazes de gerar uma corrente elétrica contínua. Enquanto a luz do sol estiver agindo, brilhando, as células fotovoltaicas têm a capacidade de desempenhar sua função na produção de eletricidade, sem a necessidade de uma fonte externa (PALZ, 2002). Ou seja, a energia é gerada por meio da conversão direta da radiação solar em eletricidade. Isto se dá a partir de um dispositivo conhecido como célula fotovoltaica que atua utilizando o princípio do efeito fotoelétrico ou fotovoltaico (IMHOFF, 2007).

O chamado efeito fotovoltaico é gerado a partir da absorção da luz solar, que ocasiona uma diferença de potencial na estrutura do material semicondutor. A radiação solar incide sobre materiais semicondutores e é transformada diretamente em corrente contínua. Para transformar a corrente contínua em corrente alternada são utilizados aparelhos chamados inversores (SEVERINO; OLIVEIRA 2010).

2.1.3.1 Sistemas fotovoltaicos

O sistema fotovoltaico utiliza um ou mais painéis solares para converter a luz solar em eletricidade. O painel fotovoltaico é composto por uma moldura de alumínio, vidro especial, película encapsulante, células fotovoltaicas, nova camada de película, fundo protetor e uma caixa de junção, conforme representado na figura 3. Consiste em um conjunto de múltiplos componentes, incluindo os módulos fotovoltaicos, mecânicos e elétricos; conexões, montagens e meios de regular ou modificar a saída elétrica.



Figura 3 – Composição do painel fotovoltaico.

Fonte: Portal solar, 2018

Os sistemas fotovoltaicos são projetados em torno da célula fotovoltaica e esta, por sua vez, produz menos de 3 W em aproximadamente 0,5 V. As células devem ser conectadas em configurações paralelas e em série, para produzir energia para aplicações de alta potência (MESSENGER; VENTRE, 2003).

Uma célula solar, ou célula fotovoltaica (PV), é um dispositivo que converte luz em corrente elétrica usando o efeito fotoelétrico, conforme representado na figura 4.

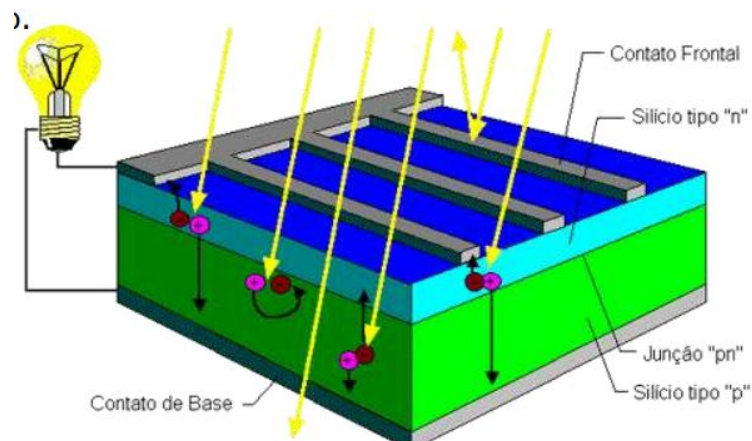


Figura 4 – Célula fotovoltaica.

Fonte: CRESESB, 2006.

As células são configuradas em módulos e, assim, os módulos são conectados em matrizes. Os módulos podem ter potências máximas de saída que variam de alguns watts, dependendo da aplicação pretendida, para mais de 300 watts (MESSENGER; VENTRE, 2003).

Os painéis solares fotovoltaicos (PVs) são matrizes de células, que são utilizados em uma ampla gama de aplicações, desde a geração de energia residencial no telhado até o nível de utilidade de média escala na geração de energia (JACOBSON; DELUCCHI, 2011).

Diferentes materiais exibem eficiências e custos diferentes. Materiais para células solares eficientes devem ter características compatíveis com o espectro de luz disponível. Algumas células são projetadas para converter eficientemente comprimentos de onda da luz solar que atingem a superfície da Terra.

Os materiais utilizados para células solares fotovoltaicas incluem: silício monocristalino, silício policristalino, silício amorfo, cádmio telureto e seleneto de cobre / sulfeto de índio (JACOBSON 2009).

As células solares são conectadas com combinações em série e paralelas para fornecer a energia necessária. Os módulos fotovoltaicos são feitos por meio da montagem das células solares depois de encadear, tabular e fornecer outras interconexões. Os principais tipos de células fotovoltaicas são os apresentados a seguir:

- Células solares de silício cristalino (C-Si): monocristalino e policristalino;

- Células solares de película fina: células solares de silício amorfo (A-Si), CIGS, CdTe.

As células solares de silício apresentam diferentes características, conforme figura 5. O melhor rendimento é apresentado pela monocristalina. Tanto a policristalina, quanto a monocristalina possuem espessura de 0,003 mm e todas apresentam uma vida útil que ultrapassa os 15 anos (CEPEL, 2013).

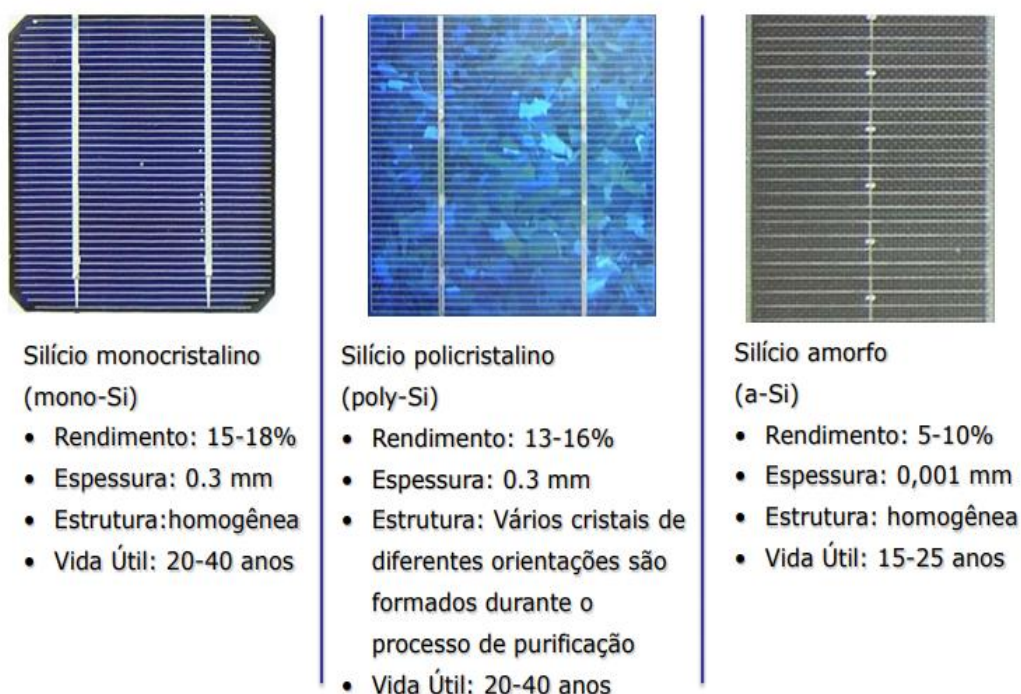


Figura 5 – Células Fotovoltaicas de Silício.

Fonte: CEPEL, 2013.

A parte mais importante de um painel solar fotovoltaico são as células fotovoltaicas de silício (Si). O silício é composto de minúsculos átomos que são carregados com elétrons.

Os painéis fotovoltaicos mais comuns utilizam dois tipos diferentes de silício, a fim de criar cargas negativas e positivas. Para criar uma carga negativa, o silício é combinado com boro e, para criar uma carga positiva, o silício é combinado com o fósforo. Tal combinação cria mais elétrons no silício carregado positivamente e menos elétrons no silício carregado negativamente.

O silício carregado positivamente é “sanduichado” com o silício carregado negativamente, isso permite que a célula de silício possa reagir com o sol produzindo energia elétrica (PORTAL SOLAR).

Os módulos fotovoltaicos são feitos a partir da montagem das células solares depois de encadear, tabular e fornecer outras interconexões (EAI, 2018).

Os módulos fotovoltaicos produzem correntes contínuas (DC) de eletricidade, os quais podem ser conectados tanto em série, quanto em paralelo, arranjos para produzir qualquer combinação necessária de tensão e corrente (NASA 2002).

O sistema solar fotovoltaico tem componentes básicos, agrupados em três diferentes blocos: o bloco gerador, o bloco de condicionamento de potência e o bloco de armazenamento. Cada grupo é formado por componentes com funções específicas.

O bloco gerador é composto por painéis solares, cabos e estrutura de suporte. O bloco de condicionamento de potência com inversores e controladores de carga e o bloco de armazenamento com baterias (RÜTHER, 2004).

2.1.4 Sistema fotovoltaico *off grid*

São sistemas que não dependem da rede elétrica convencional para funcionar, sendo possível sua utilização em localidades carentes de rede de distribuição elétrica. Existem dois tipos de autônomos: com armazenamento e sem armazenamento.

O primeiro pode ser utilizado em carregamento de baterias de veículos elétricos, em iluminação pública e, até mesmo, em pequenos aparelhos portáteis (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

No sistema isolado, a geração de energia renovável utiliza armazenamento de energia elétrica como forma de suprimento, quando a rede convencional de energia é inacessível.

Por outro lado, o segundo, além de ser frequentemente utilizado em bombeamento de água, apresenta maior viabilidade econômica, já que não utiliza instrumentos para o armazenamento de energia (PEREIRA; OLIVEIRA, 2011).

São tecnologias capazes de atender essa necessidade de consumo local, pois são econômicas para pequenas unidades, tendo um bom consumo e rápida resposta às mudanças na demanda de consumo de energia (ROHIT, RANGNEKAR, 2017).

A configuração do sistema *off grid* segue a maioria das especificações de um sistema ligado à rede, tendo algumas diferenças como, por exemplo, os controladores de carga e os sistemas de armazenamento de energia. Já os módulos fotovoltaicos e os inversores são utilizações comuns em ambos os sistemas.

Um sistema fotovoltaico *Off grid* tem, basicamente a seguinte estrutura:

- Conjunto de placas solares fotovoltaicas: faz a captação da radiação solar e a converte em energia elétrica;
- Sistema de armazenamento: faz o armazenamento da energia elétrica convertida, permitindo a sua utilização a qualquer momento;
- Controlador de carga: dispositivo eletroeletrônico que faz o gerenciamento de carga do sistema de armazenamento;
- Inversor de Tensão: é o componente responsável pela transformação da corrente contínua gerada pelas placas solares e armazenada nas baterias em corrente alternada, possibilitando a utilização da energia elétrica em equipamentos feitos para operar ligados à rede elétrica (BLUESOL, 2016).

A corrente do controlador de carga deve ser igual ou superior a corrente máxima dos painéis fotovoltaicos, adicionado 25% como fator de segurança, caso o painel receba radiação superior a 1000 W/m^2 (CRESESB-CEPEL, 2014).

Já a inclinação ideal dos módulos fotovoltaicos pode ser determinada em função da latitude do local do projeto, sendo que a configuração do sistema fotovoltaico *Off grid* interfere no método de cálculo de inclinação.

Para sistemas *Off grid*, o módulo com maior inclinação é recomendável, pois garante maior absorção nos períodos de menor radiação solar, que são os períodos próximos ao solstício de inverno (BLUE SOL, 2016).

Para o dimensionamento de sistemas *Off grid*, é recomendado o método do mês crítico, considerando que, a partir do balanço de energia anual, o mês crítico é aquele que registra as condições médias mais desfavoráveis para o sistema. Ou seja, com menor radiação solar e maior utilização das cargas (CRESESB-CEPEL, 2014).

Além das médias favoráveis de radiação solar, deve-se levar em consideração outras variáveis que interferem na eficiência da produção de energia por painéis solares como: degradação do material, irradiância solar, temperatura do módulo, resistências parasitárias, fator de enchimento, sombreamento, sujeira, potencial de degradação induzido e o ângulo de inclinação (VIDYANANDAN, 2017).

2.2 SISTEMA DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA POR BATERIAS ELETROQUÍMICAS

A eletricidade gerada a partir de fontes renováveis tem mostrado notável crescimento em todo o mundo, mas raramente fornece respostas imediatas diante das demandas existentes, uma vez que essas fontes não fornecem um suprimento regular ajustável às necessidades de consumo.

Com o crescimento de produção de energia descentralizada, diversos problemas de estabilidade de carga na rede surgem e, conseqüentemente, há a necessidade de armazenamento dessa energia gerada, quase sempre, usando baterias de chumbo, como solução potencial (IBRAHIMA; ILINCA; PERRON, 2008).

É por isso que outros tipos de tecnologias de armazenamento estão sendo desenvolvidas e implementadas. Isso levou ao surgimento do armazenamento como um elemento crucial na gestão de energia a partir de fontes renováveis, permitindo que a energia seja liberada na rede durante horas de pico quando é mais valioso (IBRAHIMA; ILINCA; PERRON, 2008).

A tecnologia de armazenamento de energia foi recentemente desenvolvida até um ponto em que pode ter um significado de impacto na tecnologia moderna. É por essa razão que o armazenamento de energia (Energy storage - ES), é extremamente importante para o sucesso de qualquer fonte de energia intermitente na demanda. O problema citado é bastante grave para a energia solar, porque o armazenamento é mais necessário quando a disponibilidade solar é a mais baixa, normalmente no inverno (DINCER, 1999).

Os sistemas de armazenamento de energia podem contribuir de maneira significativa para satisfazer necessidades da sociedade por mais eficiência ambiental, cujos resultados serão alguns benefícios significativos como: conservação de combustíveis fósseis, mudança para planta geradora eficiente,

reduções nas emissões de dióxido de carbono e reduções nas emissões de CFC, clorofluorcarbono.

É conveniente gerar a energia, transmiti-la, convertê-la e armazená-la, se necessário e possível. O armazenamento de energia elétrica, mais do que nunca, tornou-se uma necessidade. No entanto, a eletricidade é difícil de armazenar, já que requer equipamentos volumosos e caros (IBRAHIMA; ILINCA; PERRON, 2008).

Em áreas remotas sem acesso à rede, o banco de baterias pode ser usado como uma instalação de armazenamento. O efeito negativo disso é o custo adicional da bateria, aumentando significativamente o custo unitário da eletricidade produzida (HÄBERLIN, 2012).

Um sistema de armazenamento elétrico inclui um meio pelo qual a eletricidade é importada de uma rede elétrica sendo, em seguida, convertida em uma forma que poderia ser armazenada para posterior utilização (AKINYELE; RAYUDU, 2014).

A Bateria é um dispositivo eletroquímico considerado uma das mais antigas formas de armazenamento de energia elétrica (ANEKE; WANG, 2016).

Além de sistemas de armazenamento em grande escala do lado da oferta, pode-se esperar que sistemas de armazenamento por baterias em pequena escala sejam instalados no futuro em casas particulares, lojas de varejo e outros locais de consumo final. A utilização da dispendiosa energia diurna pode ser reduzida armazenando energia noturna barata e, em seguida, liberando-a no dia.

Esse armazenamento de energia local também pode executar uma função de alívio de pico: se um sistema de armazenamento fornecer potência ativa adicional (excedendo a corrente contratada) em picos curtos (por exemplo, quando um forno de micro-ondas está em operação), falhas de fornecimento podem ser evitadas e a energia contratada pode ser reduzida. Considerando tais benefícios econômicos, algumas lojas de conveniência já introduziram sistemas de armazenamento de bateria em pequena escala (IWATA *et al*, 2005).

As baterias são encontradas no mercado em vários tamanhos formando um conjunto, chamado banco de baterias. Essa flexibilidade faz com que o sistema possa ser utilizado para aplicações como pequenos comércios que dependam de freezers e sistemas *off grid*. Com os custos caindo em razão do aumento de demanda, essas baterias estão encontrando rápido desenvolvimento. Algumas das

baterias mais importantes são as de chumbo ácido, Íon de lítio, níquel-cádmio, sódio enxofre, níquel-cloreto de sódio, conforme representado na figura 6.

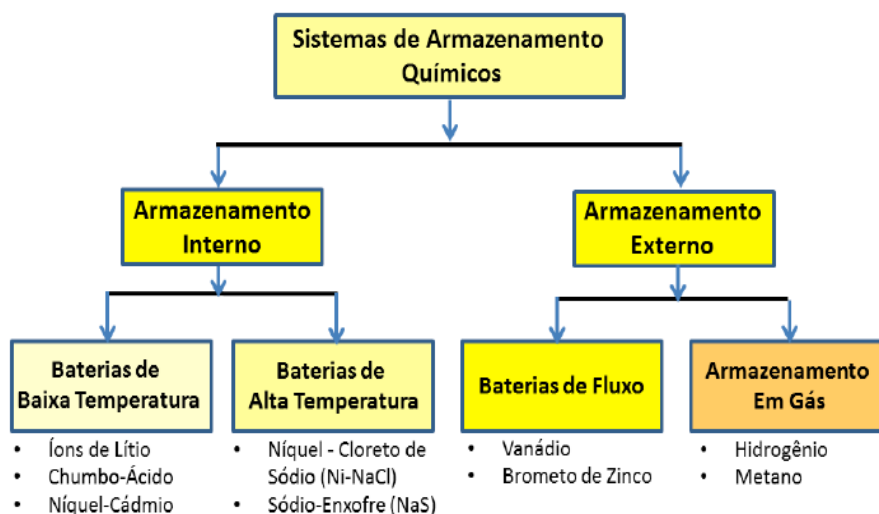


Figura 6 – Sistemas Químicos de Armazenamento de Energia.

Fonte: (BUENO, BRANDÃO, 2015).

Para o armazenamento em um sistema fotovoltaico autônomo são utilizados alguns tipos de baterias estacionárias:

- Baterias estacionárias comuns: conhecidas também como baterias de ciclo profundo. Tem vida útil de 4 a 5 anos, preços acessíveis e podem ser usadas, inclusive, em veículos recreacionais e sistemas de nobreak. A diferença do modelo é que possui placas mais grossas, suportando descargas mais profundas;
- Baterias OPzS (*Ortsfest (stationary)*, *PanZerplatte*, (*tubular plate*) e *Flüssig (flooded)*), ou baterias estacionárias ventiladas com eletrólito líquido (ácido sulfúrico diluído). Tem vida útil que excede os 10 anos, expectativa de aproximadamente 1500 ciclos com 80% de profundidade de descarga e preços razoáveis. Por serem ventiladas e liberarem gás, devem ser vistas de tempos em tempos para reposição de água e precisam ficar em locais apropriados para não correr riscos de explosão;
- Baterias VLRA (bateria estacionária selada de chumbo ácido regulada por válvula). As baterias VRLA são caracterizadas pelo fato de serem reguladas à válvula, e pela recombinação interna dos gases. Isso

significa que a bateria não permite, em condições normais de utilização, que haja migração significativa de quaisquer elementos de dentro para fora e nem de fora para dentro. A VRLA tem o eletrólito em seu interior, confinado por absorção em manta de microfibras de vidro (Tecnologia AGM) ou por meio de sua gelificação (Tecnologia Gel);

- AGM (*Absorbent Glass Mat*, ou manta de fibra de vidro absorvente): As baterias VRLA-AGM têm uma resistência maior às temperaturas extremas, aos ciclos de descarga e carga e às vibrações e choques mecânicos, sendo totalmente isentas de manutenção. Além disso, têm uma melhor característica para carregar com mais facilidade, especificamente aquela de tipo dinâmico, assim como uma potência maior de arranque em relação às baterias tradicionais com ácido livre. São baterias que também não liberam gás e possuem ótimo desempenho. São mais caras, mas o período de vida útil, superior a dez anos, geralmente paga seu investimento.
- Baterias de gel: Eletrólito na forma de gel. São seladas de gel e não liberam gases, sendo possível que sejam instaladas em ambientes fechados. Tem vida útil superior a 10 anos e são indicadas, principalmente, para sistemas solares fotovoltaicos em embarcações já que sua camada de gel dá maior estabilidade e segurança (SOLAR BRASIL, 2018).

As baterias são as primeiras integrantes do sistema fotovoltaico como representado na figura 7, assim como se desgastam mais rapidamente que o restante do sistema. A escolha da bateria para o sistema deve ter como fator decisivo a sua utilização e vida útil, e como fatores secundários, seu custo de manutenção ou valor de aquisição (PINHO; GALDINO, 2014).

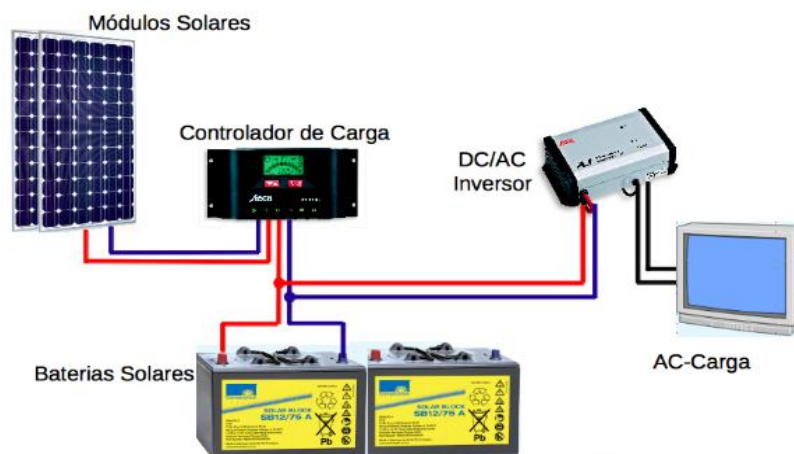


Figura 7 – Modelo de armazenamento com o uso de baterias.

Fonte: Adaptado de Pinho e Galdino, 2014.

Para o dimensionamento do banco de baterias pelo método GTES (Grupo de Trabalho de energia solar fotovoltaica do CRESESB/CEPEL), descrito no Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos, CEPEL – CRESESB (2014) devem ser abordados os seguintes itens:

- O fator de eficiência das baterias (decimal): o valor considera a eficiência de carga e descarga das baterias. Este dado se obtém do fabricante, caso isso não seja possível, o método sugere 0,95;
- O consumo Ampère-hora corrigido (Ah/dia): a divisão do consumo Ampère hora pela eficiência da bateria;
- Dias de armazenamento: número de dias que não há geração fotovoltaica, ou seja, o período de autonomia. Esse item é indicado pelo usuário do programa;
- Profundidade de descarga máxima (Decimal): máxima descarga permitida para a bateria, que é dependente do tamanho e tipo;
- Capacidade necessária para a bateria representa a divisão do consumo Ah corrigido pela profundidade de descarga máxima da bateria, multiplicada pelos dias de armazenamento;
- Capacidade da bateria selecionada (Ah);
- Número de baterias em paralelo: é indicado pela divisão entre a capacidade necessária para a bateria e a capacidade da bateria selecionada;
- Tensão nominal da bateria (V);

- Número de baterias em série: é obtido pela divisão entre a tensão nominal do sistema e a tensão nominal da bateria;
- Número total de baterias: é apresentado pelo programa por meio do produto da quantidade de baterias em série pela quantidade de baterias em paralelo.

Sendo assim, em razão da importância na escolha da bateria mais adequada para o sistema de armazenamento, foi desenvolvido um quadro comparativo entre os modelos mais utilizados na tabela 2.

Tabela 2 – Comparativo entre baterias

| | Densidade de Energia Wh/Kg | Densidade de Potência W/Kg | Eficiência de Conversão | Número de Ciclos | Perdas Dissipativas |
|---------------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------|------------------|---------------------|
| Chumbo ácido | 20-100 | 50-400 | 85-90% | 500-2000 | 2% por mês |
| Níquel | 40-80 | 80-350 | 65-80% | 600-3000 | 10% por mês |
| Íon-Lítio | 90-200 | 500-2000 | 90% | 800-3000 | 5% por mês |

Fonte: Adaptado de (REN, MA, 2015) e (HADJIPASCHALIS ET AL, 2009).

2.3 SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA A DIESEL

Grupo Diesel-gerador é um conjunto de motor Diesel e gerador de corrente alternada, convenientemente montado, composto por componentes de supervisão e controle necessários para um funcionamento autônomo e destinado ao suprimento de energia elétrica produzida a partir do consumo de óleo Diesel (PEREIRA, 2011).

Grupo Motor Gerador (GMG) é um equipamento que possui um motor alimentado a Diesel, gasolina ou gás, acoplado a um gerador e montado sobre base metálica, com acionamento manual ou automático. O equipamento combina um motor elétrico que pode ser síncrono ou de indução. De forma alternativa, pode-se utilizar um motor principal de combustão interna, assim como um gerador elétrico de corrente alternada ou corrente contínua, com seus eixos mecanicamente acoplados. O uso de um motor elétrico permite a conversão de tensão ou frequência de uma fonte de energia elétrica disponível em outra frequência ou tensão desejada no lado da carga (EL-HAWARY; ECKELS, 2014).

Esse equipamento pode ser usado como unidade ou em paralelo com outros grupos geradores formando usinas de até 30MVA (PINHO, GALDINO, 2014).

Conjuntos de geradores de motores (MG) são usados para fornecer energia elétrica sob demanda, incluindo backup de energia de emergência ou condicionamento de energia para locais remotos, processamento de dados e instalações médicas, ou qualquer outra aplicação industrial ou comercial de missão crítica que exija uma energia independente ou remota (EL-HAWARY; ECKELS, 2014).

O motor do conjunto é selecionado para funcionar a partir da fonte de alimentação disponível; os geradores são projetados para fornecer a tensão ou frequência de saída desejada.

Microusinas geradoras a Diesel usam combustível Diesel para gerar eletricidade. O combustível Diesel é usado para operar o motor Diesel que converte a energia contida no combustível Diesel em energia mecânica. Dentro do gerador existem bobinas de fio. A energia mecânica força o movimento de cargas elétricas encontradas nessas bobinas de fio. Esse movimento cria eletricidade. Dentro de uma usina a Diesel, o gerador usa energia mecânica para causar o fluxo de elétrons, mas, na verdade, não "cria" a eletricidade. O movimento dos elétrons produz eletricidade (REIS, 2004).

O consumo de combustível de um gerador varia de acordo com a sua potência, quanto maior a potência em kW maior será a necessidade de combustíveis líquidos, conforme representado na tabela 3.

Tabela 3 - Limites de Consumo Específico de Combustíveis por Faixa de Potência e Tecnologia a partir de 1º janeiro de 2014

| Motor a pistão | | | |
|-----------------------|------|----------------------------|------------------|
| Potência (kW) | | Combustível líquido | Heat-rate |
| De | A | (Kg ou L/kWh) | (kJ/kWh) |
| 1 | 100 | 0,404 | 14,404 |
| 101 | 250 | 0,349 | 12,443 |
| 251 | 500 | 0,329 | 11,730 |
| 501 | 750 | 0,296 | 10,553 |
| 751 | 1000 | 0,289 | 10,304 |

Fonte: Adaptado de ANEEL, REN 427, 2011.

O GMG conta, como representado na figura 8, com proteção opcional contra intempéries, possuindo ou não, carenagem silenciada, sendo este, disponível tanto em unidades móveis como estacionárias.

Um GMG a Diesel, por exemplo, é composto de:

- Motor Diesel;

- Base horizontal;
- Radiador;
- Alternador de energia (gerador solteiro);
- Bateria;
- Painel manual de partida com frequencímetro;
- Voltímetro;
- Disjuntor;
- Horímetro;
- Medidor de temperatura;
- Tanque combustível;
- Purificador de ar;
- Cabine sonorizada com espuma antichamas (PINHO, GALDINO, 2014).



Figura 8 – Gerador a Diesel.

Fonte: VONDER, 2018.

A característica principal de um GMG é transformar energia mecânica em energia elétrica, com voltagem estável independente da variação de carga e velocidade. A energia elétrica produzida pelo GMG é controlada por instrumentos de medições e diversas proteções, tais como fusíveis, disjuntores, contadores, chaves e o quadro de comando (HEIMER, 2018).

Podem ser classificados segundo sua aplicação em:

- Emergência: para suprir a falha da rede elétrica local;
- Economia: substituir a rede elétrica local em horários sazonais.

A geração a Diesel é usada para fornecer energia aos clientes em comunidades remotas. Certas casas e empresas possuem pequenos geradores a Diesel como fonte de energia de reserva. Algumas pessoas usam geradores para alimentar suas propriedades que não estão conectadas a um sistema elétrico. A geração a Diesel também é usada como fonte de alimentação de reserva em caso de falta de energia (COELHO *et al*, 2006).

A capacidade de geração de carga de um grupo gerador é determinada pela estimativa de vida útil ou pelos intervalos de tempo entre suas revisões gerais. A vida útil média de um grupo gerador é de 15000h (NOCERA, 2015)

O combustível Diesel é uma fonte não renovável de geração de energia, porque o combustível não pode ser reciclado ou reutilizado, uma vez que é usado para executar um motor dentro de uma usina de geração de Diesel. A queima de combustíveis fósseis, como o Diesel, gera emissões de gases de efeito estufa e outros poluentes atmosféricos (ROSO *et al.*, 2016).

2.3.1 Regime de uso do gerador

Em função dos consumidores de energia elétrica a que se destinam, os grupos geradores são construídos com características especiais que os tornam apropriados para diversas aplicações, desde a aplicação para emergência, como em hospitais e lojas de conveniências, até para geração de energia contínua, quando existe a necessidade de obter energia menos oscilatória (PEREIRA, 2011).

A operação do gerador pode ser classificada em:

- Regime *standyby* – funciona como uma reserva para fonte principal de energia e não é utilizado com frequência. O Fator de utilização desse tipo de gerador é 1,0;
- Regime Prime – o gerador é utilizado como fonte principal de energia, sem limitação na quantidade de horas diárias e com carga variável, tal que a média diária não supere 70% do pico máximo de potência a ser consumido. Fator de utilização 1,1.
- Regime contínuo - o gerador é utilizado como fonte principal de energia, sem limitação na quantidade de horas diárias e com carga constante 24hX24h. Fator de utilização 1,35 (BOYLESTAD, 2012).

2.4 ANÁLISE COMPARATIVA DE CUSTOS

A análise de comparativa de projetos é uma etapa importante para qualquer segmento de mercado. Toda pessoa, empresa ou organização pode avaliar a lucratividade do investimento e a melhor maneira de fazê-lo, verificar o tempo de retorno e outros fatores que colaboram para a concretização ou abandono do investimento. Assim, diminuem-se os riscos ao se analisar diversos cenários futuros que podem influenciar o sucesso do investimento. Este trabalho faz referência à análise comparativa de custos de geração de energia. Seguem os principais conceitos e métodos a serem utilizados.

2.4.1 Custo da Energia

Os custos de geração de energia envolvem um somatório de custos, tais como: de transformação da matéria-prima em produto acabado e despesas financeiras destinadas ao funcionamento dos sistemas de geração de energia. (BERTO, BEULKE, 2013)

Para comparar sistemas de geração diferentes deve-se levar em consideração que, no caso de um gerador a Diesel, se determina quantos kWh podem ser gerados por litro consumido de combustível. Sabendo-se o custo do Diesel, tem-se o valor da energia gerada. No caso da energia solar, o custo do combustível não existe.

Para sistemas fotovoltaicos, as despesas de investimento fazem referência à aquisição dos equipamentos e à contratação do serviço de instalação. Já as despesas de manutenção e operação são extremamente reduzidas, restringindo-se à limpeza periódica (anualmente) da superfície dos painéis e à possível substituição dos componentes como inversor e controlador de carga. Considera-se o período da garantia de desempenho dos painéis, para determinar a vida útil do sistema. Por fim, como taxa de desconto, deve-se considerar o custo de capital do investidor (ASTRA SOLAR).

2.4.2 Taxa Mínima De Atratividade (TMA)

A taxa mínima de atratividade é a taxa correspondente à melhor remuneração que poderia ser obtida com o emprego do capital em um investimento alternativo.

A taxa de juros que representa o mínimo que um investidor se propõe a ganhar ao realizar um investimento, ou o máximo que um tomador de dinheiro se propõe a pagar, quando faz um financiamento (ASSAF NETO, TIBURCIO SILVA, 2002)

Pode ser formada por meio de três componentes básicos:

1. Custo de Oportunidade - remuneração obtida em alternativas que não as analisadas (caderneta de poupança, fundo de investimento, entre outros);
2. Risco do Negócio - o ganho que se deve ter para remunerar uma nova ação (quanto maior o risco, maior a remuneração esperada); e
3. Liquidez, que representa a capacidade ou velocidade com que se pode sair de uma posição no mercado para assumir outra posição (LAPPONI, 2000).

2.4.3 Custos de sistemas de geração de energia

A tabela 4 relata o custo de implantação de usinas geradoras de energia, onde a geração a Diesel tem uma variação de 0,40 a 0,50 US\$/W e a geração fotovoltaica de 5,00 a 10,00 US\$/W.

Tabela 4 – Valores típicos da implantação de usinas geradoras de energia.

| Tipo de geração | Custo de implantação ANEEL(US\$/W) | Custo de implantação CESP/IMT(US\$/W) |
|---------------------------------|---|--|
| Termelétrica a Diesel | 0,40 a 0,50 | 0,35 a 0,50 |
| Termelétrica a Gás | 0,40 a 0,65 | 0,35 a 0,50 |
| Termelétrica a Vapor | 0,80 a 1,00 | - |
| Termelétrica ciclo combinado | 0,80 a 1,00 | - |
| Pequenas centrais hidrelétricas | 1,00 | - |
| Geração eólica | 1,20 a 1,50 | 1,00 |
| Células fotovoltaicas | - | 5,00 a 10,00 |

Fonte: ANEEL SCG, 2006.

A produção mundial de energia gerada pelos sistemas fotovoltaicos alcançou 9,34 GW, em 2010, acima dos 6,85 GW no ano de 2008. A receita global da indústria de células fotovoltaicas atingiu 38 bilhões de dólares também em 2008. A demanda mundial vem dos países europeus com um total de 4,75 GW, o que representa 74% de toda a necessidade mundial. Grande parte desta demanda vem da Alemanha, Itália e a República Tcheca, totalizando juntos 4,07 GW, resultado de um alto investimento para o crescimento e expansão dessa fonte de energia (RAMADHAN; NASEEB 2011).

Um dos fatores de maior relevância e que afeta a demanda pelos sistemas fotovoltaicos costuma ser os custos dos módulos. Estudos mostram que o índice do preço de módulos fotovoltaicos tem diminuído significativamente, afetando o preço/Watt pico, como é feita a medição, representando uma diminuição de quase um dólar passando de US\$5,5, em 2001, para US\$4,1, em 2010, na Europa (IRENA, 2012).

Tendência de queda que se estende também para os EUA, onde os preços médios de instalação na Califórnia giram em torno de US\$ 6,73 / W em 2012, o que inclui o equipamento e os custos de instalação, demonstrando uma queda sistêmica nos custos (LIU et al.2014).

Os avanços tecnológicos na área de semicondutores e o aumento da produção de células solares ajudaram a diminuir o preço de sistemas fotovoltaicos (FVs). Esse fato pode ser observado, uma vez que o valor por watt de energia produzido caiu de US\$ 79,67 para US\$ 0,36 em menos de quarenta anos (DIAMANDIS, 2014).

3 MATERIAL E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do trabalho proposto foi realizado, inicialmente, o dimensionamento da geração de energia a Diesel e, em seguida, o dimensionamento do sistema fotovoltaico, necessários para atender ao consumo de uma pequena residência rural isolada da rede de distribuição de energia elétrica, localizada na cidade de Cascavel (PR), latitude 24 55' 21" S, longitude 53 27'19"W e altitude 781 metros (IPARDES, 2018).

Foi considerado que a residência consome, em média, 300 kWh de energia elétrica por mês, utilizando um sistema de alimentação monofásico, com tensão de 220V entre fase e neutro. A residência possui uma demanda máxima de potência de 8 kW.

Em seguida, foi dimensionado o sistema de armazenamento de energia (baterias eletroquímicas), para suprir as demandas da residência por um período de 3 dias consecutivos, ou seja, os sistemas deverão conseguir armazenar uma energia total de 30 kWh.

A geração de energia foi realizada por um gerador a Diesel e por um sistema fotovoltaico isolado, que irão suprir a mesma carga estabelecida para a propriedade.

Por fim, foi realizada uma avaliação econômica comparativa entre o sistema tradicional de geração de energia a Diesel, e o sistema de geração fotovoltaica acoplado ao sistema de armazenamento, de modo a verificar qual deles apresenta maior viabilidade de implantação.

3.1 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA A DIESEL

A determinação do modelo do gerador foi realizada em função da potência máxima exigida de 8 kW. O grupo motor gerador foi selecionado para trabalhar em um regime Prime de fornecimento de energia, ou seja, é utilizado como fonte principal de energia, sem limitação na quantidade de horas diárias e com carga variável, tal que a média diária da mesma não supere 70% do pico máximo de potência a ser consumido, assumindo um fator de utilização de 1,10.

O custo de instalação do sistema foi considerado como sendo 30% do valor total do investimento com o gerador. O custo do Diesel foi calculado com base no

regime de operação prime, pois considera que o gerador opere 24h, sendo que o consumo foi estipulado pela faixa de potência do conjunto moto gerador.

Da mesma maneira, foi calculada a vida útil do conjunto considerando 24h de operação.

3.2 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

O dimensionamento de sistemas fotovoltaicos submete-se a fatores climatológicos do local em que o estudo foi realizado, no caso em evidência, no Paraná. Conhecer a radiação solar incidente do local ou região é a primeira etapa dentre as fases do dimensionamento fotovoltaico. Para esse dimensionamento, foram utilizados dados de irradiação de pesquisa desenvolvida pela UTFPR (2017) com as médias diárias mensais dos doze meses do ano apresentados na tabela 5

Tabela 5 – Irradiação solar no Estado do Paraná

| IRRADIAÇÃO – PARANÁ | |
|----------------------------|------------------------------|
| Médias diárias mensais | |
| MÊS | kWh/m².dia |
| janeiro | 5,2 |
| fevereiro | 5,3 |
| março | 5,3 |
| abril | 5,0 |
| maio | 4,3 |
| junho | 4,0 |
| julho | 4,2 |
| agosto | 5,1 |
| setembro | 4,7 |
| outubro | 5,0 |
| novembro | 5,3 |
| dezembro | 5,4 |

Fonte: UTFPR, 2017.

Tendo conhecimento dos índices de radiação solar foi realizada a viabilidade técnica e econômica do projeto fotovoltaico, dado que o valor da incidência da radiação solar é diretamente proporcional à potência de geração do painel fotovoltaico.

Como a residência está isolada de rede, a única fonte de energia que irá suprir suas cargas é a dos painéis fotovoltaicos.

O sistema fotovoltaico *off grid* foi projetado para satisfazer as demandas totais da edificação isolada, incluindo dias com baixos índices de radiação solar e alta nebulosidade. Nessa situação, o sistema fotovoltaico deve fazer uso de sistemas de armazenamento.

A inclinação ideal dos módulos fotovoltaicos pode ser determinada em função da latitude do local do projeto, sendo que a configuração do sistema fotovoltaico *Off grid* interfere no método de cálculo de inclinação.

Para sistemas *Off grid*, a inclinação do painel foi calculada utilizando a Equação 1 (BLUESOL, 2016).

$$\beta = \phi + \phi/4 \quad (1)$$

Onde:

β : inclinação do painel em relação ao plano horizontal;
 Φ : Latitude de Cascavel (graus).

Para a estimativa da produção de energia elétrica, foi considerada a energia total elétrica convertida em intervalos horários (CEPEL – CRESESB, 2014).

Em razão da considerável linearidade entre a produção de energia e a irradiação horária, foi utilizada uma forma bastante conveniente de se expressar o valor acumulado de energia solar ao longo de um dia: o número de Horas de Sol Pleno (HSP), conforme Equação 2.

$$HSP = \frac{R_A}{1(kW/m^2)} \quad (2)$$

Onde:

HSP = horas de pleno sol (h/dia);
 RA= média de radiação solar (kWh/m² dia).

Obtém-se, assim, o número de horas em que a radiação solar deve permanecer constante e igual a 1kW/m², de forma que a energia resultante seja condizente com a energia disponibilizada pelo Sol no local da edificação acumulada ao longo de um dia.

O dimensionamento de sistemas *Off grid* foi realizado pelo método do mês crítico, considerando que, a partir do balanço de energia anual, o mês crítico é aquele que registra as condições médias mais desfavoráveis para o sistema. Ou

seja, com menor radiação solar e maior utilização das cargas (CRESESB-CEPEL, 2014).

Supõe-se que se o sistema funcionar adequadamente no mês selecionado como o mais crítico, isso ocorrerá também nos demais meses do ano. Assim sendo, o sistema produzirá mais energia que o necessário nos outros meses, nos quais as condições médias foram mais favoráveis.

Após definida a lista de equipamentos que farão parte da edificação, foi calculado o consumo que o sistema fotovoltaico precisará atender. O inversor deve apresentar a tensão de entrada igual à tensão do sistema e a tensão c.a. de saída, conforme a necessidade das cargas a serem atendidas, normalmente 127 ou 220 V, 60 Hz. Deve definir também a tensão de trabalho do sistema, podendo ser de 12, 24, 36 ou 48 volts (CRESESB, 2014).

A partir do valor médio diário de energia requerida para cada um dos meses do ano. O cálculo da potência necessária para o painel fotovoltaico foi obtido pela da Equação 3.

$$P_m = \frac{L}{(HSP \cdot Red_1 \cdot Red_2)} \quad (3)$$

Onde:

P_m = potência do painel fotovoltaico (Wp);

L: quantidade de energia consumida diariamente no mês (Wh/dia);

HSP: horas de sol pleno no plano do painel fotovoltaico do mês (h/dia).

Red1(%): fator de redução (*derating*) da potência dos módulos fotovoltaicos, em relação ao seu valor nominal, englobando os efeitos de:

- I. Um eventual acúmulo de sujeira na superfície ao longo do tempo de uso;
- II. Degradação física permanente ao longo do tempo;
- III. Tolerância de fabricação para menos, em relação ao valor nominal;
- IV. Perdas devido à temperatura.

A este fator Red1 atribui-se, por *default*, o valor de 0,75 (decimal), para módulos fotovoltaicos de c-Si;

Red2(%): fator de *derating* da potência devido às perdas no sistema, incluindo fiação, controlador, diodos etc. A este valor é recomendado, como *default*, o valor de 0,9 (decimal).

Já definida a tensão no início do dimensionamento, segue-se com o cálculo do número de módulos em série necessários para atender a tensão do sistema. A determinação do número de módulos em série (Equação 4), deve considerar, além da tensão do sistema (V_{sist}), a tensão de máxima potência quando estiverem operando na temperatura mais elevada prevista para o local do projeto ($V_{mpTmáx}$) (CRESESB, 2014).

$$N^{\circ} \text{ de módulos em série} = \frac{1,2 \cdot V_{sist}}{V_{mpTmáx}} \quad (4)$$

Onde:

N° módulos em série: Número de módulos fotovoltaicos em série;

V_{sist} : Tensão do sistema de armazenamento (V);

$V_{mpTmáx}$: Tensão de máxima potência para a maior temperatura prevista para o local ou região onde os módulos vão ser instalados (V).

A tensão de máxima potência para a maior (ou menor) temperatura prevista é calculada pela Equação 5.

$$V_{mpTmáx} \text{ ou } V_{mpTmín} = V_{mp} \cdot [1 + \beta \cdot (T - 25)] \quad (5)$$

Onde:

V_{mp} : tensão de máxima potência do módulo fotovoltaico (V);

T (°C): máxima ou mínima temperatura de trabalho prevista para o módulo fotovoltaico (°C);

β : coeficiente que relaciona a variação da tensão produzida em relação à temperatura do painel. O valor de Beta é diferente para cada modelo de módulo (decimal).

A partir da potência dos painéis (P_m) calculada pela Equação 6, obtém-se, a seguir, por meio da Equação 6, a corrente que deve ser gerada pelo painel fotovoltaico.

$$I_m = \frac{P_m}{V_{sist}} \quad (6)$$

Onde:

I_m : corrente do painel fotovoltaico, A;

P_m : potência do painel fotovoltaico (W_p);

Pode-se, então, calcular o número de módulos a serem conectados em paralelo pela Equação 7:

$$N^{\circ} \text{ de módulos em paralelo} = \frac{I_m}{(I_{sc} \cdot 1,25)} \quad (7)$$

Onde:

N° Módulos em paralelo: número de módulos em paralelo para atender o sistema de armazenamento;

I_m : corrente do painel fotovoltaico (A);

I_{sc} : corrente de curto-circuito do módulo fotovoltaico (A).

É considerada a corrente de curto-circuito do módulo fotovoltaico acrescida de um fator mínimo de segurança de 25%, assumindo que o módulo pode receber uma radiação de até 1.250 W/m² (ainda que por curtos períodos).

3.3 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA POR BATERIAS ELETROQUÍMICAS

O valor da eficiência e a profundidade de descarga da bateria foram retiradas do catálogo da marca selecionada. Já a autonomia do sistema foi considerada como sendo de três dias.

Com os dados de consumo estabelecidos, é possível definir o consumo em Wh/dia da edificação pela Equação 8 (CRESESB, 2014):

$$L = \left(\frac{L_{ca}}{\eta_{bat} \cdot \eta_{inv}} \right) \quad (8)$$

Onde:

L= energia necessária diária (Wh/dia);

L_{ca} : quantidade de energia consumida diariamente em CA no mesmo mês (Wh/dia);

η_{bat} : eficiência global da bateria (decimal);

η_{inv} : eficiência do inversor (decimal).

Para calcular a capacidade das baterias, foram utilizadas as Equações 9 e 10 descritas abaixo:

$$CB_{c20}(Wh) = \frac{L.N}{P_d} \quad (9)$$

$$CBI_{c20}(Ah) = \frac{CB_{c20}}{V_{sist}} \quad (10)$$

Onde:

CB20 = capacidade do banco de baterias para o regime de descarga de 20 horas (Wh);

CBI_{c20}=capacidade do banco de baterias (Ah);

N= número de dias de autonomia,

P_d= máxima profundidade de descarga da bateria (decimal);

V_{sist} = tensão nominal da bateria (V).

Realizado o cálculo da capacidade de armazenamento do sistema, determina-se o número de baterias em paralelo pela Equação 11.

$$\text{n}^\circ \text{de baterias em paralelo} = \frac{CBI_{c20}}{CBI_{BAT}} \quad (11)$$

Onde:

CBI_{BAT}: capacidade da bateria selecionada, em Ah.

Já a quantidade de baterias conectadas em série irá depender da tensão nominal do sistema, obtida por meio da Equação 12.

$$\text{n}^\circ \text{de baterias em série} = \frac{V_{sist}}{V_{bat}} \quad (12)$$

3.4 ANÁLISE DE CUSTO

Para desenvolver a análise de custos, realizou-se uma estimativa dos custos envolvidos como despesas de manutenção e investimentos de cada um dos

sistemas de geração, gerando uma planilha com os desembolsos do sistema ao longo de sua vida útil.

Em seguida, foram calculados os custos anualizados desses sistemas, utilizando uma TMA de 6% a.a. Os valores foram divididos pela energia gerada ao longo do ano de modo a obter, para cada um dos sistemas, o custo unitário de geração (R\$/kWh). Posteriormente, os custos foram comparados entre si para a avaliação da viabilidade econômica dos sistemas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, estão apresentados o dimensionamento dos sistemas de geração, bem como os custos envolvidos na implantação, operação e manutenção de cada um deles. Os custos foram obtidos a partir de consultas realizadas na internet, empresas físicas e representantes de fornecedores.

4.1 SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA A DIESEL

4.1.1 Dimensionamento de potência

A demanda máxima de potência que deverá ser atendida na residência é de 8 kW e, a partir dela, foi realizado o dimensionamento do gerador.

Assumindo um fator de potência igual a 0,8, temos uma potência aparente de 10 kVA ($8 \text{ kW} / 0,8$).

4.1.2 Custo de aquisição e instalação do grupo gerador

A partir da potência máxima demandada na residência, foi selecionado no mercado um gerador a Diesel 4T 794CC 10KVA MONOFÁSICO 110/220V-TOYAMA-TDWG12000E-N no valor de R\$ 13.489,90. As especificações técnicas do gerador estão apresentadas no ANEXO I.

4.1.3 Custo do Diesel

O custo do Diesel foi levantado por meio de uma pesquisa realizada em postos de combustíveis na cidade de Cascavel, com o intuito de obter um preço médio. Foram pesquisados os preços praticados por 4 postos de combustíveis com diferentes bandeiras, em 07/12/2018 chegando a um valor de R\$ 3,35 o litro.

Assumiu-se para o estudo que o Diesel seria adquirido diretamente pelo dono da residência rural, em um posto localizado a 100 km de distância da propriedade, em galões plásticos de 25L. O automóvel utilizado seria uma camionete a Diesel que possui um consumo médio de 10 km/L.

Para determinar o consumo do gerador, foram utilizados os dados fornecidos pela ANEEL sobre o consumo em litros por kWh. Para um gerador com uma potência de 10 kVA, há um consumo de 0,404 litros de Diesel por kWh de funcionamento. Para o cálculo da quantidade de Diesel consumida no mês multiplicou-se o consumo mensal de energia de 300kWh por 0,404, obtendo-se, assim, uma necessidade de 121,2L/mês de Diesel, chegando a um valor anual de 1454,4 L/ano.

Com o uso da camionete própria, considerando que uma viagem por mês seria suficiente para comprar a quantidade necessária de Diesel para o gerador, o consumo de combustível para transporte seria de 20 litros por mês.

Somando-se os custos de combustível para o gerador e transporte, obteve-se um custo anual total de R\$ 5.676,24.

4.1.4 Custos com manutenção

Os custos de manutenção do gerador giram em torno de R\$ 0,25 por kWh (RIBEIRO; CRUZ, 2017), custo este também constatado pelo estudo do Programa Nacional de Irrigação, ao estimar que os custos com manutenção correspondem aproximadamente 6% do custo do investimento com o motor a Diesel (PRONI, 1987).

Sendo assim, os custos de manutenção do gerador foram determinados como sendo de R\$ 0,25 por kWh, obtendo-se um total de R\$ 75,00 ao mês e R\$ 900,00 ao ano.

4.1.5 Vida útil

A vida útil do grupo moto gerador a Diesel pode ser considerada de 15.000h (NOCERA *et al*, 2015), 30.000h (CARTAXO e JANNUZZI, 2006) e 20.000h

(LAMBERT, 2004). A vida útil varia muito em razão da forma que é utilizado o grupo moto gerador, sua manutenção e horas trabalhadas.

Sabendo-se que no “regime prime” o gerador pode operar 24 horas com uma potência média diária não superior a 70% da demanda máxima de potência, pode-se estimar, proporcionalmente, a quantidade de horas diárias de funcionamento equivalente. Assim, o consumo médio diário, para um período de 24 horas, não deve ultrapassar 134,4 kWh/dia [(70% de 8kW) x 24 horas/dia]. Como a energia efetivamente consumida é de 10 kWh/dia, a partir de uma regra de três simples, pode-se obter a quantidade de horas de funcionamento equivalente, que é igual a 1,8 horas/dia (134,4 Wh está para 24 horas/dia, assim como 10 kWh está para 1,8 horas/dia). Como a vida útil do equipamento está estimada em 20.000 horas, tem-se uma vida útil anual de aproximadamente 30 anos [20.000 horas / 1,8 horas/dia) / 365 dias/ano].

4.2 SISTEMA FOTOVOLTAICO

Segundo tabela 6, a radiação solar média diária no estado do Paraná, no mês mais crítico do ano (junho), é de 4kWh/m²/dia. A inclinação ideal dos módulos fotovoltaicos pode ser obtida a partir da Equação 1, resultando em 30°:

O número de horas de pleno sol, obtido pela Equação 2, é de 4 horas/dia, e a potência necessária para o painel fotovoltaico é de 3,703 kWp, obtida por meio da Equação 3, sendo L=10kWh, HSP= h/dia, RED₁=0,75 e RED₂=0,9.

Os painéis selecionados foram os da marca Canadian, segundo a Figura 9, com uma potência nominal de 335 Wp de cada painel, assim como características elétricas para composição do sistema estão descritas na Tabela 6 e informações complementares sobre os painéis estão no ANEXO II.

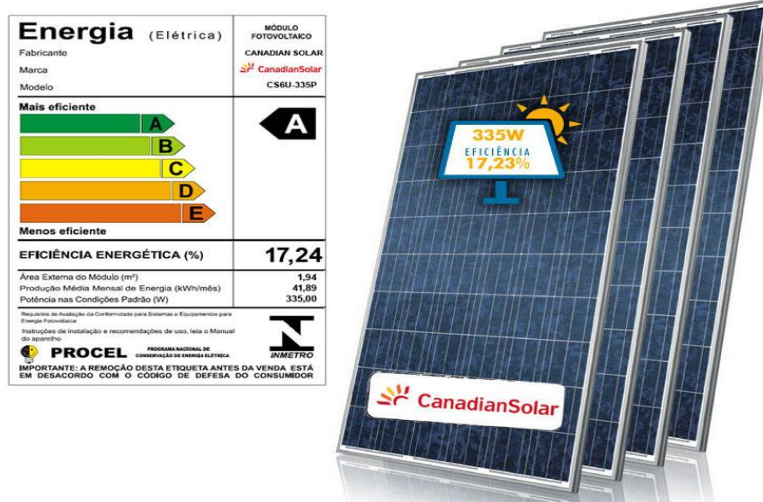


Figura 9 – Placa solar CANADIAN.

Fonte: Canadian Solar, 2017.

Tabela 6 – Características elétricas dos painéis fotovoltaicos

| | |
|--|-------------------|
| Potência máxima (P_m) | 335W |
| Tensão de potência máxima (V_{mp}) | 37,4V |
| Corrente de potência máxima (I_{mp}) | 8,96 ^a |
| Tensão de circuito aberto (V_{oc}) | 45,8V |
| Corrente de curto circuito (I_{sc}) | 9,54 ^a |
| Eficiência do módulo | 17,23% |

Fonte: adaptado de Canadian Solar, 2017.

Para se chegar ao número de módulos a serem instalados em paralelo, obteve-se primeiro a tensão de máxima potência pela da Equação 5, de 35,66V onde o $V_{mp}= 37,4V$, $\beta=-0,31\%/^{\circ}C$ e $T=40^{\circ}C$. Agora, pela da Equação 4, calculou-se o número de módulos a serem instalados em série, que será de aproximadamente 2 módulos, onde $V_{sist}=48V$, $V_{mptm\acute{a}x}=35,66V$.

A corrente a ser gerada pelo painel será de 77,15A, obtida pela da Equação 6, sendo $P_m=3,703$ kWp e $V_{sist}=48V$.

Conhecendo a corrente do sistema foram calculados quantos módulos serão conectados em paralelo, pela Equação 7, sendo $I_m=77,15A$ e $I_{sc}=9,54A$, chegando a um valor aproximado de 7 módulos em paralelo.

Por fim, a quantidade suficiente para suprir o projeto será de 14 módulos, dispostos conforme representado na figura 10 (2 em série e 7 em paralelo) a um custo unitário de R\$ 849,00, totalizando R\$ 11.886,00.

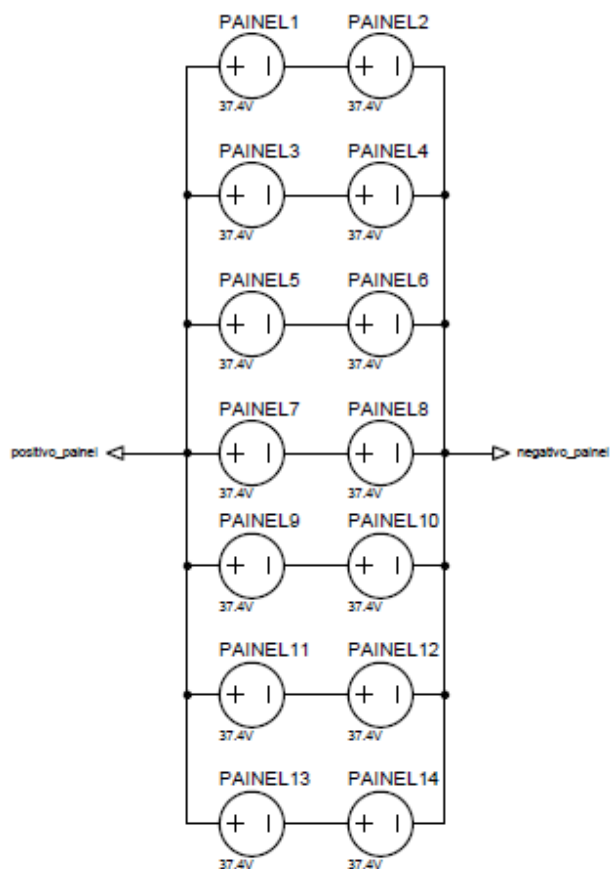


Figura 10 – Representação da disposição dos painéis fotovoltaicos

Foi instalada uma caixa de proteção na saída dos painéis fotovoltaicos, em que se encontram dispostos os disjuntores de cada conjunto de painéis, com o intuito de proteger as séries fotovoltaicas contra possíveis danos ocasionados por curto-circuito e/ou sobrecarga elétrica no sistema.

4.2.1 Inversores

A partir dos cálculos das placas e da necessidade de potência da residência, o inversor selecionado foi o inversor solar *off grid* VICTRON de 10.000VA 48V/230 V de onda senoidal pura + carregador, conforme representado na figura 11.



Figura 11 – Inversor Solar Off Grid Victron.

Fonte: Aldo solar

A seleção foi feita de modo a atender à potência de pico calculada no valor de 3703 W. O inversor selecionado apresenta como potência de saída 8kW, atendendo às exigências do projeto.

4.2.2 Controlador de carga

O controlador de carga foi selecionado com relação aos limites máximos de tensão do sistema e dos níveis de corrente elétrica, em conformidade com a entrada no painel fotovoltaico e também a saída para as baterias. A fim de proteger o circuito contra surtos de tensão e/ou corrente, utiliza-se o controlador de carga, sabendo que a corrente de carga máxima é de 77,15 A.

Para contemplar tal necessidade, foi selecionado o controlador carga bateria solar VICTRON SCC010070300 BLUESOLAR MPPT 150 V 70A 12/24/48 V MC4

SMART ENERGY, Figura 12, com um valor de R\$ 3729,00 a unidade. Demais características técnicas são descritas no ANEXO IV.



Figura 12 – Controlador de Carga VICTRON.

Fonte: Manual Victron MPPT 150 – 250 –PTBR_v2.

Para suprir a necessidade do banco de baterias, então, foi necessária a utilização de 4 inversores, um para cada conjunto de 16 baterias.

A vida útil dos equipamentos listados para o sistema é dada pelos fabricantes nos seus manuais. Para os módulos fotovoltaicos são 25 anos, o inversor e o controlador de carga 10 anos. Foi considerado para a instalação o custo de dispositivos de segurança, suporte, fiação, conectores e demais insumos, bem como mão de obra a um custo de R\$ 7.100,00 (PORTAL SOLAR. 2018).

4.3 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA POR BATERIAS ELETROQUÍMICAS

Foram selecionadas no mercado as baterias de chumbo-ácido estacionárias, com capacidade de 220 Ah e uma tensão de 12 V, representada na figura 13. Para o cálculo do número de baterias foi levando em consideração a descarga de 20% (ANEXO V).



Figura 13 – Bateria Estacionária Heliar Freedom

Fonte: Catálogo Técnico bateria estacionária Freedom

Com os dados de consumo estabelecidos, foi possível definir o consumo em Wh/dia da edificação que ficou em 10 kWh/dia. Como a autonomia do sistema será de 3 dias, serão necessárias baterias para suprir 30 kWh de armazenamento.

A quantidade de energia foi de 11,57kWh determinada pela da Equação 8, sendo $L_{ca}=10\text{kWh}$ a eficiência da bateria (90%) e eficiência do inversor (96%). Eficiências retiradas do catálogo descrito no ANEXO III E V.

A energia a ser armazenada pelas baterias para um regime de descarga de 20h, como ANEXO V será de 173,6 kWh, sendo $L = 11,57 \text{ kWh}$, $N = 3 \text{ dias}$ $P_d=20\%$; por meio da Equação 9.

A capacidade do banco de baterias foi estimada em 3.616,67 Ah, pela da Equação 10, sendo $CB_{C20}=173,6 \text{ kWh}$ e $V_{\text{sist}}=48\text{V}$.

O número de baterias dispostos em paralelo foi de 16 unidades, onde $CB_{I_{C20}}=3.616,67 \text{ Ah}$ e a carga da bateria selecionada é de 220 Ah, regime de 20h segundo especificações elétricas, pela da Equação 11.

Pela Equação 12 calculou-se o número de baterias dispostas em série resultando em 4 baterias, onde $V_{\text{sit}}= 48\text{V}$ e o da $V_{\text{bat}}= 12\text{V}$.

Fazendo uma análise qualitativa do sistema com relação ao inversor e aos controladores de carga, bem como a corrente e tensão do sistema, chegou-se à formatação do banco de baterias, conforme figura 14.

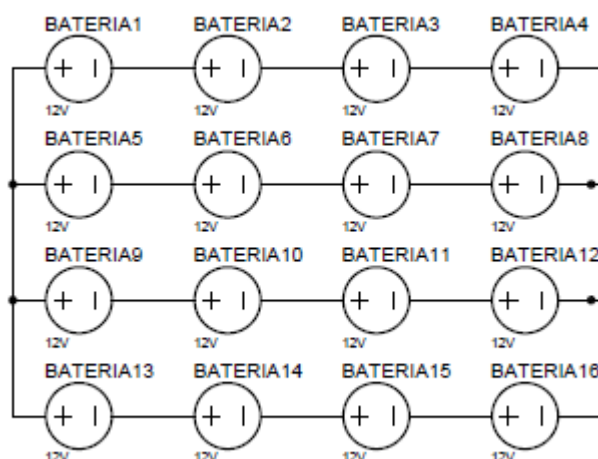


Figura 14 – Representação da composição de cada bloco do banco de baterias.

Pelos cálculos realizados, serão utilizadas 16 baterias em paralelo e 4 em série. Nessa configuração, a corrente elétrica do sistema poderá ser bastante alta em alguns momentos, acarretando elevadas perdas devido ao aquecimento dos condutores. Para evitar essa situação, optou-se por instalar 4 conjuntos independentes de bancos de baterias, sendo que cada conjunto possuirá 16 baterias, isto é, 4 em série e 4 em paralelo.

4.4 ANÁLISE DOS CUSTOS

A fim de comparar o custo do kWh pelos métodos de geração a Diesel e fotovoltaica, foram elencados os custos de cada sistema conforme tabela 7.

Tabela 7 – Descrição dos custos envolvidos na Geração a Diesel

| | |
|--|-------------------------------------|
| Custos de investimento (aquisição + instalação) | R\$ 13.489,90 + 30% = R\$ 17.536,87 |
| Custos de operação anual | R\$ 5.676,24 |
| Custos de manutenção anual | R\$ 900,00 |
| Vida útil em anos | 30 |

Para o sistema de geração a Diesel, foi estimado um custo de instalação de 30% dos custos de aquisição do equipamento.

Já para o sistema de geração a partir dos módulos fotovoltaicos, foi considerado um custo de R\$ 7.100,00, valor levantado em uma pesquisa realizada em novembro de 2018 pelo Portal Solar com mais de 600 profissionais do setor e demais custos estão listados na tabela 8.

Tabela 8 – Descrição dos custos envolvidos na Geração Fotovoltaica.

| Quantidade | Descrição do produto | Vida útil (anos) | Valor (R\$) Unitário | Valor (R\$) Total |
|------------|--|------------------|----------------------|-------------------|
| 14 | Módulo fotovoltaico 335W | 25 | 849,00 | 11.886,00. |
| 1 | Inversor 10.000VA 48V/230V senoidal pura+carregador | 10 | 30.029,00 | 30.029,00 |
| 4 | Controlador de carga | 10 | 3.729,00 | 14916,00 |
| 1 | Suportes, fiação, dispositivos de segurança e instalação do sistema. | 25 | 7.100,00 | 7.100,00 |
| 64 | Baterias de chumbo-ácido estacionárias | 4 | 1499,00 | 89.940,00 |

O projeto considerou uma residência com consumo de 300 kWh/mês, totalizando 3600 kWh/mês.

As tabelas 09 e 10 apresentam, respectivamente, os custos dos sistemas de geração a Diesel e fotovoltaico, ao longo de suas vidas úteis.

Tabela 9 – Investimentos e custos operacionais do sistema de Geração a Diesel

| Períodos | Valor | Períodos | Valor | Períodos | Valor |
|----------|-----------|----------|----------|----------|----------|
| 0 | 14.164,40 | 13 | 6.576,24 | 26 | 6.576,24 |
| 1 | 6.576,24 | 14 | 6.576,24 | 27 | 6.576,24 |
| 2 | 6.576,24 | 15 | 6.576,24 | 28 | 6.576,24 |
| 3 | 6.576,24 | 16 | 6.576,24 | 29 | 6.576,24 |
| 4 | 6.576,24 | 17 | 6.576,24 | 30 | 6.576,24 |
| 5 | 6.576,24 | 18 | 6.576,24 | | |
| 6 | 6.576,24 | 19 | 6.576,24 | | |
| 7 | 6.576,24 | 20 | 6.576,24 | | |
| 8 | 6.576,24 | 21 | 6.576,24 | | |
| 9 | 6.576,24 | 22 | 6.576,24 | | |
| 10 | 6.576,24 | 23 | 6.576,24 | | |
| 11 | 6.576,24 | 24 | 6.576,24 | | |
| 12 | 6.576,24 | 25 | 6.576,24 | | |

Tabela 10 - Investimentos e custos operacionais do sistema de Geração Fotovoltaica

| Períodos | Valor | Períodos | Valor |
|----------|------------|----------|------------|
| 0 | 153.871,00 | 13 | |
| 1 | | 14 | |
| 2 | | 15 | |
| 3 | | 16 | 89.940,00 |
| 4 | 89.940,00 | 17 | |
| 5 | | 18 | |
| 6 | | 19 | |
| 7 | | 20 | 134.885,00 |
| 8 | 89.940,00 | 21 | |
| 9 | | 22 | |
| 10 | 44.945,00 | 23 | |
| 11 | | 24 | 89.940,00 |
| 12 | 89.940,00 | 25 | |

Para obter os custos unitários dos sistemas, todos os custos foram anualizados e divididos pelo consumo anual de energia (3600 kWh/ano). Para a geração a Diesel, o custo unitário foi de R\$ 2,18/ kWh, e para a geração fotovoltaica, foi de R\$ 9,8/ kWh.

Se a rede de energia chegasse ao local do projeto, a tarifa da Copel seria de 0,53827 R\$/kWh pela resolução da ANEEL N°2.402 em vigência desde 24/06/2018.

Os dois sistemas preenchem a necessidade do agricultor no sentido de ficar disponíveis e o acesso aos equipamentos ao alcance do agricultor, mas financeiramente o sistema a Diesel ainda é o mais econômico, tanto na aquisição dos equipamentos quanto na operação anual.

Quanto aos custos do kWh gerado, observa-se no mercado que, de 2005 para os dias atuais, aconteceram mudanças significativas no valor do kWh gerado pelo sistema fotovoltaico. Em 2006, o custo de geração estava em torno de R\$30,50 / kWh (SHAYANI et al 2006); em 2017, para o Nigerian Economic Summit Group, o custo chegou a US\$ 0,30 / kWh ou R\$1,16 / kWh; em 2018, esse custo chegou a US\$ 0,1 /kWh ou R\$ 0,39 / kWh (LORENZO, 2018). Sendo assim, evidencia-se que, com a popularização da tecnologia empregada nos sistemas, os equipamentos estão sendo barateados.

O mesmo ocorre com o sistema a Diesel que, em um estudo realizado no Brasil, chegou a R\$3,25 / kWh (RODRIGUES e VALE, 2017) e atingiu a marca de US\$ 0,3 /kWh e R\$1,16 / kWh em Madrid (LORENZO, 2018).

5 CONCLUSÕES

Foi dimensionado um sistema de geração a Diesel e um sistema fotovoltaico para atender uma mesma residência rural de pequeno porte, com o sistema de armazenamento de energia a ser acoplado ao sistema de geração fotovoltaica.

Foi feito o levantamento dos custos de aquisição, instalação, manutenção e operação de cada sistema de geração e armazenamento de energia, bem como a avaliação comparativa entre os custos dos sistemas estudados.

Para a geração de energia, foram comparadas a geração a Diesel e a geração fotovoltaica. Foi observado que o custo unitário da geração a Diesel foi de R\$ 2,18 por kWh e para o sistema de geração fotovoltaico foi de R\$ 9,80 por kWh.

Pode-se concluir que o custo do gerador a Diesel é mais viável para o produtor rural, no que tange aos custos de geração e operação do sistema.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A geração de energia por meio do sistema fotovoltaico pode ser combinada a outro gerador de energia elétrica como, por exemplo, um gerador Diesel, eólico, biogás etc., formando, assim, um sistema de geração híbrido.

Outra sugestão para trabalhos futuros poderia ser realizada pela comparação dos resultados obtidos neste trabalho com outra forma de geração e armazenamento de energia como, por exemplo, o armazenamento por ar comprimido, armazenamento por energia potencial da água etc.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAUJO, K. D. **Variabilidade temporal das condições climáticas sobre as perdas de CO₂ na encosta do açude Namorados, em São João do Cariri-PB.** 101f. 2005 Dissertação (Mestrado em Manejo e Conservação do Solo e Água) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia.
- ASSAF NETO, A.; TIBÚRCIO SILVA, C. A.. **Administração do Capital de Giro.** 3. ed. Atlas, 2002.
- BANG H., et al. Consumer concern, knowledge, belief, and attitude toward renewable energy: an application of the reasoned action theory. **Psychology & Marketing.** v. 17, p.449– 468, 2000.
- BIG – Banco de Informações de Geração – ANEEL. **Potência fiscalizada.** Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em: jul. 2018.
- BLUESOL, ENERGIA SOLAR. **Livro digital de introdução aos sistemas solares.** 2016. Disponível em: <www.blue-sol.com.br>. Acesso em: jul. 2018.
- BLUESOL. **Sistema Fotovoltaico Off-Grid (Isolado): Você acha que sabe tudo?** 2016. Disponível em: <<http://blog.bluesol.com.br/sistema-fotovoltaico-off-grid-isolado-voce-acha-que-sabe-tudo>>. Acesso em: jul. 2018.
- BOCZKO, R. **Introdução à astronomia e astrofísica.** V 1; 1978.
- BOYLESTAD, R. L. **Introdução à análise de circuitos.** 12. ed. Rio de Janeiro: Prentice Hall, 2012.
- BRASIL, N.I. **Introdução à engenharia química.** 3. ed. Rio de Janeiro: Saraiva, 2013.
- BRASIL. ANEEL. **Resolução Normativa nº 414 de 9 de setembro de 2010.** Estabelece as condições gerais de fornecimento de energia elétrica de forma atualizada e consolidada. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/documents/656877/bren2010414.pdf>>. Acesso em: dez. 2018.
- BRAZILIAN, Morgan et al. Re-considering the economics of photovoltaic power. **Renewable Energy,** Amsterdã, v. 53, n. 1, p.329-338, maio 2013.
- BUENO A.F.M., BRANDÃO C.A.L. **Visão geral de tecnologia e mercado para os sistemas de armazenamento de energia elétrica no Brasil.** ABAQUE, 2015.
- CANADIAN SOLAR, **Especificações técnicas,** 2017. Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/loja/fileuploader/download/download/?d=1&file=custo m%2Fupload%2FFile-1515782035.pdf>>Acesso em: out. 2018.
- CARTAXO, E., G. M. JANNUZZI, **Fornecimento de energia elétrica para comunidades isoladas da Amazônia:** um estudo de caso. 2006.

CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. **Casa solar**, 2013.

COELHO, S. T. et al. A conversão da fonte renovável biogás em energia. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO (CBPE)**, 5, 2006, Brasília. Anais... Brasília: V CBPE, 2006.

CREESB. **Tutorial de energia fotovoltaica**, 2006. Disponível em: <<http://creesb.cepel.br/download/casasolar/casasolar2013.pdf>>. Acesso em: jul. 2018.

DAN-SCIENTIA. **Particularidades dos movimentos da Terra e da Lua**. Disponível em: <<http://dan-scientia.blogspot.com/2010/07/particularidades-dos-movimentos-da.html>>. Acesso em: jul. 2018.

DIAMANDIS, P. **Solar energy revolution: a massive opportunity**. New York: Forbes, Sept. 2014. Disponível em: <<https://www.forbes.com/sites/peterdiamandis/2014/09/02/solar-energy-revolution-a-massive-opportunity/#56994e866c90>>. Acesso em: fev. 2019.

DINCER, I. Evaluation and selection of energy storage systems for solar thermal applications. **Int. J. Energy Res.**, v. 23, p.1017-1028, 1999.

EAI. **Latest news for energy efficiency, solar, wind, biomass power, biofuels, waste to energy**. Disponível em: <<http://www.eai.in/ref/ct/ees/ees.html>>. Acesso em: jul. 2018.

EL-HAWARY, M.; ECKELS, A.R., **Motor-Generator Set**, AccessScience (McGraw-Hill Education, 2014). Disponível em: <<https://doi.org/10.1036/1097-8542.436110>>. Acesso em: out. 2018.

FREEDOM. **Catálogo técnico bateria estacionária Freedom**. Disponível em: <www.logik.com.br/download/ManualTecnicoBateriasFreedom.pdf>. Acesso em: dez. 2018.

HÄBERLIN H. **Photovoltaics system design and practice**. Chichester: John Wiley & Sons Ltd; 2012.

HADJIPASCHALIS, I., POULLIKKAS, A., EFTHIMIOU, V. Overview of current and future energy storage technologies for electric power applications. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 13, n. 6, p. 1513-1522, 2009.

HEIMER. **Catálogo grupo gerador**. Disponível em: <http://heimer.com.br/v4/br/assets/catalogo_2015_v.1.0.pdf>. Acesso em: Out. 2018.

IBRAHIMA, H., ILINCA, A.; PERRON, J. Energy storage systems – Characteristics and comparisons. **Renewable and sustainable Energy Reviews**. v. 12. p.1221-1250, 2008.

IDEC. **Energia**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/sedr_proecotur/_publicacao/140_publicacao09062009030954.pdf>. Acesso em: jul. 2018.

IEA - International Energy Agency. **Photovoltaic Power Systems Programme - International statistics - System prices - Trends in photovoltaic applications**. Disponível em: <<http://www.iea-pvps.org>>. Acesso em: Fev., 2018.

IMHOFF, J. **Desenvolvimento de conversores estáticos para sistemas fotovoltaicos autônomos**. 146 f. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

IPARDES- Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. **Caderno de estatística - município de Cascavel**, setembro de 2018.

IRENA. **Renewable energy technologies: cost analysis series**. 2012. Disponível em:<https://www.irena.org/documentdownloads/publications/re_technologies_cost_analysis-solar_pv.pdf>. Acesso em: mar. 2019.

JACOBSON, M. Z. Review of solutions to global warming, air pollution, and energy security. **Energy & Environmental Science**. v.2, p. 148-173, 2009.

JACOBSON, M. Z.; DELUCCHI M. A. Providing all global energy with wind, water, and solar power, Part I: Technologies, energy resources, quantities and areas of infrastructure, and materials. **Energy Policy**. v. 39, p.1154–1169, 2011.

LAPPONI, J. C. **Projetos de investimento, construção e avaliação do fluxo de caixa: modelos em Excel**. São Paulo: Laponni Treinamento e Editora, 2000.

LIU, X. et al. Purchasing vs. leasing: A benefit-cost analysis of residential solar PV panel use in California. **Renewable Energy**, V. 66, p.770- 774, 2014.

LORENZO E. **Estado actual y perspectivas de la tecnología fotovoltaica**. Instituto de Energia Solar Universidade Politécnica de Madrid. Disponível em: <<https://www.ufrgs.br/cbens2018/wp-content/uploads/2018/05/Eduardo-Lorenzo-19.04.pdf>>. Acesso em: 10 fev. 2019.

MACAGNAM, M. **Introdução à radiação solar**. Universidade do Vale do Rio dos Sinos Unisinos. Programa de Pós-Graduação em Engenharia São Leopoldo, 2010.

MARKVART, T.; CASTAÑER, L. **Practical handbook of photovoltaics: Fundamentals and Applications**. Londres: Elsevier, 2003.

MESSENGER R. A., VENTRE J. **Photovoltaic systems engineering**. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2003.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2001.

MUNASINGHE M. Rural electrification in the third world. **Power engineering**

NASA. **How do photovoltaics work**. Science/Science News, 2002. Disponível em: <<http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2002/solarcells/>>. Acesso em: jun. 21018.

NIGERIA ECONOMIC GROUP. **Report of the nd 22 Nigerian Economic Summit**. Disponível < <https://nesgroup.org/events/>>. Acesso em: fev. 2019.

NOCERA A.D., GOMES G., PEREIRA V.C. **Análise da viabilidade técnica e financeira da implantação do gerador a Diesel no horário de ponta em um hospital de Curitiba**. 104f. 2015. Monografia (Graduação e, Engenharia Industrial Elétrica/Automação), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

PACHECO, F. **Energias renováveis: breves conceitos**. Salvador: Conjuntura Econômica, n. 149, 2006.

PALZ, W. **Energia solar e fontes alternativas**. São Paulo: Hemus, 2002.

PEDROSA, P. G. B. de M. **Desafios da regulação do setor elétrico, modicidade tarifária e atração de investimentos**. Brasília: ANEEL, 2005.

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

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. CEPEL – CRESESB. Março de 2014.

PORTAL SOLAR, 2018. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/passos-a-passos-da-fabricacao-do-painel-solar.html>>. Acesso em: jul. 2018.

PROGRAMA NACIONAL DE IRRIGAÇÃO – PRONI – **Tempo de irrigar**: manual do irrigante. São Paulo: Mater, Fundação Vitor Civita. 1987. 160p.

RAMADHAN, M.; NASEEB, A. The cost benefit analysis of implementing photovoltaic solar system in the state of Kuwait. **Renewable Energy**, V. 36, Ed. 4, p. 1272–1276, 2011.

REN, G., G., MA., CONG, N.. Review of electrical energy storage system for vehicular applications. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 41, p. 225-236, 2015.

RODRIGUES M. J. S.; VALE S. Estudo de Caso: Proposta de Substituição de um Gerador de Diesel por um Sistema Híbrido (PV / Diesel) para Geração de Energia Elétrica na Comunidade Rural Nazaré no Município de Abaetetuba Pará. **The 12th latin-american congress on electricity generation and transmission – CLAGTEE**, 2017.

ROHIT A. K. RANGNEKAR S. An overview of energy storage and its importance in Indian renewable energy sector: Part II – energy storage applications, benefits and market potential. **Journal of Energy Storage**, v. 13, p. 447-456, 2017.

RÜTHER, 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.

SEVERINO, M.; OLIVEIRA, M. Fontes e tecnologias de geração distribuída para atendimento a comunidades isoladas. **Energia, Economia, Rotas Tecnológicas**. Textos selecionados. Palmas, p. 265-322, 2010.

SHAYANI, R. A.; OLIVEIRA M. A. G.; CAMARGO I. M. T. Comparação do Custo entre Energia Solar Fotovoltaica e Fontes Convencionais. **Congresso Brasileiro de Planejamento Energético**. Políticas públicas para a Energia: Desafios para o próximo quadriênio, Brasília, 2006.

SILVA, G. T. F. da; WEISS, M. A.; FREITAS, A. Energias renováveis e potenciais efeitos para o desenvolvimento regional no Brasil. **RCE**, v. 15, ed. 28, 2011.

SOLARBRASIL. **Como escolher a bateria para um sistema de energia fotovoltaica Off-grid?** Disponível em: <www.solarbrasil.com.br/solar/100-como-escolher-a-bateria-para-um-sistema-de-ener>. Acesso em: jul. 2018.

UTFPR (Paraná) (Org.) **Atlas de energia solar**: ferramenta interativa. 2017. Centro Internacional de Hidroinformática. Disponível em: <<http://atlassolarparana.com>>. Acesso em: abr. 2018.

VICHI, F.; MANSOR, M. Energia, meio ambiente e economia: o Brasil no contexto mundial. **Química Nova** - QUIM NOVA, 2009.

VICTRON, **Especificações técnicas**, 2018. Disponível em: <https://www.victronenergy.pt/upload/documents/Brochure-Off-Grid,-back-up-and-island-systems_PT_web.pdf>. Acesso em: nov.2018.

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

VIDYANANDAN, K.V. An Overview of Factors Affecting the Performance of Solar PV Systems. **Energy Scan** (A house journal of Corporate Planning, NTPC Ltd.). v.27, p. 2-8, 2017.

VONDER, **Catálogo**, 2018. Disponível em: <<http://www.vonder.com.br/busca/?departamento=%25%25&busca=GERADOR>> Acesso em: Jul .2018

ANEXO I – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO GRUPO GERADOR

| Código: | 254-006 |
|------------------------------|---|
| Tipo do motor: | 2 cilindros, 4T, refrigerado à água, KD2V80 |
| Sistema de partida: | Elétrica |
| Cilindrada: | 794cc |
| Capacidade de óleo no motor: | 2,3L |
| Filtro de ar: | duplo elemento |
| Tipo do combustível: | Diesel |
| Capacidade do combustível: | 26L |
| Frequência: | 60Hz |
| Tensão de saída | 115V e 230V |
| Fator de potência: | 1 |
| Saída CC: | 12V/8,3 ^a |
| Estrutura: | com quadro |
| Nível de ruído: | 85db(a) |
| Potência nominal do gerador: | 9KVA |
| Potência máxima do gerador: | 10KVA |
| Garantia: | 6 meses |
| Marca: | TOYAMA |
| Ref.: | TOYAMA-TDWG12000E-N |

Fonte: Catálogo TOYAMA

ANEXO II - INFORMAÇÕES ADICIONAIS DOS PAINÉIS SOLARES CANADIAN

41536-4 PAINEL SOLAR CANADIAN

Principais recursos do painel

Excelente eficiência do módulo de até 17,23%

Excepcional desempenho de baixa irradiação > 92.18 %

Tolerância de potência positiva de até 5 W

Caixa de derivação IP67, 3 diodos, resistência de longo prazo ao clima

Carga de neve pesada de até 5.400 Pa carga de vento de até 3.600 Pa

Resistência a maresia, amônia e ventos de areia para ambientes de praia, fazenda e deserto

Dados elétricos

Potência nominal máx. (P_{máx}) 335W

Tensão operacional ideal (V_{mp}) 37,4V

Corrente operacional ideal (I_{mp}) 8,96A

Tensão de circuito aberto (V_{oc}) 45,8 V

Tensão de curto circuito (I_{sc}) 9,54 A

Eficiência do módulo 17,23%

Temperatura operacional -40 °C ~ +85 °C

Tensão máxima do sistema 1.000 V (IEC) ou 1.000 V (UL)

Desempenho do módulo TIPO 1 (UL 1703) ou contra incêndio CLASSE C (IEC 61730)

Classificação máx. de fusíveis da série 15 A

Classificação da aplicação Classe A

Tolerância de potência 0 ~ + 5 W

Características de temperatura

Coeficiente de temperatura (P_{max}) -0.40 % / °C

Coeficiente de temperatura (V_{oc}) -0.31 % / °C

Coeficiente de temperatura (I_{sc}) 0.05 % / °C

Temperatura nominal da célula 43±3°C

Peso bruto: 25,2Kg

Dimensão: 4cm x 98,2cm x 195,4cm (Altura x Largura x Comprimento)

NCM: 85414032

ANEXO III - INFORMAÇÕES ADICIONAIS SOBRE OS INVERSORES

35728-7 INVERSOR SOLAR OFF GRID VICTRON

Modelo QUA481030010 QUATTRO 10.000VA 48V/230V SENOIDAL PURA+CARREGADOR

Necessário 35964-7- CABO ACESSÓRIO INSTALACAO VICTRON ALDO SOLAR ASS030140000 VE.INTERFACE MK3-USB MULTIPLUS E QUADRO CONFIG Para conectar os inversores Multiplus e Quattro ao computador para programação Duas Saídas CA com chave de transferência integrada

O Quattro pode ser conectado a duas fontes CA independentes, por exemplo, o grid e gerador, ou dois geradores. A saída principal apresenta funcionalidade no-break e o Quattro assume o fornecimento de energia elétrica das cargas em caso de falha na rede ou quando a energia do gerador é desligada isso ocorre em menos de 20 milissegundos. Tal processo é suficiente para não desligar seus equipamentos eletrônicos.

Potência praticamente ilimitada graças ao funcionamento em paralelo

Até 6 Quattro podem operar em paralelo para atingir maior potência de saída, mas isso não é tudo. É possível também ter até 3 conjuntos de 6 inversores para atender uma linha trifásica.

PowerControl - Lidar com gerador limitado ou com energia da rede

O Quattro é um potente carregador de bateria, bem como a corrente de carregamento pode ser programada, levando em consideração os limites da fonte de alimentação ou dos baterias evitando sobrecargas na rede ou no gerador.

PowerAssist -Reforço da capacidade do gerador de energia

Esse recurso leva o princípio do PowerControl para outro nível. Ele permite que o Quattro complemente a capacidade da fonte alternativa. Quando a potência de pico é exigida somente por um período limitado, o Quattro se certificará que a insuficiência ou a energia do gerador seja imediatamente compensada pela energia da bateria. Quando a carga reduz, o excedente é usado para recarregar a bateria.

Energia solar: energia disponível mesmo durante uma falha de rede

Quattro pode ser usado para montar um sistema Aldo 365 ou offgrid.

Configuração de sistema

Em caso de uma aplicação stand-alone, isso pode ser feito em questão de minutos com um procedimento de ajuste da chave DIP.

- Aplicações em paralelo e trifásicas podem ser configuradas com os softwares VE.Bus Quick Configure e VE.Bus System Configurator.

- Aplicações de off grid, interação com rede e autoconsumo, envolvendo inversores grid-tie e/ou MPPT Solar Chargers podem ser configuradas com Assistants (software dedicado para aplicações específicas).

Monitoramento e controle On-site

Várias opções estão disponíveis: Monitor de Bateria, Multi Control Panel, Ve.Net Blue Power Panel, Color Control Panel, smartphone ou tablet (Bluetooth Smart), laptop ou computador (USB ou RS232).

Monitoramento e controle remoto

Victron Ethernet Remote, Victron Global Remote e o Color Control Panel. Dados podem ser armazenados e exibidos no nosso VRM (Victron Remote Management) website, gratuito.

Configuração remota

Quando conectados à Ethernet, sistemas com um Color Control Panel podem ser acessados e ajustes podem ser modificados.

Tecnologias

PowerControl – Sim

PowerAssist – Sim

Inversor

Alcance da tensão de entrada(VCC) - 36-66V

Saída - Tensão de saída: 230 VCA±2% / Frequência : 60 Hz ±0,1%

Potência de saída a 25°C - 10.000VA

Potência de saída a 25°C - 8.000W

Potência de saída a 40°C - 6.500W

Potência de saída a 65°C - 4.500W

potência de pico - 20.000W

Máxima eficiência - 96%

Potência de carga zero - 55W

Potência de carga zero no modo AES - 35W

Potência de carga zero no modo Search - 20W

Carregador

Duas entrada CA - Tensão de entrada: 187V a 265VAC 60Hz

Tensão de carga absorption (V CC) - 57,6V

Tensão de carga float (VCC) - 55,2V

Modo Storage (VCC) - 52,8V

Corrente geração de carga da bateria(A) – 170

Corrente de início de carga da bateria (A) – 4

Sensor de temperatura da bateria – Sim

Geral

Saída auxiliar - Sim(50A)

Relé programável - Sim 3x

Proteção - Proteções-chave: Saída de curto-circuito, sobrecarga, tensão de bateria muito alta, tensão de bateria muito baixa, temperatura excessiva, 230 VCA na saída do inversor, tensão de entrada de ondulação muito alta.

Porta de comunicação VE.Bus - Para operações em paralelo e trifásicas, monitoramento remoto e integração de sistema

Porta de comunicação de propósito geral – Sim

Remoto liga-desliga – Sim

Características comuns - Temperatura de operação: -40 a+65°C (com ventoinha de resfriamento)

Umidade(sem condensação): máx 95%,

Peso bruto: 45Kg

Dimensão: 47cm x 35cm x 28cm (Altura x Largura x Comprimento) NCM: 85044090

EAN: 8719076024200

Fonte: Catálogo Phoenix inverters, Victron energy blue power.

ANEXO IV - INFORMAÇÕES ADICIONAIS SOBRE O CONTROLADOR DE CARGA

| Controlador de carga BlueSolar | MPPT 150/45 | MPPT 150/60 | MPPT 150/70 | MPPT 150/85 | MPPT 150/100 |
|--|---|-------------|-------------|---|--------------|
| Tensão da bateria | 12 / 24 / 48V Auto Select (ferramenta de software necessária para selecionar 36V) | | | | |
| Corrente de carga nominal | 45A | 60A | 70A | 85A | 100A |
| Potência PV máxima, 12V 1a,b) | 650W | 860W | 1000W | 1200W | 1450W |
| Potência PV máxima, 24V 1a,b) | 1300W | 1720W | 2000W | 2400W | 2900W |
| Potência PV máxima, 48V 1a,b) | 2600W | 3440W | 4000W | 4900W | 5800W |
| Max. PV corrente de curto-circuito 2) | 50A | 50A | 50A | 70A | 70A |
| Tensão de circuito aberto PV máxima | 150V condições máximas de menor temperatura 145V start-up e operação máxima | | | | |
| Eficiência máxima | 98% | | | | |
| Autoconsumo | 10 mA | | | | |
| Tensão de carga em absorção | Configuração Padrão: 14,4 / 28,8 / 43,2 / 57,6V (ajustável) | | | | |
| Tensão de carga em carga lenta | Configuração Padrão: 13,8 / 27,6 / 41,4 / 55,2V (ajustável) | | | | |
| Algoritmo de carga | multi-stage adaptive | | | | |
| Compensação da temperatura | -16 mV / -32 mV / -68 mV / °C | | | | |
| Proteção | Polaridade inversa bateria (fusível)/ Polaridade invertida PV/ Curto-Circuito de Saída / Temperatura excessiva | | | | |
| Temperatura de funcionamento | -30 a +60°C (saída nominal completa até 40°C) | | | | |
| Umidade | 95%, sem condensação | | | | |
| Porta de comunicação de dados | VE.Direct | | | | |
| CAIXA | | | | | |
| Cor | Azul (RAL 5012) | | | | |
| Terminais PV 3) | 35 mm ² / AWG2 (Tr models) Dois conjuntos de conectores MC4 (MC4 modelos até 150/70) Três conjuntos de conectores MC4 (MC4 modelos 150/85 e 150/100) | | | | |
| Terminais da bateria | 35 mm ² / AWG2 | | | | |
| Classe de proteção | IP43 (electronic components), IP22 (connection area) | | | | |
| Peso | 3kg | | | 4,5kg | |
| Dimensões (a x l x p) em mm | Tr models: 185 x 250 x 95 MC4 models: 215 x 250 x 95 | | | Tr models: 216 x 295 x 103 MC4 models: 246 x 295 x 103 | |
| NORMA | | | | | |
| Segurança | EN/IEC 62109 | | | | |
| <p>1a) Em caso de aumento de energia PV, o controlador vai limitar a energia de entrada a 700W e 1400W, respectivamente.</p> <p>1b) A tensão PV deve ultrapassar a Vbat em + 5V para que o controlador inicie. Após isso, a tensão mínima PV é Vbat + 1V.</p> <p>2) Um gerador fotovoltaico com uma corrente de curto-circuito superior pode danificar o controlador.</p> <p>3) Modelos MC4: várias divisões em pares serão necessários para a associação em paralelo das strings dos painéis solares.</p> | | | | | |

Dados técnicos do controlador:

| |
|--|
| Bateria: 12 V, 24 V e 48V Auto Select |
| Banco de Bateria máximo: 16 |
| Corrente de carga máximo nominal: 70A |
| Potência máxima Painel Fotovoltaico: 12V:1000W, 24V:2000W ou 48V:4000W |
| Corrente máxima Painel Fotovoltaico: 50 ^a |
| Tensão máxima Painel Fotovoltaico: 150V (condições de menor temperatura) |
| Eficiência máxima 98% |
| Autoconsumo 10 mA |
| Tensão de carga em absorção Configuração Padrão: 14,4 / 28,8 / 43,2 / 57,6V (ajustável) |
| Tensão de carga em carga lenta Configuração Padrão: 13,8 / 27,6 / 41,4 / 55,2V (ajustável) |
| Compensação da temperatura -16 mV / -32 mV / -68 mV / °C |
| Temperatura de funcionamento -30 a +60°C (saída nominal completa até 40°C) |
| Umidade 95%, sem condensação |
| Classe de proteção IP43 (electronic components), IP22 (connection área) |

Fonte: Adaptado catálogo de Phoenix inverters, victron energy blue power.

ANEXO V - BATERIA ESTACIONÁRIA FREEDOM – DF4100 – 220AH / 240AH (ANTIGA DF4001)

A Bateria estacionária Freedom é fabricada pela Johnson Controls, empresa líder mundial na fabricação de baterias automotivas. As baterias estacionárias Freedom, além de possuírem as certificações ISO9002, ISO14000 e ISOTS16949, são homologadas pela Anatel.

Principais Aplicações:

Ups / No-break; PABX; Centrais Telefônicas; Sinalização; Iluminação de Emergência; Energia Solar; Monitoramento Remoto; Alarmes; Vigilância Eletrônica; Subestações Elétricas; Telecomunicações e outras.

Características Gerais:

- As baterias estacionárias Freedom foram projetadas para que os efeitos da corrosão dos polos e da expansão das placas não prejudiquem o seu desempenho e para que suportem os esforços existentes durante seu transporte ou manuseio, evitando derramamento de eletrólito.
- A bateria estacionária Freedom é uma bateria livre de manutenção, portanto não necessita de reposição de água ou eletrólito durante sua vida útil.
- As baterias estacionárias Freedom foram projetadas para uma vida útil superior a 4 anos (a uma temperatura de 25 °C e profundidade de descarga de 20%)
- O período de garantia das baterias estacionárias Freedom é de dois (2) anos, em condições normais de trabalho.

Especificações Técnicas:

Tensão: 12V

C-10: 200Ah

C-20: 220Ah

C-100: 240Ah

Tensão de Flutuação: de 13,2 a 13,8V @ 25 °C

Tensão Carga / Equalização: de 14,4 a 15,5V @ 25 °C

Peso: 59.90 Kg

Garantia: 2 Anos (3 Meses p/ Motores Elétricos)

Dimensões (Comp. x Larg. x Alt.): 530 x 280 x 246 mm

Características elétricas da bateria:

| Principais Características Elétricas | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|-------------|--------|--------|--------|--------|--|----------|--------|--------|--------|
| MODELOS | | DF300 | DF500 | DF700 | DF1000 | DF1500 | DF2000 | DF2500 | DF3000 | DF4001 |
| Capacidade a 25 °C (Ah) | 10 h | 24 | 30 | 41 | 54 | 76 | 94 | 130 | 156 | 200 |
| | 20 h | 26 | 36 | 45 | 60 | 80 | 105 | 150 | 170 | 220 |
| | 100 h | 30 | 40 | 50 | 70 | 93 | 115 | 165 | 185 | 240 |
| Dimensões (mm) | Comprimento | 175 | 175 | 210 | 244 | 330 | 330 | 511 | 511 | 525 |
| | Largura | 175 | 175 | 175 | 175 | 172 | 172 | 213 | 213 | 275 |
| | Altura | 175 | 175 | 175 | 175 | 240 | 240 | 230 | 230 | 250 |
| Peso (kg) | | 8,8 | 9,7 | 12,5 | 14,7 | 23,9 | 27,1 | 44,6 | 48,3 | 60,3 |
| Torque | Mínimo | 9 N.m | 9 N.m | 9 N.m | 9 N.m | 13,6 N.m | 13,6 N.m | 9 N.m | 9 N.m | 9 N.m |
| | Máximo | 11 N.m | 11 N.m | 11 N.m | 11 N.m | 20,3 N.m | 20,3 N.m | 11 N.m | 11 N.m | 11 N.m |
| Tensão de Flutuação | | | | | | de 13,2 a 13,8 V a 25 °C | | | | |
| Tensão de carga / equalização | | | | | | de 14,4 a 15,5 V a 25 °C | | | | |
| Compensação de Temperatura | | | | | | para cada 1°C acima de 25 °C, subtrair 0,033 V para cada 1°C abaixo de 25 °C, adicionar 0,033 V | | | | |

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Schneider, Francielle Pareja

Comparação de sistemas de geração de energia utilizando gerador a diesel e painéis fotovoltaicos para áreas rurais isoladas. / Francielle Pareja Schneider; orientador(a), Carlos Eduardo Camargo Nogueira; coorientador(a), Samuel Nelson Melegari de Souza, 2019.

74 f.

Dissertação (mestrado), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Cascavel, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, 2019.

1. sistema fotovoltaico off grid. 2. geração a diesel. 3. energização rural. I. Nogueira, Carlos Eduardo Camargo . II. Souza, Samuel Nelson Melegari de . III. Título.