

Sistema "off-grid" Para Locais Remotos

Guilherme Moreira de Paula, João Vitor Rodrigues, Philippe Augusto Leão Schleiss, Renan Alexandre Mendes de Lacerda, Renê Guerra Lustosa Filho

guilhermemoreira.mp@gmail.com, joao_vitor1560@outlook.com, philippeleao@gmail.com,
renanmendeslacerda@outlook.com, reneguerra000@outlook.com

Professora orientadora: Silvana Júlia da Silveira Diniz

Coordenação de curso de Engenharia Elétrica

Resumo

Este trabalho explora a aplicação de sistemas "off-grid" como solução energética para áreas remotas, onde o acesso à rede elétrica convencional é limitado ou inexistente. O sistema "off-grid" oferece autonomia energética, utilizando fontes renováveis, como energia solar, em conjunto com sistemas avançados de armazenamento de energia, como baterias. Essa abordagem permite a geração e utilização de eletricidade de forma independente, atendendo às necessidades locais sem depender de infraestrutura centralizada. O objetivo desse trabalho foi apresentar uma solução para o abastecimento de energia elétrica em áreas que não contam com redes elétricas interligadas. A metodologia empregada foi um estudo de caso com simulação de emprego do sistema de energia solar em uma localidade remota, sendo realizada uma revisão da bibliografia para fundamentar o estudo.

Palavras-chave: Sistema "off-grid". Áreas Remotas. Fontes Renováveis. Autonomia Energética. Desenvolvimento Sustentável.

1. INTRODUÇÃO

A eletricidade em residências rurais desempenha um papel fundamental ao fornecer luz, calor e refrigeração às propriedades. Ela permite que agricultores e residentes desempenhem suas tarefas agrícolas e tenham acesso à iluminação segura durante a noite, bem como a comunicação através do rádio e televisão, além de garantir a conservação de alimentos em aparelhos de refrigeração. Esses benefícios contribuem para a melhoria da qualidade de vida e da dignidade social.

Tratando de áreas remotas, um dos principais fatores que dificultam a realização de atividades, é a falta de alimentação elétrica, uma vez que essas áreas não possuem redes de transmissão e distribuição de energia e que, se fossem construídas, demandam muito estudo, tempo e investimentos até ficarem prontas por completo.

Aqui estão alguns exemplos de áreas que podem se beneficiar de energia "off-grid":

- Torres de Comunicação: Torres de celular, repetidores de rádio e outras estruturas de comunicação em áreas remotas podem usar energia "off-grid" para garantir a operação contínua.
- Parques Nacionais e Áreas de Conservação: Locais de preservação da natureza e áreas remotas de conservação utilizam sistemas "off-grid" para suprir suas necessidades energéticas.

Ao abordar as características específicas de áreas remotas, o estudo destaca os desafios associados, como a dificuldade de instalação de redes de forma ocasional e a importância da sustentabilidade ambiental. Além disso, serão apresentados casos de sucesso e projetos-piloto que demonstram a eficácia dos sistemas "off-grid" no fornecimento de energia confiável para

comunidades remotas, melhorando as condições de vida, promovendo o desenvolvimento econômico e reduzindo a dependência de combustíveis fósseis.

A análise abrange considerações práticas, como dimensionamento adequado de sistemas, gestão eficiente de recursos e implementação de tecnologias inovadoras para melhoria do desempenho. Também são destacadas implicações socioeconômicas positivas, incluindo a criação de empregos locais e o fortalecimento da resiliência das comunidades em face de descontos na oferta de energia.

Este estudo destaca a relevância dos sistemas "off-grid" como uma solução viável e sustentável para fornecer eletricidade em áreas remotas, contribuindo para a melhoria da qualidade de vida, o desenvolvimento socioeconômico e a preservação ambiental. O trabalho visa fornecer "insights" específicos para pesquisadores, formuladores de políticas e profissionais que buscam implementar soluções energéticas eficientes em contextos geograficamente desafiadores.

Além desses exemplos existem várias outras finalidades para a utilização desse sistema, como em barragens, barcos e iates, estações meteorológicas, expedições e acampamentos remotos.

Diante disso, o objetivo geral deste estudo é apresentar uma solução para o abastecimento de energia elétrica em áreas que não contam com redes elétricas interligadas. Como objetivos específicos, pretende-se: discutir a eficácia do sistema de energia solar em localidades remotas, apresentando suas particularidades e tecnologias empregadas; realizar um estudo de caso com simulação de emprego do sistema de energia solar em uma localidade remota; e analisar a viabilidade econômica e ambiental do sistema de energia solar nessa localidade.

Através desse sistema espera-se gerar energia autossuficiente para atender às necessidades energéticas específicas da área ou instalação, minimizando estragos ambientais de maneira sustentável e garantir um fornecimento confiável de energia para manter a operação contínua.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Sistema solar em locais remotos

A implantação de infraestrutura elétrica nas áreas rurais apresenta desafios significativos e implica custos substanciais. Isso é particularmente evidente em comunidades rurais de baixa densidade populacional, situadas em regiões de difícil acesso, distantes das redes de transmissão convencionais. Além disso, essas comunidades muitas vezes estão localizadas em proximidade a áreas de preservação ambiental, o que acrescenta complexidade ao processo de eletrificação (Dalbem *et al.*, 2016).

O sistema independente chamado "off-grid" assume um papel crucial ao proporcionar acesso à eletricidade em áreas remotas e de difícil acesso. Em regiões distantes, muitas vezes desprovidas de infraestrutura elétrica tradicional, os sistemas fotovoltaicos autônomos oferecem uma fonte confiável de energia. Essa abordagem descentralizada contribui para a inclusão energética, permitindo que comunidades isoladas alcancem um desenvolvimento sustentável (Barnes *et al.*, 2018).

Na pandemia esse sistema solar independente foi de grande ajuda. Um dos maiores desafios para vacinar a população brasileira é chegar a áreas remotas e manter a integridade dos imunizantes, considerando que muitas regiões do país não contam com energia elétrica ou possuem instalações precárias, com constantes quedas de luz. Diante desse problema, uma solução de grande importância é a instalação de sistemas Off Grid de energia solar fotovoltaica,

que contam com baterias e permitem manter uma geladeira ligada mesmo em um local isolado (Absolar, 2022).

A necessidade de energia em indústrias remotas também esbarra em desafios logísticos e de infraestrutura. Em tais cenários, o sistema "off-grid" torna-se crucial, permitindo a autonomia energética por meio de fontes renováveis e sistemas de armazenamento avançados. Empresas em regiões remotas têm buscado soluções sustentáveis e confiáveis para superar as limitações impostas pela falta de acesso a redes convencionais (Smith, 2021).

Exemplificando o impacto prático do sistema "off-grid", consideremos o setor de mineração em áreas afastadas. Em muitas dessas localidades, a instalação de linhas de transmissão convencionais seria economicamente inviável e ambientalmente prejudicial. Portanto, a implementação de sistemas "off-grid" baseados em energia solar, eólica ou híbrida emerge como uma alternativa inteligente. De acordo com as pesquisas de Oliveira (2022), mineradoras têm adotado tais soluções para otimizar a eficiência operacional e reduzir a dependência de combustíveis fósseis.

Diante do exposto, fica evidente que o sistema "off-grid" está se consolidando como uma resposta eficaz às demandas energéticas em locais remotos. Com sua capacidade de oferecer autonomia, sustentabilidade e resiliência, essa abordagem tem conquistado a confiança de diversos setores. A integração dessas soluções não apenas atende às necessidades imediatas das indústrias, mas também contribui para um modelo energético mais sustentável e adaptável às condições específicas de cada localidade.

2.2 Geração de Energia

Em sua estrutura básica, esse sistema é composto por painéis fotovoltaicos que convertem a luz solar em eletricidade, um sistema de armazenamento de energia, geralmente baterias, para garantir disponibilidade mesmo durante períodos sem luz solar, e inversores para transformar a corrente contínua gerada pelos painéis em corrente alternada utilizável em equipamentos elétricos (Hansen *et al.*, 2020). Na figura 01 é identificado as etapas de geração do sistema "off-grid".

Figura 1 – Esquemática do sistema de geração "off-grid"



Fonte: (Delta solar 2021). Disponível em [https://microgeracaofv.wordpress.com/2021/04/21/fora-da-rede-isolado-sistema-solar-fotovoltaico-"off-grid"/](https://microgeracaofv.wordpress.com/2021/04/21/fora-da-rede-isolado-sistema-solar-fotovoltaico-)

A autonomia do sistema é assegurada por baterias de alta capacidade, permitindo a continuidade do fornecimento de eletricidade mesmo em condições adversas, como noites ou

dias nublados (Hansen *et al.*, 2020). Com isso a gestão eficiente do sistema "off-grid" desempenha um papel fundamental a preservação da vida útil das baterias.

A durabilidade e ciclos de vida mais longos das baterias contribuem significativamente para a sustentabilidade econômica do sistema, reduzindo a necessidade de substituições frequentes e minimizando o impacto ambiental (Deshmukh *et al.*, 2017). Além disso, a eficiência de armazenamento é fundamental para otimizar a utilização da energia gerada pelos painéis solares, minimizando perdas durante os processos de carga e descarga (Lorenzo *et al.*, 2019).

Outro equipamento vital para a eficiência do sistema é o controlador de carga, que possui a função de monitorar e regular a energia proveniente dessas fontes, garantindo que as baterias sejam carregadas de maneira adequada. O controlador ainda é responsável por evitar sobrecargas e descargas profundas, cruciais para prolongar a vida útil das baterias e otimizar o desempenho do sistema como um todo. Estes também são conhecidos como carregadores de carga com tecnologia de seguimento de ponto de máxima potência (MPPT em sua sigla em inglês – Maximum Power Point Tracking).

2.3 Componentes do Sistema

2.3.1 Bateria Elétrica

A bateria elétrica é um dispositivo eletroquímico inventado no século XVIII por Alessandro Volta, e desde a sua invenção, até hodiernamente funciona com basicamente o mesmo princípio, convertendo energia química em energia elétrica e vice-versa.

As baterias podem ser conectas eletricamente em série ou paralelo, para produzir tensão e/ou correntes mais elevadas do que pode ser obtida por uma única célula. E podem ser classificadas, dependendo do tipo de célula que as compõe, em recarregáveis e não recarregáveis.

Existem dois tipos básicos de células: Primárias e secundárias. As células primárias compõem as baterias que podem ser utilizadas apenas uma vez e quando se descarregam completamente devem ser descartadas; geralmente são utilizadas em relógios de pulso, calculadora, pilhas entre outros.

Já as células secundárias compõem as baterias recarregáveis, ou seja, podem ser reabastecidas eletricamente com a utilização de uma fonte de tensão ou corrente.

Algumas utilizações conhecidas são celulares, carros, notebooks, sistemas fotovoltaicos entre outros que precisam ser carregados eletricamente com bastante frequência.

A Tabela 1 a seguir apresenta alguns tipos de baterias bastante utilizadas e suas respectivas propriedades e aplicações:

Tabela 1 – Tipos de baterias e suas propriedades

Tecnologia	Eletrólito	Diversidade Energética (Wh/L)	Densidade Energética (Wh/L)	Eficiência η_{Wh} (%)	Vida Útil (anos)	Aplicações típicas (exemplos)
Chumbo-ácido ⁷ (PB-ácido)	H ₂ SO ₄	20-40	50-120	80-90	3-20	Uso estacionário, tração, automotiva.
Níquel-Cádmio (NiCd)	KOH	30-50	100-150	60-70	3-25	Ferramentas, veículos elétricos.

Níquel-hidreto metálico (NiMH)	KOH	40-90	150-320	80-90	2-5	Notebooks, celulares, veículos elétricos e híbridos.
Íon de Lítio (LI-ion, Li-polímero)	Polímeros Orgânicos	90-150	230-330	90-95	-	Notebooks, celulares, filmadoras, "smart cards", veículos elétricos e híbridos.
Bateria Alcalina recarregável de Manganês (RAM) ⁸	KOH	70-100	200-300	75-90	-	Produtos de consumo, brinquedos.
Cloreto de Níquel e Sódio (NaNiCl)	β'' -Al ₂ O ₃	~100	~150	80-90	-	Veículos elétricos e híbridos (possíveis aplicações estacionárias)

Fonte: Autor

Figura 2 – Bateria 48V – 100A/H



Fonte: UniPower

Existe também uma função, geralmente disponível nas baterias maiores de lítio, de aplicar uma senha bloqueadora, para em caso a bateria for desconectada do sistema, posteriormente ela só voltará a funcionar com a inserção dessa senha. Garantindo o aumento da vida útil da bateria além de apresentar maior eficiência energética.

2.3.2 Controlador de carga solar da empresa Volt Tecnologia, modelo MPPT 60A Compacto

O Controlador de Carga é um componente utilizado no sistema "off-grid" para gerenciar e controlar o processo de carga e descarga do banco de baterias. O controlador permite que as baterias sejam carregadas completamente e evita que sejam desenergizadas abaixo de um valor seguro.

Desenvolvido para sistemas fotovoltaicos OFF-GRID, o Controlador de Carga Solar MPPT Volt Tecnologia utiliza a tecnologia avançada de MPPT (Maximum Power Point Tracking) para otimizar a geração de energia dos painéis fotovoltaicos, atingindo uma eficiência superior a 99% no carregamento das baterias.

A figura a seguir representa o controlador de Carga de carga solar da empresa Volt Tecnologia, especificado anteriormente:

Figura 3 – Controlador de carga modelo MPPT 60A Compacto



Fonte: Volt Tecnologia.

Esse controlador possui uma interface web, onde é possível configurar e acessar informações do dispositivo, compatível com diversos navegadores. Ele também possui o protocolo SNMP para integração com softwares de gerenciamento.

O modelo, é homologado pela INMETRO, e opera automaticamente em tensões de 12VDC, 24VDC, 36VDC ou 48VDC do banco de baterias, sem necessidade de pré-configuração, além de suportar a maioria dos painéis fotovoltaicos disponíveis no mercado, com uma entrada de até 120VDC.

Em períodos de baixa geração de energia ou à noite, conta com a função Nobreak, usando as baterias para alimentar a carga conectada, tanto no banco de baterias quanto no relé de carga de saída do controlador.

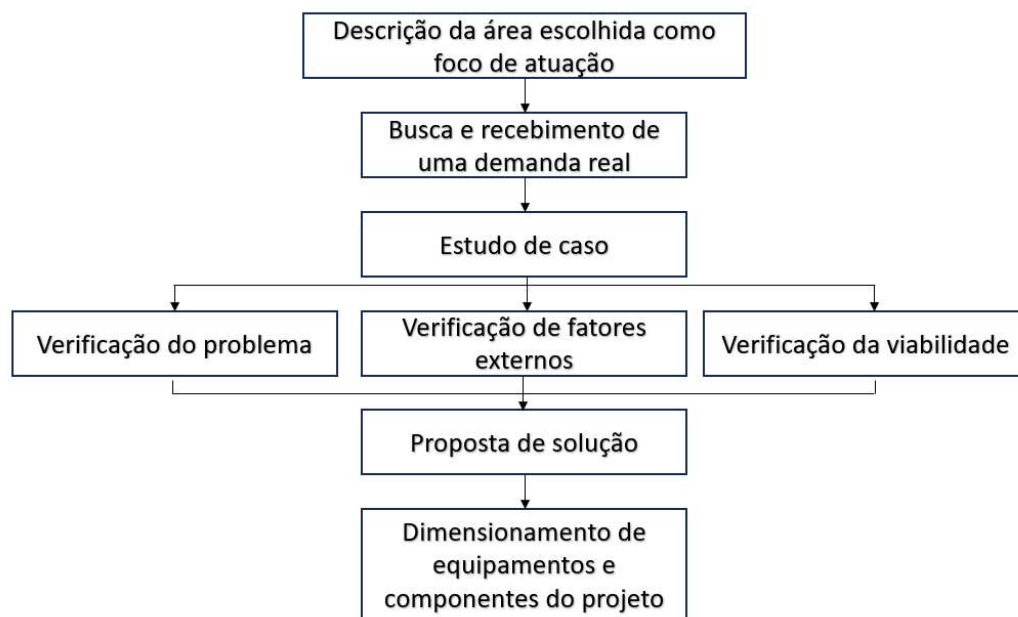
Além disso, o controlador possui em sua estrutura física:

- Entrada para os painéis fotovoltaicos
- Saída para baterias
- Saída para carga (corrente contínua – CC)

3. METODOLOGIA

A seguir, será apresentado o um fluxograma que evidencia as etapas cronológicas de desenvolvimento deste trabalho.

Figura 4 – Caminho metodológico



Fonte: Autor

Este relatório descreve uma pesquisa científica acerca do desenvolvimento de um sistema fotovoltaico de alimentação de baterias "off-grid", centralizando o aproveitamento otimizado do uso da radiação solar para gerar energia elétrica em áreas remotas.

3.1 Tipo de pesquisas

Este relatório descreve uma pesquisa científica acerca do desenvolvimento de um sistema fotovoltaico de alimentação de baterias "off-grid", centralizando o aproveitamento otimizado do uso da radiação solar para gerar energia elétrica em áreas remotas.

Segundo um estudo desenvolvido pelo Portal Solar Brasil em 2021 – hoje em dia, muitas empresas priorizam ações sustentáveis com o intuito de atingir o melhor desenvolvimento de sua companhia, pensando na preservação do meio ambiente e, por conseguinte, destacando-se no mercado. Portanto, a implementação de atividades como o uso de fontes de energia renovável agrega valor à sua marca e torna-se um diferencial para a sua empresa. A Absolar (Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica) é uma das principais incentivadoras de empresas de energia renovável no Brasil. Portanto, eles impulsionam diversos projetos para apoiar o uso das fontes renováveis.

Diante disso a elaboração de um sistema "off-grid" alimentado por energia solar requer uma abordagem metodológica cuidadosa para garantir eficiência e confiabilidade. Inicialmente, é crucial realizar uma análise detalhada das demandas energéticas do local de instalação, levando em consideração fatores sazonais e variações climáticas. Tudo isso será melhor explorado em algumas etapas listadas abaixo:

- **Ambientação:** Consiste na definição da área a ser instalada o conjunto de placas fotovoltaicas para alimentação do sistema, considerando localização geográfica, clima, irradiação, autonomia e horas de sol plenas diárias;

- Dimensionamento dos equipamentos: Realiza o levantamento de Demanda Energética e diante disso faz o dimensionamento do sistema de geração integrando-o ao Sistema de Armazenamento "off-grid";
- Carga necessária para dimensionamento do sistema: Define a alimentação energética e abastecimento elétrico do sistema com foco na gestão eficiente de energia;
- Distribuição da energia armazenada: Define o direcionamento final da energia elétrica armazenada pelas baterias até os equipamentos que farão o uso dessa energia.

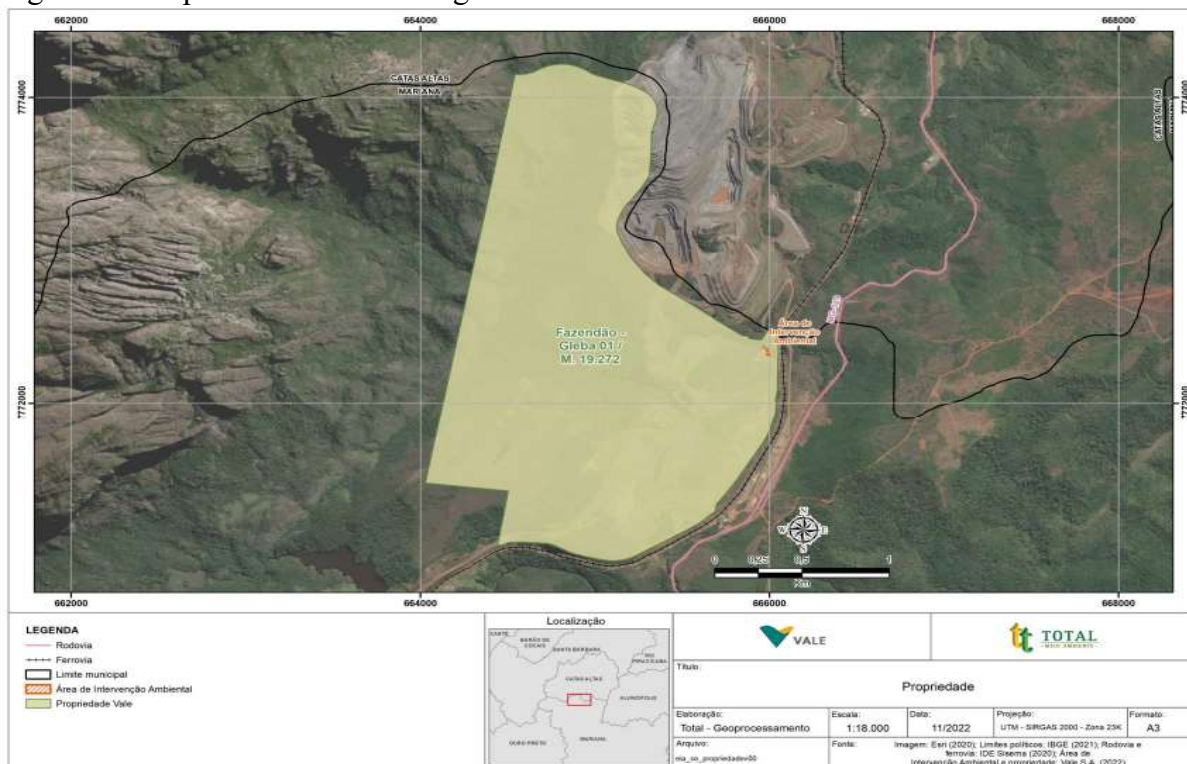
3.2 Universo/Amostra

Para este cenário foi analisado a seguinte situação/demanda: A Barragem Dicão Leste Catas Altas da Vale S/A na cidade de Catas Altas é uma área remota de relevo irregular e difícil acesso porque a energia elétrica mais próxima passa na parte inferior da barragem e o solo é coberto com pedregulhos. A fim de fazer o monitoramento para analisar os níveis altos e baixos para poder realizar a abertura de comportas o uso de um sistema de 5kW/h é ideal nessa situação. Mas como a área é remota o acesso complicado dedica-se um sistema de "off-grid" (Fotovoltaico + bateria) para suprir a carga desejada sem o uso de geradores a diesel.

3.3 Localização Geográfica

A Barragem Dicão Leste está localizada na mina Fazendão situada no Complexo Mariana da Vale S.A., nos municípios de Catas Altas e Mariana, Minas Gerais. A barragem Dicão Leste localiza-se no córrego São Luís, como evidencia a figura a seguir:

Figura 5 – Mapa de Acesso a Barragem Dicão Leste



Fonte: (Google Maps 2023). Disponível em: <https://www.google.com/maps/place/Mina+Fazend%C3%A3o/@-20.1470514,-43.414009,15.98z>.

3.4 Coleta de Dados

Para a coleta de dados do sistema foram utilizados o software PVSYST, que tem a função de dimensionar e calcular as perdas.

Os equipamentos utilizados foram: Placas solares da Ningbo Osda Solar – 550 Wp 35V ODA-550-36-MH. Baterias de ION-Lítio 48V – 100H em descarga de 10 horas e um Controlador de carga modelo MPPT 60A Compacto para recarregar as baterias e alimentar as cargas. A demanda utilizada para a geração foi 5kW/h/dia.

Os equipamentos escolhidos foram pesquisados considerando o melhor custo-benefício e a maior eficiência.

A demanda escolhida representa a composição de um sistema auxiliar genérico, e foi considerado uma localização remota na cidade de Catas Altas – MG.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Cálculo de irradiação Solar

Utilizando o portal CRESESB foi feito o cálculo da Irradiação no plano Inclinado de Catas Altas. O programa fornece os dados de irradiação solar para localidades disponíveis próximas do ponto de interesse. São fornecidos os valores de irradiação solar, em kWh/m².dia no plano horizontal, correspondentes às diárias médias mensais para os 12 meses do ano.

Para a localidade selecionada é também fornecido o valor de irradiação solar convertidos do plano horizontal para planos inclinados com três diferentes ângulos de inclinação em relação ao plano horizontal:

- 1 – O ângulo igual à latitude;
- 2 – O ângulo que fornece o maior valor médio diário anual de irradiação solar;
- 3 – O ângulo que fornece o maior valor mínimo diário anual de irradiação solar.

Os valores de irradiação solar são apenas orientações para auxiliar no dimensionamento do sistema fotovoltaico, pois são valores consolidados de um histórico de medições que varia ao longo dos anos. Em geral, o valor da latitude local é usado como ângulo de inclinação do módulo fotovoltaico. O ângulo com a maior média diária anual de irradiação solar costuma ser usada quando se deseja a maior geração anual de energia, o que seria o caso de aplicações de sistemas fotovoltaicos conectadas a rede de distribuição dentro do Sistema de Compensação de Energia.

Já o ângulo com maior valor mínimo mensal de irradiação solar costuma ser uma medida conservadora, usado em situações em que o fornecimento contínuo de energia elétrica é crítico para o fim e por isso se procura minimizar o risco de falta de energia.

A cidade de Catas Altas localiza-se no ponto de Latitude: -20.074 e Longitude: -43.3986. Para estas coordenadas o portal gerou os seguintes resultados representados em tabela:

Tabela 2 – Horas de sol Pleno

Estação: Catas Altas
Município: Catas Altas , MG - BRASIL
Latitude: 20,101° S
Longitude: 43,349° O
Distância do ponto de ref. (20,074° S; 43,3986° O): 6,0 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
✓	Plano Horizontal	0° N	5,42	5,78	4,83	4,41	3,82	3,67	3,88	4,67	4,92	4,96	4,62	5,28	4,69	2,11
✓	Ângulo igual a latitude	20° N	4,95	5,52	4,91	4,87	4,54	4,56	4,74	5,38	5,18	4,84	4,30	4,77	4,88	1,22
✓	Maior média anual	19° N	4,98	5,55	4,92	4,85	4,52	4,53	4,71	5,36	5,18	4,85	4,32	4,81	4,88	1,22
✓	Maior mínimo mensal	16° N	5,07	5,61	4,93	4,81	4,43	4,42	4,60	5,28	5,17	4,89	4,39	4,90	4,88	1,22

Fonte: (Cresesbe, 2023). Disponível em <http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>.

4.2 Demanda do consumo/Lista de equipamentos

O consumo diário e mensal das cargas é um fator fundamental para o dimensionamento do sistema, serão adotados valores e potências das cargas e aparelhos já existentes em outra barragem, mas dessa vez serão abastecidos pela fonte renovável de energia. A tabela a seguir representa a especificação funcional dos equipamentos que serão usados no dimensionamento do sistema de abastecimento "off-grid" assim como o cálculo de gasto energético para cada um deles:

Tabela 3 – Consumo das Cargas

CÁLCULO DO CONSUMO DAS CARGAS						
Equipamento	Quantidade	Tensão (V)	Potência (W) _{cc}	Utilização (H/dia)	Dias por semana	Wh/dia
Switch Cisco Industrial IE3400	1	48	40	24	7	960
Rádio Nokia UBT Twin	1	48	53	24	7	1272
Câmera Termográfica Bosch (Fonte)	1	48	34	24	7	816
Sistema de Ventilação	1	48	100	12	7	1200
Controlador Solar	1	48	9	24	7	216
Sensor de Temperatura	1	48	5	24	7	120
Sistema de Iluminação Interna	2	48	10	3,2	1	4,6
Reserva	1	48	6	24	7	144
TOTAL						4728

Fonte: (Vale, 2023)

As cargas a alimentar são aquelas especificadas no painel, presente na lista de equipamentos, com consumo total de 4,728kWh/dia e potência máxima 258 W.

Devido ao período de operação constante dos equipamentos instalados no painel, pode-se considerar consumo constante ao longo do dia.

Além do mais, por se tratar de um sistema isolado individual, se considera que a potência máxima a ser entregue pelo sistema é a soma das potências de todos os equipamentos.

4.3 Autonomia e capacidade da Bateria

Como se pode observar na análise do recurso solar, há períodos com fortes chuvas. Nesses dias, a produção não é nula, porém se reduz consideravelmente. Por essa razão, foi considerado a autonomia de 01 dia para a localidade em questão de forma que o sistema não fique sem energia.

Considerou-se também nos cálculos abaixo a profundidade de descarga $P_d=80\%$ que aumenta a vida útil da bateria.

$$CBI_{C10}[Ah] = \frac{L_m[Wh] \cdot N_{dias}}{P_d \cdot V_{sist}[V]} = \frac{4730 \cdot 1}{0,8 \cdot 48} = 123,17Ah$$

CBI_{C10} =Capacidade do banco de baterias

L = Levantamento de cargas

N = Número de dias de autonomia

P_d = Profundidade de descarga

V_{sist} = Tensão de operação

As baterias de Lithium consegue uma autonomia de 100Ah para em uma descarga constante de 10 horas, ou seja, o menor valor seria 2 duas baterias.

4.4 Potência pico dos módulos fotovoltaicos

Considerando o recurso solar disponível, a energia a ser entregue diariamente e as perdas do sistema, é possível dimensionar a potência instalada necessária, de acordo com a seguinte fórmula:

$$P_m = \frac{L \left[\frac{kWh}{dia} \right]}{HSP \left[\frac{h}{dia} \right] \times (1 - PR)} = \frac{4,73}{4,32 \times (1 - 0,379)}$$

$$P_m = 1,77kWp$$

P_m = Potência instalada necessária

L = Levantamento das cargas

HSP = Horas de sol pleno no mês crítico

PR = Somatório das perdas do sistema fotovoltaico.

Para otimizar o espaço, busca-se os módulos de maior potência e disponíveis comercialmente, neste caso são os módulos de 550Wp. O número mínimo de placas (N_{min}) será:

- Número de módulos: 4
- Potência do sistema: 2200 kWp
- Corrente nominal :13,09 A

Apesar do valor calculado ter como resultado 04 módulos, o sistema modelado através do software PVSYST indicou ser necessário a utilização de 05 placas de forma a atingir o melhor desempenho do sistema em condições de menor incidência solar, evitando assim, aumentar o número de baterias necessárias.

4.5 Perdas do sistema

Os equipamentos elétricos e eletrônicos apresentam perdas consideráveis para o dimensionamento do sistema e conseqüentemente deve ser refletida na potência.

$$PR = \%(Eficiência\ do\ cabo * Eficiência\ das\ baterias * eficiência\ do\ inversor)$$

$$0,70 = 1 - (0,97 * 0,85 * 0,85)$$

4.6 Simulação

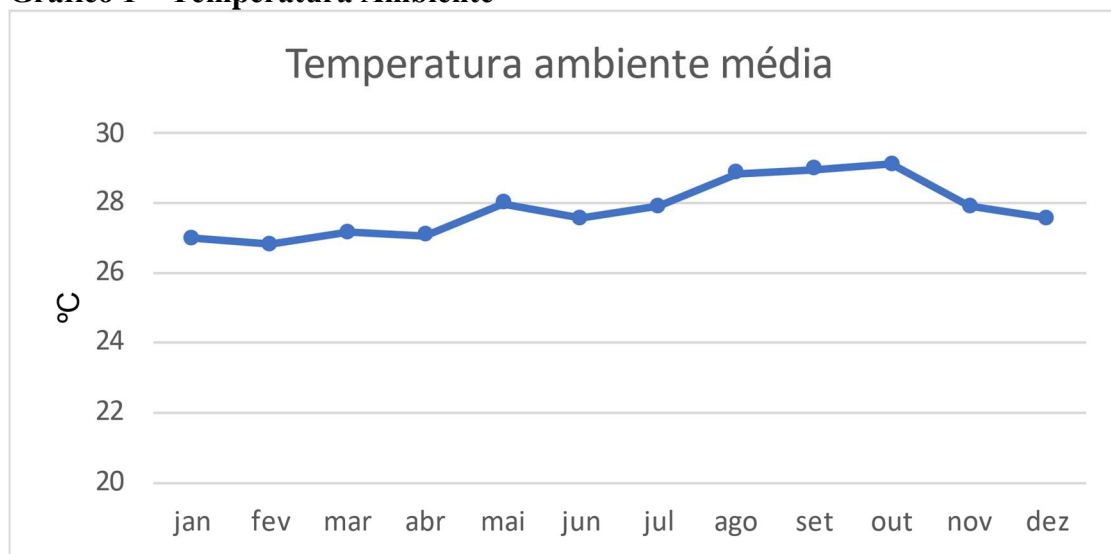
PVSYST (Versão 7.4) é um software especializado usado para análise e simulação de sistemas de energia solar fotovoltaica. O nome "PVSYST" é derivado de "Photovoltaic Systems Software" Empresa fornecedora e fabricante da ferramenta. Esse software é amplamente utilizado por profissionais na indústria solar para projetar, dimensionar e otimizar sistemas fotovoltaicos.

Após dimensionar inicialmente o sistema conforme nas seções anteriores, todos os inputs foram adicionados no software PVSYST e feita simulação para validar a solução.

Na simulação foram utilizados os seguintes modelos dos equipamentos:

- Bateria: Unipower Lítio 48V 100Ah UPLFP48-100
- Placa Solar: Ningbo Osda Solar – 550 Wp 35V ODA-550-36-MH
- Controlador: DPC Solar Convertor-48-3000HE-DOD80
- Inclinação de 10° nas placas solares.

Gráfico 1 – Temperatura Ambiente

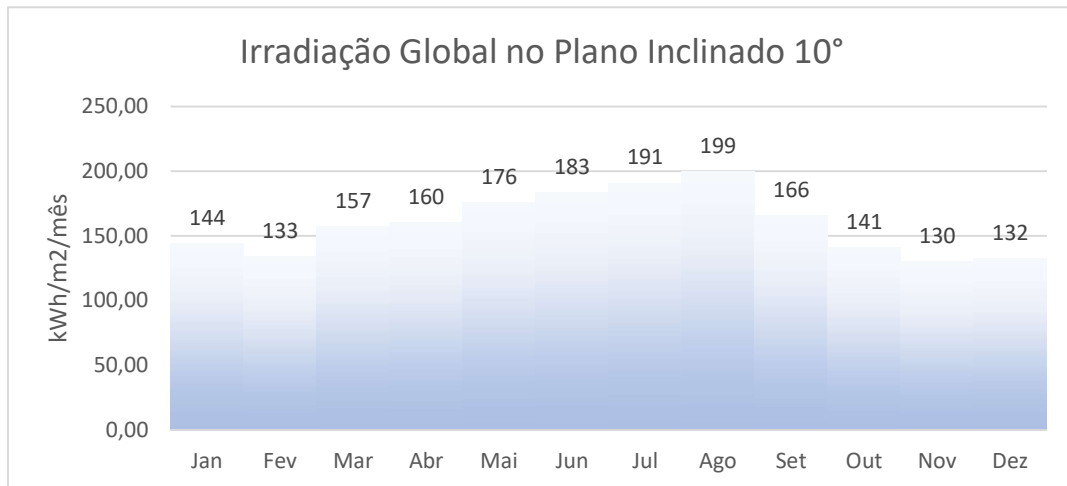


Fonte: (PvSyst, 2023).

A temperatura é importante para as características de dimensionamento do cabo e dos equipamentos

Seguindo a metodologia vamos apresentar os resultados da localização geográfica, dimensionamento do sistema e análise geral do sistema
Conforme o gráfico PVSYST a seguir, utilizando o grau de inclinação -20 conforme o CRESEB sugere.

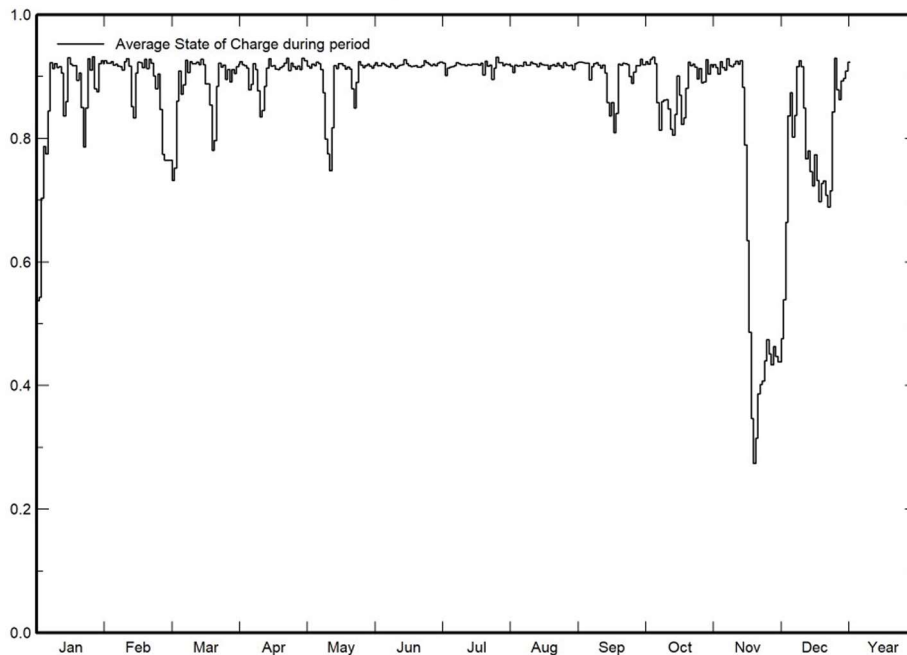
Gráfico 2 – Irradiação do Plano Inclinado



Fonte: (PvSyst, 2023).

Esta adequação do ângulo resulta em uma perda geral do sistema em 7% de eficiência geral, mas nos períodos chuvosos de verão (outubro, novembro, dezembro, janeiro) há uma melhoria. Esta perda não é considerada no cálculo básico do sistema por isso foi considerado o PR de 0,37% ou 0,73.

Gráfico 3 – Resultado da descarga da Bateria no ano



Fonte: PvSyst

Observa-se que no mês de novembro apresenta uma descarga de quase todo banco de baterias devido à baixa irradiação solar provocada pelas chuvas no período, que resulta em nuvens e baixa irradiação solar conforme gráfico.

Para analisar melhor a Irradiação no mês de novembro o software PVSYST disponibiliza a irradiação mensal.

Se no eixo Y que representa descarga da bateria chegar abaixo de 0,15 a vida útil da bateria diminui porque a bateria perde a capacidade de recarregar 100%, estima-se que em 8

anos a bateria de Ion-lítio perda 15% de sua capacidade de armazenamento. O software apesar de apresentar o sistema anualmente considera a depreciação da bateria conforme entrada no sistema.

Gráfico 4 – Radiação solar no mês de novembro



Fonte: (PvSyst, 2023).

Observa-se que nos dias 15/16/17 de novembro a irradiação é bem baixa devido ao tempo nublado e chuvas que resulta em uma grande descarga das baterias conforme o gráfico 1.

Caso o sistema seja crítico como em hospitais, ou de vacina e não possa ficar sem energia em hipótese alguma é sugerido aumentar o de baterias para não haver o risco de queda do sistema e para aumentar a velocidade de carregamento adicionar uma placa para que consiga uma tensão maior em dias de pouca Horas de Sol Pleno (HPS).



Foxit PDF Reader
Document

Acima está o anexo do relatório fornecido do PVSYST (V. 7.4).

5. CONCLUSÕES

A instalação e o projeto do sistema demandam expertise de profissionais capacitados e habilitados, devido ao grau de importância do sistema e para garantir o funcionamento da carga sem interrupções. Ao considerar os fatores relacionados à carga, deve-se evitar sobrecargas que possam comprometer a vida do sistema, descargas abaixo de 15% afetam sua vida útil e consequentemente será necessário a troca destas. Os fatores climáticos têm um papel importante. Em dias nublados, a concentração de irradiação solar é reduzida, ou seja, a geração de energia tem uma baixa de produção nesse período. Logo, consequentemente é o período mais propício a descarga das baterias.

Ao analisar as simulações, observa-se que a eficiência do carregamento é otimizada ao aumentar o número de placas, enquanto o tempo de autonomia é aprimorado com o aumento do número de baterias. No entanto, o ponto de limitação reside no controlador de carga que em nosso caso, suporta no máximo 6 baterias e 8 placas. Para expandir o sistema é necessário aumentar o número de controladores. foram observados que para melhorar a eficiência do carregamento aumenta-se o número de placas, para melhorar o tempo de autonomia aumenta-

se o número de baterias, mas o ponto de limitação é o controlador de carga no nosso caso suporta no máximo 6 baterias e 8 placas, para aumentar o sistema precisa aumentar o número de controlador.

O sistema gerará uma potência de 1825kW/ano com uma produção, mas tem a capacidade de energia disponível em dias normais há uma sobra de energia quase 42% de energia desperdiçados sendo possível utilizadas para pequenas manutenções ao redor do sistema fotovoltaico. Desde que os dias não estejam nublados e a alimentação esteja sendo feita pelas placas solares para não haver descargas das baterias e prejudicar o sistema em dias noturnos.

É exposto que o sistema de abastecimento de energia "off-grid" busca solucionar o problema real de difícil acesso à energia, que efetivamente ocorre em áreas remotas sem acesso a redes de distribuição de energia elétrica. A técnica consiste em realizar o fornecimento de energia por meio de células de carga, que, por sua capacidade de armazenamento energético e fácil manuseio, substituirá as enormes redes de subestação, transformação e distribuição de energia e consequentemente apresentando resultados mais rápidos, eficazes e viáveis.

6. AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de expressar nossa sincera gratidão a todas as pessoas que tornaram este trabalho possível. Primeiramente, agradecemos a professora Silvana Júlia da Silveira Diniz pela orientação dedicada, disponibilidade, valiosas contribuições e principalmente pela insistência e confiança que teve em nós como alunos. Tudo isso foi fundamental para que desenvolvimento deste trabalho fosse possível.

Também somos imensamente gratos às empresas Vale S/A, Ihm Stefanini e Volt Tecnologia pelo suporte e informações a nós compartilhadas ao longo desta jornada.

Por fim, agradecemos profundamente as nossas famílias e aos amigos que fizemos ao longo do curso. Aos familiares obrigado pelo apoio incondicional e encorajamento constante e aos amigos muito obrigado por todos os momentos de parceria que vivenciamos juntos durante essa jornada.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BECK, R. **Distributed Renewable Energy Operating Impacts and Valuation Study**. Prepared for Arizona Public Service by R.W. Beck, Inc, 2009.

BENEDITO, R. S. **Caracterização da geração distribuída de eletricidade por meio de sistemas fotovoltaicos conectados à rede, no Brasil, sob os aspectos técnico, econômico e regulatório**. 2009. 110 f. Dissertação (Mestrado em Energia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

Centro de Referência para as Energias Solar Eólica Sérgio de S. Brito – CRESESB. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=publicacoes&task=livro&cid=481>. Acesso em: 23 Out. 2023.

METENORM. **Dados Geográficos Nacionais**. Brasil. 2023.

MONTENEGRO, A. A. **Avaliação do retorno do investimento em sistemas fotovoltaicos integrados a residências unifamiliares urbanas no Brasil**. 2013. 175 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

VIANA, T.; NASCIMENTO, L. R.; MONTENEGRO, A. A.; RÜTHER, R. Sistema fotovoltaico de 2kWp integrado a edificação: análise do desempenho de 14 anos de operação. *In*: IV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR – IV CBENS E V CONFERÊNCIA LATINO AMERICANA DA INTERNATIONAL SOLAR ENERGY SOCIETY – ISES, 2012, São Paulo – SP. **Anais** [...]. São Paulo – SP: ABENS – Associação Brasileira de Energia Solar, 2012. v. 1. p. 1-8.