



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ – UFOPA
INSTITUTO DE ENGENHARIA E GEOCIÊNCIAS – IEG
BACHARELADO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA**

GABRIEL YÚRI CAMPOS LACERDA

**DIMENSIONAMENTO E IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA OFF GRID EM
CACHOEIRINHA DO MENTAE - COMUNIDADE DA RESEX TAPAJÓS
ARAPIUNS NA AMAZÔNIA**

SANTARÉM

2023

GABRIEL YÚRI CAMPOS LACERDA

**DIMENSIONAMENTO E IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA OFF GRID EM
CACHOEIRINHA DO MENTAE - COMUNIDADE DA RESEX TAPAJÓS
ARAPIUNS NA AMAZÔNIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Bacharelado Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia para obtenção do grau de Bacharel em Ciência e Tecnologia na Universidade Federal do Oeste do Pará, Instituto de Engenharia e Geociências.

Orientador: Lázaro João Santana da Silva

SANTARÉM

2023

DIMENSIONAMENTO E IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA OFF GRID EM CACHOEIRINHA DO MENTAE - COMUNIDADE DA RESEX TAPAJÓS ARAPIUNS NA AMAZÔNIA

Gabriel Yúri Campos Lacerda ⁽¹⁾ (gabriel.lacerda@discente.ufopa.edu.br), Carlisson Kaick da Rocha Sousa ⁽¹⁾ (carlisson.sousa@discente.ufopa.edu.br), Daniela Gois Nogueira ⁽¹⁾ (daniela.nogueira@discente.ufopa.edu.br), Lázaro João Santana da Silva ⁽¹⁾ (lazaro.silva@ufopa.edu.br), Manoel Roberval Santos Pimentel ⁽¹⁾ (proroberval@gmail.com)

⁽¹⁾Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA); Instituto de Engenharia e Geociências

RESUMO: *Este artigo trata do dimensionamento e instalação de um sistema off-grid na comunidade de Cachoeirinha do Mentae, localizada na Reserva Extrativista Tapajós-Arapiuns da Amazônia, tendo como principal objetivo seu detalhamento dimensional. O projeto também aborda a importância da instalação de sistemas fotovoltaicos que tratam de uma fonte limpa no fornecimento de energia usando a radiação solar, um recurso gratuito e abundante, principalmente na região Norte do País, em comunidades rurais isoladas onde, além de possuir uma floresta densa e uma vasta rede hidrográfica que dificultam o uso de sistemas convencionais, há também elementos socioambientais, técnicos e financeiros que potencializam a realização do projeto. Portanto, o sistema foi desenvolvido para atender as demandas das unidades consumidoras escolhidas pelos comunitários levando em consideração o uso coletivo, as necessidades energéticas de unidade e a sazonalidade climática, afim de prover uma melhora na qualidade de vida da comunidade, principalmente na educação, saúde e economia.*

PALAVRAS-CHAVE: USINA FOTOVOLTAICA; SUSTENTABILIDADE; INCLUSÃO ENERGÉTICA;

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF AN OFF GRID SYSTEM IN CACHOEIRINHA DO MENTAE - COMMUNITY OF RESEX TAPAJÓS ARAPIUNS IN THE AMAZON

ABSTRACT: *This article deals with the design and installation of an off-grid system in the community of Cachoeirinha do Mentae, located in the Tapajós-Arapiuns Extractive Reserve of the Amazon, having as main objective its dimensional detailing. The project also addresses the importance of installing photovoltaic systems that deal with a clean source of energy supply using solar radiation, a free and abundant resource, mainly in the northern region of the country, in isolated rural communities where, in addition to having a forest dense and vast hydrographic network that makes the use of conventional systems difficult, there are also socio-environmental, technical and financial elements that enhance the project's implementation. Therefore, the system was developed to meet the demands of the consumer units chosen by the community, taking into account the collective use, the energy needs of the unit and the climatic seasonality, in order to provide an improvement in the quality of life of the residents. community, mainly in education, health and economy.*

KEYWORDS: PHOTOVOLTAIC PLANT; SUSTAINABILITY; ENERGY INCLUSION;

1. INTRODUÇÃO

A eletrificação das áreas rurais isoladas, com o fito de alcançar o desenvolvimento social e sustentável é essencial e indispensável nos dias de hoje, pois mesmo com programas de assistência social em comunidades isoladas, dentre eles o Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica, mais conhecido como “Luz para todos”, que tinha como objetivo levar energia elétrica a grupos sociais menos favorecidos, a falta de energia nas comunidades e regiões isoladas, principalmente na Amazônia, ainda persiste por inúmeros fatores, dentre eles sua vasta extensão territorial, ampla rede hidrográfica com rios de extensas larguras e profundidades, existência de diversas regiões alagadiças e o fato da floresta ser muito densa e compacta. Esses são pontos que inviabilizam de forma técnica e econômica atender as demandas das localidades mais distantes dos centros de fornecimento energético convencional.

Em razão das dificuldades enfrentadas, a única alternativa é recorrer a grupos geradores de energia alimentados por combustíveis fósseis, como por exemplo, o óleo diesel. Esses maquinários dependendo do tamanho populacional da comunidade possuem um custo acessível, visto que máquinas de pequeno porte conseguem cobrir a demanda de pequenas famílias, como é o caso de um motor de 14HP (Loja do mecânico, 2023). Entretanto o que vem a pesar no bolso dessas famílias é a manutenção de tal equipamento e o custo do combustível para acioná-lo, que atualmente, apresenta fortes variações no preço de comercialização. Outro fator negativo dessa fonte de energia, é que durante a queima do combustível são liberados na atmosfera gases poluentes, como o dióxido de carbono (CO₂), que contribuem para o agravamento dos atuais problemas ambientais, por isso se faz necessário adotar sistemas de energia mais sustentáveis.

Na Amazônia, um dos recursos mais abundantes é a radiação solar, que devido a sua posição geográfica, próxima à linha do Equador, incide de forma praticamente uniforme durante todo o ano. Assim uma forma de fazer uso desse recurso é através de usinas solares fotovoltaicas, que consiste em converter a radiação solar em energia elétrica. Esse modelo de geração de energia tem registrado um crescimento anual de 230% no Brasil, o que evidencia a eficiência do produto utilizado (Absolar, 2020).

O uso desse sistema traz grande benefício não só aos comunitários como também ao meio ambiente pois, contribui para a redução da emissão de CO₂, ao substituir, no caso das comunidades em específico, o consumo de combustível fóssil. Além disso, a utilização de um recurso abundante e gratuito, como a radiação solar, tem uma boa relação custo-benefício envolvida na compra do sistema, uma vez que as placas, por exemplo, possuem uma garantia que gira em torno dos 10 anos, entregando o máximo de eficiência, como é o caso das placas ofertadas pela fabricante Intelbras (Intelbras, 2023).

Há ainda o fato de que esses sistemas de geração elétrica têm ganhado grande espaço nos centros comerciais, ou seja, trazendo mais inovação e solidez ao mercado, além de baratear o custo

dos equipamentos utilizados, que vale salientar, não está entre os mais acessíveis quando o objetivo é beneficiar comunidades carentes ou desprovidas de nenhuma fonte de renda (*Europe énergie, 2019*).

Diante do exposto, é evidente que as usinas fotovoltaicas (UF) são importantes para beneficiar essas comunidades, tendo em vista que o maior investimento financeiro é a compra desses equipamentos, que resulta em um custo-benefício altamente positivo, uma vez que instalado e funcionando, o sistema não necessita de grandes manutenções, apenas cuidados básicos. É possível ainda, que com o fornecimento de energia elétrica, os comunitários encontrem formas alternativas de renda, o que poderia auxiliar financeiramente a manutenção do sistema.

Em decorrência da problemática provocada pela dificuldade de abastecimento energético de algumas dessas comunidades isoladas, uma parceria entre *Michigan State University (MSU)*, Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA) e MOTT Foundation reuniu esforços visando beneficiar, através do projeto GCR: *Convergence for Innovative Energy Solutions: Empowering Off-Grid Communities with Sustainable Energy Technologies*, determinadas comunidades da Resex Tapajós Arapiuns com usinas fotovoltaicas, buscando melhorar a qualidade de vida dos comunitários que ali residem.

Os pesquisadores do projeto, após reunirem informações sobre as várias comunidades visitadas, selecionaram, conforme critérios estabelecidos pelos objetivos do projeto, 04 comunidades: Cachoeirinha do Mentae; Porto Rico; Vista Alegre do Maró e Prainha do Maró, todas localizadas na Resex Tapajós Arapiuns. Cachoeirinha do Mentae foi beneficiada com a instalação de uma UF e uma turbina hidrocíntrica, Porto Rico recebeu uma UF e um sistema de energia solar para acionamento de uma bomba; Vista Alegre do Maró e Prainha do Maró elegeram como prioridade a instalação de um sistema de energia solar para acionamento de uma bomba. Portanto, o presente artigo apresenta o dimensionamento e a implantação de uma UF na comunidade de Cachoeirinha do Mentae. Para a distribuição da energia gerada, o projeto instalou uma rede elétrica de distribuição interligando as unidades consumidoras da comunidade e a UF.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Foi dimensionado um Gerador Fotovoltaico (GF) de uso coletivo, conforme decidido pela comunidade, e uma rede elétrica instalada junto com ao GF para atender algumas áreas, sendo elas: Igreja, Escola, Moldem para Acesso à Internet, Unidades Habitacionais (Barracões Comunitários), Iluminação Pública e Iluminação Interna Da Casa De Baterias.

2.1 Levantamento da demandada energética

Para dimensionar a potência demandada, em kWh, necessária para atender as demandas coletivas da comunidade, calculou-se a Potência por Unidade, Potência Diária e Mensal por itens e por Unidade Consumidora (UC). Entende-se por itens: eletrodomésticos e instalações internas e UCs

como: Igreja, Escola, Modem de Acesso à Internet, Unidades Habitacionais (Barracões Comunitários), Iluminação Pública e Iluminação Interna da Casa de Baterias. O dimensionamento foi efetuado de acordo com (Eletrobras, 2021) e a NBR 5410/2004.

2.1.1 Potência total dos itens e das unidades consumidoras

A Potência Total dos Itens (PTI) é a somatória do produto das Potências de Consumo, que é especificada pelo item, de cada item pela sua quantidade, e é dada pela Equação (1):

$$PTI = \sum (Pot_{item} \times Qntd) \text{ [W]} \quad (1)$$

Onde:

Qntd = Quantidade de itens;

Pot_{item} = Potência de Consumo do item;

E a Potência por Unidade Total (PUT_{UC}) é o somatório de todas as PTIs de cada UC, e pode ser calculada por meio da Equação (2):

$$PUT_{UC} = \sum PTI \text{ [W]} \quad (2)$$

2.1.2 Potência diária e mensal por item

Para a Potência Diária (PD) por item, basta multiplicar a quantidade de horas mensais pela potência de cada item e dividir pelo número médio de dias que existe em um mês, como evidenciado na Equação (3):

$$PD_{item} = \frac{HMU \text{ [h]} \times Pot_{item} \text{ [W]}}{30 \text{ [Dias]}} \quad (3)$$

Onde:

HMU = Horas Mensais de Uso;

Sendo as Horas Mensais de Uso (HMU) um valor relativo que varia de acordo com o uso de cada item em cada UC.

A Potência Mensal (PM) por item, foi calculada com intuito de ser utilizada em futuros trabalhos, multiplicou-se as Potências Diárias de cada item pelo número de 30 dias, que constituem um mês, e para isso empregou-se a Equação (4):

$$PM_{item} = PD_{item} * 30 \text{ [dias]} \quad (4)$$

2.1.3 Potência diária e mensal por unidade consumidora

Tem-se que a Potência Diária, em kWh/Dia, será a soma da Potência Diária de todos os itens e pode ser obtida utilizando-se a Equação (5):

$$PD_{UC} = \sum PD_{Item\ i} \left[\frac{Wh}{dia} \right] \quad (5)$$

O cálculo da Potência Mensal (PM) por UC foi realizado somente para conhecimento e utilização em trabalhos futuros, para tal, somou-se todas as Potências Diárias de cada item, através da Equação (6):

$$PM_{UC} = \sum PM_{Item\ i} \left[\frac{Wh}{mês} \right] \quad (6)$$

2.1.4 Potência diária total demandada pelas UCs

Para o cálculo de Potência Diária (PD_{Total}) exigida pelas UCs, apenas somou-se todas as Potências Diárias de cada UC, como foi demonstrado na Equação (7):

$$PD_{Total} = \sum PD_{UC} \left[\frac{Wh}{dia} \right] \quad (7)$$

A título de conhecimento e para uso em trabalhos futuros, foi calculada também, a Potência Mensal (PM_{Total}) de todas as UCs, que é a soma das Potências Diárias total, e foi calculada pela Equação (8):

$$PM_{Total} = \sum PM_{UC} \left[\frac{Wh}{mês} \right] \quad (8)$$

2.2 Dimensionamento do arranjo fotovoltaico e banco de baterias

Para o dimensionamento do arranjo fotovoltaico, foi usado o método CRESESB (CRESESB, 2018) e para as baterias o Guia técnico para atendimento com sistemas fotovoltaicos no âmbito dos programas Luz para Todos e Mais Luz para a Amazônia (Eletrobras, 2021).

2.2.1 Arranjo Fotovoltaico

Para que o Arranjo Fotovoltaico fosse dimensionado adequadamente, alguns parâmetros foram adotados, um deles referente aos dados de irradiação solar que foram retirados do site CRESESB. Os dados são apresentados em tabela ou na forma gráfica e revelam os valores de irradiação diária média em kWh/m². dia num plano horizontal ou em ângulo de inclinação igual ao da latitude local para cada mês. Por se tratar de um dimensionamento de sistema isolado é recomendável que se considere a inclinação do GF igual à da latitude local e o valor referente ao mês

com menor média de irradiação, ou seja, o mês de abril. Portanto, sabe-se que se o GF funcionar corretamente nesse período, nos demais meses também atuará de forma a garantir o fornecimento adequado e de qualidade para o local contemplado (CRESESB, 2018), (Pinho e Galdino, 2014) e (Vilalba e Machado, 2019). Como a latitude da localidade onde o GF será instalado é muito baixa, os manuais recomendam adotar uma inclinação para o GF na faixa de 10° a 14°, isso permite que haja um processo de limpeza natural dos painéis decorrente de águas da chuva. O GF deve ser posicionado com as faces dos painéis apontados para a direção do Norte Geográfico, que aqui na região está à direita do Norte Magnético 18°.

Para definir a configuração do arranjo fotovoltaico, foi necessário calcular a Potência Sem Perdas (P_{SP}) para atender demanda necessária (PD_{Total}). A Potência sem perdas é dada pela equação (9) (Eletrobras, 2021).

$$P_{SP} = \frac{PD_{Total} \left[\frac{Wh}{dia} \right]}{HSP \left[\frac{h}{dia} \right]} \quad (9)$$

Onde o valor de Horas de Sol Pleno ($HSP \left[\frac{h}{dia} \right]$) é encontrado a partir dos dados de irradiação fornecidos pelo CRESESB referentes à estação meteorológica mais próxima do local de instalação do sistema fotovoltaico em questão.

Segue a Tabela 1 gerada pelo CRESESB com a localização de Santarém – Pará na data 25/01/2018:

TABELA 1: Dados de Irradiação Solar na região de Santarém - Pará.

Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² . dia]												
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
Plano Horizontal	0° N	4,72	4,78	4,70	4,46	4,56	4,89	4,77	5,27	5,16	5,52	5,47	4,96	4,94
Ângulo igual a latitude	2° N	4,66	4,75	4,70	4,49	4,61	4,97	4,84	5,32	5,17	5,49	5,40	4,89	4,94
Maior média anual	2° N	4,66	4,75	4,70	4,49	4,61	4,97	4,84	5,32	5,17	5,49	5,40	4,89	4,94
Maior mínimo mensal	6° N	4,54	4,68	4,68	4,53	4,71	5,12	4,97	5,40	5,18	5,41	5,26	4,75	4,94

Fonte: CRESESB (2022)

De acordo com a tabela e por motivos já explicados, usa-se o menor valor de Horas de Sol Pleno (HSP) em relação ao Ângulo igual a latitude que ocorre no mês de abril (HSP = 4,49 [h/dia]):

Dada a natureza do processo de conversão de energia é natural a ocorrência de perdas nos equipamentos eletrônicos e no GF, portanto, foram utilizados 2 fatores de correção de perdas dados a seguir, (ELETROBRAS, 2021):

- Fator de Perda nas instalações.

São contabilizadas as perdas ocorridas nas instalações do sistema como perdas nos condutores, conexões, autoconsumo de controladores e inversores, e, sujeiras nas células fotovoltaicas. O valor adotado será $FP = 0,8$ conforme (Vilalba e Machado, 2019).

- Fator de Dimensionamento do Inversores (FDI).

O Fator de Dimensionamento de Inversores (FDI) representa a relação entre a potência nominal CA do inversor (PN_{CA}) e a potência de pico do GF (P_{FV}), como mostra a Equação (10), (PINHO; GALDINO, 2014):

$$FDI = \frac{PN_{CA} [W]}{P_{FV} [Wp]} \quad (10)$$

Para a Potência do Gerador Fotovoltaico Corrigida (P_{Corr}) em relação aos fatores de correção, usamos a Equação (11):

$$P_{Corr} = \frac{P_{SP} [kWp]}{FP} * FDI \quad (11)$$

Com a P_{Corr} podemos determinar a quantidade de módulos (N_{Mod}) que devem ser utilizados na instalação através da Equação (12):

$$N_{Mod} = \frac{P_{Corr} [kWp]}{P_{NM} [kWp]} \quad (12)$$

Onde:

P_{NM} = Potência Nominal do módulo à uma radiação solar de 1000 [W/m²];

2.2.2 Banco de baterias

O banco de baterias é dimensionado e usado visando garantir a qualidade e constância do fornecimento de eletricidade aos objetos e equipamentos instalados nas unidades habitacionais, isso durante a noite ou mesmo quando não haja captação de radiação solar nas comunidades beneficiadas por um período desejado (Eletrobras, 2021), (Eletrobras, 2017).

Para o banco de baterias, usamos a Equação (13) para o cálculo da capacidade Cap [Wh]:

$$Cap [Wh] = \frac{PD(Wh/d) \times Autonomia (d)}{\eta_{cc/ca} \times DOD_{Max} \times Capacidade_{EOL}} \quad (13)$$

A eficiência do banco e baterias é definida de acordo com seu modelo especificado, podendo ser uma das opções da Tabela 2:

TABELA 2: Eficiência dos principais tipos de baterias para uso solar.

Eficiência de Tipos de Baterias	
Para baterias estacionárias de placas positivas planas: $\eta_{Bat} = 86\%$;	0,86
Para baterias estacionárias de placas positivas tubulares: $\eta_{Bat} = 86\%$	0,86
Para baterias de lítio (LFP): $\eta_{Bat} = 98\%$	0,98

Fonte: Eletrobras (2021)

A autonomia recomendada é de 48 horas Eletrobras (2021, p. 37).

A Profundidade Máxima de Descarga do banco de baterias (DOD_{Max}) é o valor complementar do estado da carga. Indica em termos percentuais, quanto da capacidade nominal da bateria foi retirado a partir do estado de plena carga Eletrobras (2021, p. 37).

A Tabela 3 mostra os valores de DOD_{Max} para os principais tipos de baterias:

TABELA 3: DOD_{Max} dos principais tipos de baterias para uso solar.

DOD_{Max} para cada tipo de bateria	
Para baterias Pb-ácido de placas positivas planas: 40%	0,4
Para baterias Pb-ácido com carbono: 50%	0,5
Para baterias Pb-ácido de placas positivas tubulares: 60%	0,6
Para baterias de Lí-íon: 90%	0,9

Fonte: Eletrobras (2021)

A Capacidade Energética Nominal do banco de baterias, ou EOL “*End of Life*”, é definido quando a capacidade da bateria chega a 80% da capacidade nominal. Foi estabelecido para as análises técnicas da Eletrobras um valor igual a 0,9 que implica que o banco de baterias estará superdimensionado em cerca de 10% no início de sua operação de acordo com Eletrobras (2021, p. 38).

Para a quantidade de baterias (N_{Bat}) que irão compor o banco, usamos a Equação (14):

$$N_{Bat} = \frac{Cap [Wh]}{T_{Banco} / I_{Bat}} \quad (14)$$

Onde:

T_{Banco} = Tensão de trabalho do banco de baterias;

I_{Bat} = Corrente de uma bateria;

2.3 Dimensionamento do controlador de carga e inversor e conexões do arranjo fotovoltaico e do banco de baterias

2.3.1 Controlador de carga e conexões do arranjo fotovoltaico

Os controladores têm o objetivo de deixar a bateria no melhor estado possível, garantindo ao beneficiado o fornecimento de energia requisitada, protegendo assim a bateria de descargas profundas e sobrecargas (Reiter et al. 2014). O controlador precisa atender alguns pré-requisitos de instalação, um deles é a Potência Nominal do Arranjo Fotovoltaico (PN_{AF}), dada pela Equação (16):

$$PN_{AF} = N_{\text{Mod}} \times P_{NM} \quad (15)$$

Onde PN_{AF} deve estar abaixo da Potência Máxima de Entrada Fotovoltaica do controlador (P_{EFV}) em T_{Banco} . Como mostra a Equação (16):

$$PN_{AF} < P_{EFV} \text{ para } T_{\text{Banco}} \quad (16)$$

Para definir o esquema de ligação das placas, os valores resultantes da tensão e corrente do arranjo devem obedecer aos parâmetros de entrada FV do controlador.

A tensão nominal do arranjo fotovoltaico ($V_{mp_{AF}}$) deve obedecer a Equação (17):

$$V_{\text{min}} < V_{mp_{AF}} < V_{\text{mp}} \quad (17)$$

Onde:

V_{min} = Tensão Mínima na entrada FV do controlador;

V_{mp} = Tensão de Máxima Potência na entrada FV do controlador;

E a tensão de circuito-aberto ($V_{oc_{AF}}$) do arranjo FV, de acordo com a Equação (18):

$$V_{oc_{AF}} < V_{ME} \quad (18)$$

2.3.2 Inversor e conexões do banco de baterias

A principal utilidade do inversor consiste em estabelecer a conexão entre o gerador fotovoltaico e a rede elétrica de corrente alternada (CA). Neste contexto, a sua principal tarefa consiste em converter o sinal elétrico CC do gerador fotovoltaico para um sinal elétrico CA, e ajustá-

lo para a frequência e o nível de tensão da rede que será conectado (CARNEIRO, 2009). O inversor deve suportar a T_{Banco} e atender a Equação (19):

$$P_{UT_{UC}} < P_{N_{CA}} \quad (19)$$

3. RESULTADOS

3.1 Levantamento da demanda energética

A divisão de itens por UC é mostrada na Tabela 4:

TABELA 4: Quantidade de itens por UC.

UC	Lâmpada	Tomada	Freezer	Ventilador	TV	Celular	Refletores	Roteador
	Quantidade de Itens							
Igreja	2	1	-	-	-	-	-	-
Escola	2	1	1	1	1	4	-	-
Barracões	4	2	-	-	-	-	-	-
Moldem	-	1	-	-	-	-	-	1
Bateria	2	1	-	-	-	-	-	-
Iluminação Pública	-	-	-	-	-	-	4	-

Fonte: Autores (2023)

A Tabela 6 mostra os valores obtidos pelas Equações (1) e (2):

TABELA 5: Potência Total dos Itens e das UCs.

	Qntd	Pot _{item} [W]	PTI [W]
Lâmpada	10	9	90
Tomada	6	100	600
Freezer	1	100	100
Ventilador	1	200	200
TV	1	100	100
Celular	4	15	60
Refletores	4	30	120
Roteador	1	50	50
PUT_{UC} [W]			1320

Fonte: Autores (2023)

A Tabela 7 mostra os valores obtidos pelas Equações (5), (6), (7) e (8):

TABELA 6: Potência Diária e Mensal das UCs.

UC	PD [Wh/dia]	PM [kWh/mês]
IGREJA	125,87	3,78
ESCOLA	856	25,68
BARRACÕES	1428	42,84
MOLDEM	420	12,6
BATERIAS	59	1,77
ILUM PÚBLICA	360	10,8
PD_{Total}		3248,87
PM_{Total}		97,47

Fonte: Autores (2023)

3.2 Arranjo Fotovoltaico:

A Potência sem perdas no arranjo P_{SP} foi calculada pela Equação (9):

$$P_{SP} = \frac{3248,87 \left[\frac{\text{Wh}}{\text{dia}} \right]}{4,49 \left[\frac{\text{h}}{\text{dia}} \right]} = 723,6 \text{ [Wp]}$$

Visto que lidamos com uma instalação real, devemos considerar suas perdas e corrigir o valor da potência do arranjo como mostra a Equação (11), assim, temos:

$$P_{\text{Corr}} = \frac{0,723,6 \text{ [kWp]}}{0,8} \times 1,05 = 0,950 \text{ [kWp]}$$

Nesse caso, adotou-se um valor de FDI = 1,05, que é o valor que nos dará uma potência de pico do gerador FV 5% maior que a potência nominal CA do inversor (Pinho e Galdino, 2014) e para o Fator de Perdas nas instalações, usamos FP = 0,8 conforme (Vilalba e Machado, 2019).

O número de módulos FV que irão compor o arranjo fotovoltaico é determinado pela Equação (12), onde o modelo do módulo será o Intelbras EMST 335P HC de 335 Wp, tendo uma potência nominal de $P_{NM} = 335 \text{ [Wp]}$. Tendo como resultado:

$$N_{\text{Mod}} = \frac{0,950}{0,335} = 2,83, \text{ valor que deve ser arredondado para } 3$$

De acordo com o resultado acima, o número de painéis a serem adotados deveriam ser 3, entretanto por se tratar de uma comunidade muito distante da zona urbana, optou-se por instalar 4 painéis, para assim permitir a garantia de geração de energia mesmo ocorrendo uma falha em um dos módulos durante a vida útil do projeto. Assim, a Potência Nominal do arranjo fotovoltaico, de acordo com a Equação (15), será:

$$P_{N_{AF}} = 4 \times 335 \text{ [Wp]} = 1340 \text{ [Wp]}.$$

3.3 Banco de baterias

O modelo de bateria adotado é a Bateria Estacionária Moura 12MN220 de chumbo (Pb)-Ácido com tensão de 12V e $I_{Bat} = 220 \text{ Ah}$. A eficiência do banco de baterias para baterias estacionárias de placas planas será de $\eta_{Bat} = 0,86$, no caso em questão, $\eta_{Bat} = \eta_{cc/ca}$ Eletrobras (2021, p. 38)

Aplicando à Equação (13) para a capacidade do banco de baterias (Cap [Wh]):

$$Cap = \frac{3248,87 \text{ [Wh/dia]} \times 2 \text{ [dia]}}{0,86 \times 0,4 \times 0,9} = 20987,51 \text{ [Wh]}$$

A tensão de trabalho do banco de baterias foi definida em $T_{Banco} = 24 \text{ V}$ para funcionar juntamente ao controlador que foi escolhido paralelamente. Assim, para definir a quantidade de baterias N_{Bat} , aplicamos a Equação (14):

$$N_{Bat} = \frac{20987,51 \text{ [Wh]}}{24[V]/220[Ah]} = 3,97 \text{ ou aproximadamente 4 baterias}$$

Então, o banco com $N_{Bat} = 4$, tem uma capacidade total de $I_{Banco} = 880 \text{ Ah}$ para atender uma demanda de $I_{Demanda} = 874,48 \text{ Ah}$. As baterias foram conectadas duas a duas em série com o circuito final em paralelo trabalhando numa tensão de trabalho $T_{Banco} = 24 \text{ V}$, para uma autonomia de 2 dias de uso, sem carregamento.

3.4 Controlador de carga e arranjo fotovoltaico

Com base nesses requisitos, foi escolhido o controlador de carga Intelbras - ECM 6048 60A. Onde, de acordo com a Equação (16), ele é adequado para a tensão de trabalho $T_{Banco} = 24 \text{ V}$, que suporta até $P_{EFV} = 1600 \text{ W}$.

$$1340 \text{ [Wp]} < 1600 \text{ [W]} \text{ para } T_{Banco} = 24 \text{ V}$$

Os parâmetros de entrada FV do controlador e do módulo fotovoltaico Intelbras EMST 335P HC são mostrados na Tabela 7 e Tabela 8, respectivamente:

TABELA 7. Parâmetros de Entrada FV do controlador.

Parâmetros de Entrada FV - ECM 6048		
	Min	Máx
	(V)	(V)
Faixa de Tensão Solar (V_{mp} -V)	36	120
Tensão Máxima Solar (V_{oc} -V)	120	
Corrente Máxima de Carregamento de bateria	60	A

Fonte: Manual do controlador Intelbras certificado do INMETRO (001002/2020)

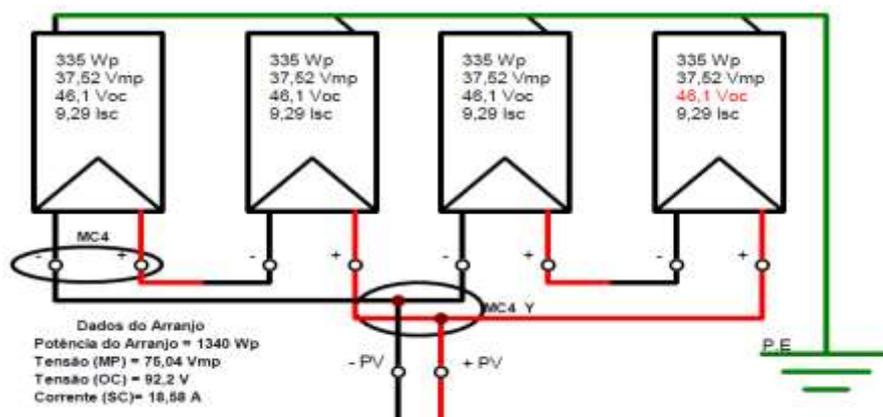
TABELA 8. Dados do módulo fotovoltaico.

Módulo Fotovoltaico EMST 335P HC		
V_{oc} (Tensão de Circuito Aberto)	46,1	V
I_{sc} (Corrente de Curto-Circuito)	9,29	A
V_{mp} (Tensão de máxima Potência)	37,52	V
I_{mp} (Corrente de máxima Potência)	8,93	A

Fonte: Especificações do módulo segundo portaria nº (004/2011)

Foi definida a seguinte configuração dos módulos, exibido pela Figura 1:

FIGURA 1: Conexão entre os módulos fotovoltaicos.



Fonte: Autores (2023).

Na configuração realizada, para as placas conectadas em série, a Tensão de Máxima Potência $V_{mp} = 75,04$ [V] gerada pelo arranjo está na faixa de operação do controlador e a Tensão de Circuito Aberto $V_{oc} = 92,2$ [V] está abaixo da tensão máxima solar permitida pelo controlador.

A corrente de curto-circuito $I_{sc} = 18,58$ [A], para as placas conectadas em paralelo, está abaixo da corrente máxima de carregamento da bateria. O que viabiliza a configuração das placas com os parâmetros do controlador de carga.

3.5 Inversor

De acordo com a potência total das UCs $P_{UT_{UC}} = 1320$ [W], um inversor de Potência Nominal de Saída igual à 1500 Watts é o suficiente para as demandas das instalações. O modelo escolhido foi o ISV 1501 - INTELBRAS. Segue a Tabela 9 com os dados do inversor:

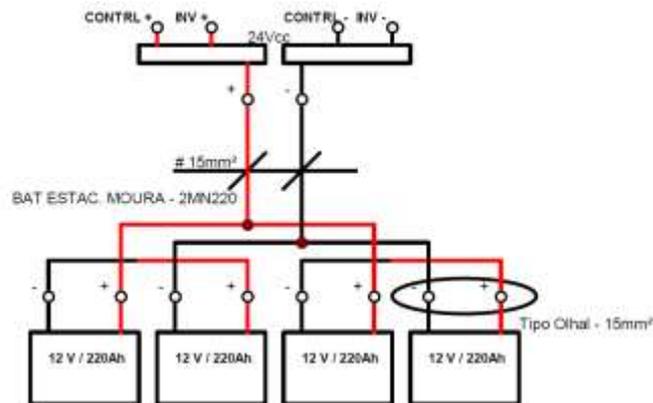
TABELA 9: Dados do Inversor.

Inversor ISV 1501 - INTELBRAS	
Potência Nominal de Saída (W)	1500
Entrada (Vcc)	24
Saída (Vca)	127
Frequência (Hz)	60

Fonte: Manual do inversor certificado INMETRO (007422/2020)

Os cabos utilizados para as conexões das baterias com o controlador e o inversor foram de 15 mm². As baterias foram conectadas igualmente à conexão realizada pelos módulos fotovoltaicos. Segue a Figura 2 mostrando o diagrama das conexões.

FIGURA 2: Diagrama de conexão entre as baterias



Fonte: Autores (2023).

3.1.1. Dos dispositivos de segurança e aterramento

Todas as conexões realizadas entre os equipamentos devem ter um dispositivo que o proteja contra qualquer eventualidade como uma descarga vinda de um raio. Os disjuntores e DPSs (Dispositivos de Proteção contra Surtos) instalados no lado CA e CC, foram dimensionados de acordo com a ABNT NBR 5361 permitida pela NBR 5410/2004. Segue os dados na Tabela 10:

TABELA 10: Disjuntores que isolam as unidades consumidoras.

	Potência Total [W]	Tensão da rede CA [V]	Corrente da UC [A]	Disjuntor [A]
Igreja	118	127	0,93	10
Escola	218	127	1,72	10
Ponto de acesso à internet	150	127	1,18	10
Unidade Habitacional	596	127	4,69	10
Iluminação Pública	120	127	0,94	10
Casa do Banco de baterias	118	127	0,93	10

Fonte: Autores (2022).

Para o lado CC, no caso em questão, foi instalada uma *string box* com uma chave seccionadora e um DPS. Segue a Tabela 11 com os dados:

TABELA 11: Proteção da entrada FV do controlador.

	Chave Seccionadora		DPS	
	Tensão [Vcc]	Corrente[A]	Tensão [Vcc]	Corrente[kA]
Entrada FV do Controlador	1000	32	1040	40

Fonte: Autores (2022).

Para o aterramento do sistema, foi usada a conexão triângulo onde 3 barras de cobre, de tamanho igual à 1,2 metros, são enterradas na vertical formando um triângulo equilátero entre si. O aterramento foi realizado atrás da casa das baterias.

3.1.2. Do funcionamento e manutenção do sistema

A instalação do sistema teve duração de 6 dias e seu funcionamento iniciou no dia 26/11/2022. Mesmo após 256 dias em funcionamento, o sistema não apresentou nenhum tipo problema e continua em pleno funcionamento desde então. Segue a Figura 4 mostrando dados do funcionamento do sistema:

FIGURA 4: Potência gerada (PotGr) e potência consumida (PotCd) pelo sistema até 06/08/2023



Fonte: Autores (2023)

São realizadas visitas em períodos regulares para a vistoria e manutenção do sistema, contudo, o projeto custeou o curso de capacitação para 3 comunitários de cada comunidade com o objetivo de ensiná-los a supervisionar e gerenciar o sistema. O curso contou com a participação de 3 comunitários de cada comunidade beneficiada pelo projeto que foi realizado, antes da instalação, pelo Laboratório de Energias Renováveis (LABER), localizado na UFOPA. Após o fim dos 5 dias de curso, cada comunidade recebeu um equipamento para identificar qualquer irregularidade na rede. Segue a Figura 5 mostrando o painel dos componentes do sistema:

FIGURA 5: Painel dos componentes do sistema



Fonte: Autores (2022)

Segue a Figura 6 mostrando o funcionamento das instalações internas da escola:

FIGURA 6: Escola da comunidade



Fonte: Autores (2022)

4. CONCLUSÕES

A utilização de sistemas fotovoltaicos tem sido uma das alternativas para o fornecimento de energia para comunidades isoladas devido a capacidade de poder ser instalado em qualquer parte do mundo, além disso, por se tratar de uma fonte limpa e renovável, torna-se também ambientalmente viável, pois contribui para a redução de gases poluentes.

Outro fator positivo desse sistema é a fácil manutenção, os próprios moradores da comunidade podem manter os geradores funcionando normalmente. Neste projeto, três moradores locais passaram por treinamento ministrado pela equipe do projeto para entender e conhecer os equipamentos e dessa forma poder cuidar corretamente de todo o sistema fotovoltaico.

A partir dos resultados obtidos neste trabalho, a implantação de um sistema fotovoltaico possibilitou, de forma eficaz, o atendimento às demandas básicas da comunidade como, por exemplo, o fornecimento de energia elétrica para iluminação pública, o que evita acidentes com animais peçonhentos comuns na região e para a utilização de um freezer destinado a conservação da alimentação escolar. Além disso, o sistema também proporcionou uma melhoria na qualidade de vida dos comunitários que agora contam com um ponto de acesso à internet que pode estar ativo por mais horas ao dia, o que facilita a comunicação com as outras localidades. Outro benefício para a comunidade é que com energia elétrica tem-se a possibilidade de serem ofertadas aulas noturnas para educação de adultos.

DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis por este trabalho.

REFERÊNCIAS

ABSOLAR – Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/>. Acesso em: 19/08/2023.

ARAÚJO, C. F. Eletrificação Rural em Comunidades Isoladas na Amazônia: Introdução da Energia Solar Fotovoltaica na Reserva Extrativista do Rio Unini, AM. Tese de mestrado no Programa de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia – PPG/CASA – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 83 p., 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR5410 – Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro, ABNT, 2004.

CARNEIRO, Joaquim. Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos. Sistemas ligados à rede elétrica e sistemas autônomos. 2009. Disponível em: <https://hdl.handle.net/1822/16965> . Acesso em: 28 ago. 2023.

ELETRORBRAS. Especificações Técnicas dos Programas para Atendimento às Regiões Remotas dos Sistemas Isolados no Âmbito do Programa Luz para Todos. Rio de Janeiro, Ministério de Minas e Energia, 2017.

ELETRORBRAS. Guia Técnico para Atendimento com Sistemas de Geração Fotovoltaica no Âmbito dos Programas Luz para Todos e Mais Luz para a Amazônia. Rio de Janeiro, 2021.

INTERBRAS. ECM 6048 – Controlador de Carga MPPT. Disponível em: <https://backend.intelbras.com/sites/default/files/2020-07/Datasheet-ecm-6048.pdf>. Acesso em: 19/08/2023.

INTELBRAS. ISV 1501-Inversor de Onda Senoidal Pura. Disponível em: <https://backend.intelbras.com/sites/default/files/2023-04/Datasheet%20ISV%201501.pdf>. Acesso em: 19/08/2023.

INTELBRAS. Manual do Usuário – EMST 335P HC. Painel Solar Fotovoltaico. Disponível em: <https://backend.intelbras.com/sites/default/files/2022-01/manual-do-usuario-emsc-415m-hc-emst-335p-hc-emst-340p-hc-g2-emsz-420m-hc-emsz-425m-hc-emsz-430m-h-emsz-430mc-hc-emsj-445m-hc-pt.pdf>. Acesso em: 24/08/2023.

LOJADOMECANICO. Gerador de Energia Cabinado a Diesel TDG8500SLEXP 4T 498cc 7KW Mono Bivolt com AVR e Partida Elétrica - TOYAMA-251-074. Disponível em: <https://www.lojadomecanico.com.br/produto/121011/33/326/gerador-de-energia-cabinado-a-diesel-tdg8500slexp-4t-498cc-7kw-mono-bivolt-com-avr-e-partida-eletrica-toyama-251-074>. Acesso em: 24/08/2023.

NUNEZ, M. P.; PINHO, M. Projeto de um Sistema de Geração de Energia Solar Fotovoltaica para Comunidades Isoladas. Tese de conclusão de curso em Engenharia Mecânica – Mackenzie São Paulo, 22 p. 2021.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. CEPEL – DTE – GTES – CRESESB. Rio de Janeiro, 530 p., 2014.

REITER, R. A.; REITER, D. O.; PÉRES, A. Controlador de Carga de acordo com a portaria 396 do INMETRO. Dissertação em Engenharia Elétrica e de Telecomunicações – Universidade Regional de Blumenau Santa Catarina, 10 p., 2014.

VILLALBA, F. D. C.; MACHADO L. A. W. Análise de Viabilidade Técnica e Econômica de um Projeto de Sistemas Fotovoltaico para uma Unidade de Agricultura Familiar em Foz do Iguaçu/PR. Tese de conclusão de curso em Engenharia de Energia – Instituto Latino-americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território. UNILA. Paraná, 18 p., 2019.