

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

JÚLIA LÍVIA ROCHA TECHIO

ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA IMPLANTAÇÃO DE  
SISTEMA FOTOVOLTAICO *OFF-GRID* EM UM EMPREENDIMENTO RURAL

CURITIBA

2023

JÚLIA LÍVIA ROCHA TECHIO

ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA IMPLANTAÇÃO DE  
SISTEMA FOTOVOLTAICO *OFF-GRID* EM UM EMPREENDIMENTO RURAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada ao curso de Pós-Graduação em Gestão Estratégica de Energias Naturais Renováveis, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Gestão Estratégica de Energias Naturais Renováveis.

Orientadora: Profa. Dra. Lucieli Rossi

CURITIBA

2023

## RESUMO

**Resumo.** A energia solar no país e no mundo tem tido um expressivo aumento nos últimos anos. No Brasil, destacam-se os sistemas fotovoltaicos *on-grid* por serem mais economicamente viáveis. Todavia, o sistema isolado pode ser a única opção para locais mais remotos. O objeto de estudo do trabalho é um parcelamento de solo que aguarda a colocação do medidor de energia pela distribuidora de energia de Goiás para iniciar as vendas das chácaras. A distribuidora de energia tem cometido atrasos nas vistorias e ligações de novas redes de extensão no estado, o que tem causado prejuízos financeiros ao empreendedor e a outros empreendimentos similares na região. Este trabalho aborda a viabilidade técnica e financeira de um projeto de sistema fotovoltaico *off-grid* para uma unidade de chácara do empreendimento rural. A análise técnica engloba todos os cálculos para dimensionamento do sistema fotovoltaico. Já, para a análise de viabilidade econômica se utilizou dos índices financeiros: Valor Presente Líquido, Taxa Interna de Retorno, Taxa Mínima de Atratividade e o *Payback* para definir se a implementação é viável.

Palavras-chave: Sistemas fotovoltaicos. Viabilidade técnica. Viabilidade econômica. Sistema isolado *off-grid*. Energia renovável.

## ABSTRACT

Solar energy in the country and in the world has had a significant increase in recent years. In Brazil, on-grid photovoltaic systems stand out because they are more economically viable. However, the isolated system may be the only option for more remote locations. The object of study of the work is a subdivision of land that awaits the placement of the energy meter by the energy distributor of Goiás to start the sales of the farms. The energy distributor has been delaying the inspections and connections of new extension networks in the state, which has caused financial losses to the entrepreneur and other similar enterprises in the region. This work addresses the technical and financial viability of an off-grid photovoltaic system project for a farm unit of the rural enterprise. Technical analysis encompasses all calculations for sizing the photovoltaic system. For the economic viability analysis, the following financial indices were used: Net Present Value, Internal Rate of Return, Minimum Rate of Attractiveness and Payback to define whether the implementation is viable.

Keywords: Photovoltaic systems. Technical viability. Economic viability. Off-grid isolated system. Renewable energy

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>05</b>
1.2	OBJETIVOS .....	06
1.2.1	Objetivo geral .....	06
1.2.2	Objetivos específicos.....	06
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>06</b>
2.1	SISTEMA FOTOVOLTAICO .....	06
2.2	SISTEMA DE ARMAZENAMENTO .....	07
2.3	ANÁLISE DE VIABILIDADE .....	08
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>09</b>
3.1	DIMENSIONAMENTO DO GERADOR.....	10
3.2	DIMENSIONAMENTO DO CONTROLADOR DE CARGA .....	13
3.3	DIMENSIONAMENTO DO BANCO DE BATERIA.....	14
3.4	DIMENSIONAMENTO DO INVERSOR .....	16
3.5	GERAÇÃO DE ENERGIA DIÁRIA .....	15
3.6	DIMENSIONAMENTO DAS PROTEÇÕES .....	17
3.6.1	Cabeamento CC.....	17
3.6.2	Cabeamento CA .....	18
3.6.3	Disjuntor CA e CC .....	18
3.6.4	Fusível CC.....	19
3.6.5	DPS .....	19
3.7	FLUXO DE CAIXA .....	19
3.8	RETORNO DO INVESTIMENTO .....	20
<b>4</b>	<b>APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS .....</b>	<b>21</b>
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>25</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>26</b>
	<b>ANEXO 1 – RETORNO DO INVESTIMENTO.....</b>	<b>30</b>
	<b>ANEXO 2 – FLUXO DE CAIXA.....</b>	<b>31</b>

## 1 INTRODUÇÃO

No Brasil, muitas regiões rurais e remotas não têm acesso à energia elétrica devido a questões geográficas e/ou pela quantidade de consumidores, o que pode tornar inviável a implantação de linha de transmissão de energia elétrica convencional por parte das concessionárias de energia. Uma alternativa é a geração de energia elétrica através de sistema solar fotovoltaico (SFV) isolado com sistema de armazenamento.

Os sistemas de energia solar fotovoltaicos se dividem em dois grupos: 1) SFV *on-grid* que é conectado à rede pública de distribuição. O sistema recebe e envia energia a rede da concessionária de energia elétrica pelo SIN (Sistema Interligado Nacional). 2) Já, o SFV *off-grid* utiliza de bancos de baterias próprios para receber e armazenar energia para usar em períodos de nenhuma ou baixa geração de energia.

Os sistemas fotovoltaicos *on-grid* têm maior destaque por serem mais economicamente viáveis. Todavia, o sistema isolado pode ser uma boa opção para locais mais remotos. Ademais, a energia solar atrai mercados e organizações preocupadas com soluções socioambientais que não agriam a natureza.

Em Goiás, a concessionária de energia tem cometido atrasos nas vistorias e ligações de novas redes de extensão no estado. Esse processo ocorre, a mais de um ano, em um empreendimento rural em Bela Vista de Goiás. Esse empreendimento se trata de um parcelamento de solo que aguarda a colocação do medidor de energia pela distribuidora para iniciar as vendas de chácaras. Os atrasos têm causado prejuízos financeiros ao empreendedor, sendo que, outros empreendimentos similares da região enfrentam os mesmos desafios.

Este trabalho estuda a viabilidade técnica e financeira de implantar um sistema fotovoltaico autônomo em uma unidade de chácara do parcelamento rural. O sistema será instalado sob o telhado da residência modelo da chácara 01. A residência é um espaço de lazer projetado para dois adultos passarem os finais de semana e feriados.

O presente trabalho está organizado da seguinte forma: item 2) Revisão de literatura sobre os temas: sistema fotovoltaico, sistema de armazenamento e análise de viabilidade financeira. Já, o item 3) aborda a Metodologia do dimensionamento do sistema fotovoltaico *off-grid* e o custo de cada equipamento, além dos fluxos de caixa

elaborados. No item 4) consta a Apresentação dos resultados e análise de viabilidade financeira. Por fim, no item 5) serão feitas as Considerações finais.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

Avaliar se um projeto de sistema fotovoltaico isolado é uma alternativa tecnicamente e financeiramente viável para o consumidor do SFV.

### 1.2.2 Objetivos específicos

1) Identificar o consumo médio diário das principais cargas elétricas da residência modelo do empreendimento rural; 2) Analisar o índice de irradiação solar no local; 3) A partir dos dados coletados e analisados, dimensionar os equipamentos do sistema fotovoltaico *off-grid*; 4) Orçar o custo do sistema; 5) Elaborar o fluxo de caixa (FC) do empreendedor rural relativo à venda do SFV *off-grid* instalado na residência modelo da chácara 01. 6) Elaborar o retorno do investimento e o FC do comprador do sistema; 7) Analisar a viabilidade do projeto através dos índices financeiros dos fluxos de caixa.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 SISTEMA FOTOVOLTAICO

A energia solar fotovoltaica consiste na conversão de energia solar em eletricidade, sendo considerada uma fonte de limpa, renovável e inesgotável. Outra vantagem é o longo tempo de vida dos seus equipamentos (da ordem dos 30 anos), além da baixa manutenção, modularidade e portabilidade (BRITO & SILVA, 2006).

Segundo Almeida et al. (2015, p. 6), os painéis solares são os principais componentes do sistema fotovoltaico de geração de energia, os quais são formados por um conjunto de células fotovoltaicas associadas, eletricamente, em série e/ou paralelo, dependendo das tensões e/ou correntes determinadas em projeto. O conjunto desses módulos é denominado de gerador fotovoltaico e são os responsáveis no processo de captação da irradiação solar e a sua transformação em energia elétrica.

De acordo com Souza et al. (2021, p.1), o sistema fotovoltaico *off-grid* é formado por quatro componentes: placas solares, controlador de carga, inversor e baterias, que não depende da rede elétrica convencional para ser utilizado, sendo possível sua utilização em locais de difícil acesso no qual não há rede de distribuição elétrica.

Em relação aos sistemas fotovoltaicos isolados, os custos de manutenção são variáveis e majoritariamente relacionados a troca das baterias entre 5 e 10 anos, as quais aumentam de preço no decorrer do tempo devido a inflação (RIBEIRO, 2020).

## 2.2 SISTEMA DE ARMAZENAMENTO

O sistema fotovoltaico autônomo precisa de um controlador de carga para garantir que o painel fotovoltaico não danifique a bateria conectada ao mesmo. Sendo que, a forma mais simples de se implementar é através de um diodo conectado entre a bateria e o painel, a fim de garantir que a bateria não se descarregue no painel durante a noite. Uma versão mais sofisticada permite que o controlador de carga desconecte o painel quando as baterias se encontram completamente carregadas para prevenir uma sobrecarga, ou mesmo uma descarga profunda. Modelos ainda mais completos incluem algoritmos de rastreamento de máxima potência MPPT (RA REITER, RD DE OLIVEIRA REITER, A PÉRES, 2014).

O inversor de frequência tem a função de transformar energia de corrente contínua (CC) para corrente alternada (CA). O inversor deve dissipar o mínimo de potência, de modo a evitar perdas e produzir uma tensão com baixo teor de harmônicos. Inversores isolados comumente operam com tensões de entrada de 12, 24, 48 ou 120 Volts (CC) que geralmente são convertidos em 120 ou 240 Volts (CA), na frequência de 60 ou 50 Hertz (FERIOLI et al., 2005).

Segundo Cunha e Silva (2020), o sistema *off-grid* é totalmente desligado da concessionária e dependente da energia armazenada nas baterias. Sendo que, a bateria estacionária nasceu da demanda de usar baterias em sistemas solares, com mais capacidade de carga.

A bateria estacionária oferece uma quantidade constante de corrente por um longo período. É projetada para ciclos de descarga profundos e pode ser descarregada completamente diversas vezes. Essas baterias têm placas de chumbo mais espessas e suportam quantidades maiores de ciclos de carga e descarga, uma

necessidade para atender à demanda por esse tipo de uso. Dessa maneira, as baterias estacionárias sofrem bastante descarga sem prejudicar a sua vida útil (MOURA, 2019).

De acordo com o Instituto Solar (2019), as baterias de chumbo-ácido têm sido usadas em sistemas de energia fora da rede por décadas e são uma das opções mais econômicas disponíveis no mercado no setor de armazenamento de energia doméstica, sendo uma boa opção para os consumidores que desejam sair da rede. Já, as baterias de íons de lítio são mais leves e compactas do que as baterias de chumbo-ácido, além de possuir uma maior profundidade de descarga (Pd) e tempo de vida, em contrapartida, têm maior custo. A bateria de água salgada é um recém-chegado na indústria de armazenamento de energia doméstica. Ao contrário de outras opções, essas baterias não contêm metais pesados, mas possuem eletrólitos de água salgada. Enquanto as baterias que usam metais pesados, incluindo baterias de chumbo-ácido e íon-lítio, precisam ser descartadas com processos especiais, uma bateria de água salgada pode ser facilmente reciclada. No entanto, como uma nova tecnologia, as baterias de água salgada são relativamente não testadas.

### 2.3 ANÁLISE DE VIABILIDADE

A Taxa Mínima de Atratividade (TMA) representa uma taxa de juros mínima aceitável pelo investidor. Os fatores considerados na taxa são: o custo de oportunidade, o risco do negócio e a liquidez. O primeiro representa um retorno mínimo que poderia se obter investindo no mercado financeiro sem risco, por exemplo, o retorno da renda fixa ou de investimento em Títulos Públicos. O segundo eleva o percentual da taxa, devido aos riscos do negócio. Já a liquidez pondera a facilidade de os ativos investidos converterem em dinheiro (LOUSA; LIMA, 2018).

A viabilidade econômica pode ser feita com enfoque no índice Valor Presente Líquido (VPL), que considera o valor do dinheiro no tempo, e consiste em uma técnica sofisticada de orçamento de capital (GER et al., 2009). Para fins de cálculo, o VPL é a soma algébrica dos valores descontados do fluxo de caixa a ele associado, logo, é a diferença do valor presente das receitas menos o investimento inicial (SILVA; FONTES, 2006).

Sendo que, a avaliação acerca da rentabilidade do investimento deve ser feita através da análise do VPL, caso seja positivo, significa que é lucrativo, logo se o

indicador for negativo consiste em um investimento deficitário. Sendo que, quanto maior for a taxa mínima de atratividade menor será o VPL (BARBIERI et al., 2007).

A TIR é um percentual de rentabilidade do projeto analisado que, comparado com a TMA, indicará a lucratividade do empreendimento. Além disso, a TIR será determinada quando o VPL for nulo, por conseguinte, o investimento será neutro e essa taxa se igualará a TMA. Sendo que, se a TIR for maior do que a TMA, o VPL será positivo, portanto, o investimento será lucrativo.

Os indicadores *payback* simples e o *payback* descontado diferenciam-se entre si pelo segundo considerar o valor do dinheiro no tempo. Esse índice expressa o período necessário para que as entradas de caixa se igualem ao que foi inicialmente investido, considerando uma medida de risco do projeto. Portanto, possibilita a análise da viabilidade do empreendimento ao indicar o tempo de retorno do investimento. O *payback* descontado deve ser calculado utilizando uma Taxa Mínima de Atratividade (TMA) que reflita a realidade alternativa do investimento (LIMA et al., 2013).

### 3 METODOLOGIA

O estudo de caso é um sistema fotovoltaico (SFV) *off-grid* que será implementado na chácara 01 de um parcelamento rural, situado em uma fazenda na zona rural saída para Goiânia, em Bela Vista de Goiás, Goiás. Coordenadas geográficas da residência: -16.940809 (latitude) e -49.006702 (longitude). O SFV será instalado no telhado cerâmico dessa residência que não é abastecida pela energia elétrica da concessionária de energia.

O processo de dimensionamento percorre os seguintes passos: 1) Estimativa de consumo diário em Watt e determinação o Wh/dia; 2) Índices de irradiação solar do local através dos dados do CRESESB; 3) Dimensionamento dos módulos fotovoltaicos, controlador de carga, baterias e inversor; 4) Cálculo da geração de energia elétrica diária e 5) Dimensionamento das proteções.

No dimensionamento das cargas foi considerado o uso de eletrodomésticos, aparelhos eletrônicos e elétricos residenciais de uso cotidiano. Ressalta-se que a residência foi projetada para uma família formada por duas pessoas. Os valores de potência e consumo médio mensal das cargas da residência estão apresentadas nas Tabelas 1 e 2. Sendo que, esses dados foram obtidos com auxílio das seguintes

tabelas: 1) Tabela de Consumo de Energia dos Aparelhos Elétricos da Universidade Estadual Paulista (UNESP) e 2) Tabela de Consumo Diário e Mensal de Energia Elétrica na Residência (JENSEN, 2021).

TABELA 1 – POTÊNCIA E CONSUMO MÉDIO MENSAL DOS APARELHOS ELÉTRICOS

Quantidade	Carga	Potência (W)	Dias Estimados Uso/Mês	Média Utilização/Dia	Consumo Médio Mensal (Wh)
6	Lâmpada de LED	9	30	6	54
1	Geladeira 2 portas	92	30	24	2208
1	Televisor em cores	110	30	5	550
1	Lavadora de roupas	500	12	1	500
1	Ventilador pequeno	65	30	8	520
1	Fogão comum	60	30	0,08	5
1	Notebook	100	30	9	900
	Cargas esporádicas	420			232
Consumo Mensal de Energia Elétrica		1401			5239

FONTE: O autor (2023).

TABELA 2 – POTÊNCIA E CONSUMO MÉDIO MENSAL DAS CARGAS ESPORÁDICAS

Quantidade	Carga	Potência (W)	Dias Estimados Uso/Mês	Média Utilização/Dia	Consumo Médio Mensal (Wh)
1	Liquidificador	350	1	0,167	58
2	Carga de celular	5	7	4	20
1	Modem de internet	5	7	24	120
1	Prancha	55	1	0,25	14
	Cargas esporádicas	420			232

FONTE: O autor (2023).

A Tabela 1 e 2 apresentam a potência (420 W) e o consumo médio mensal das cargas esporádicas (232 Wh), enquanto a Tabela 1 apresenta os valores de potência total da carga (1401 W) e consumo total da carga (5239 Wh).

### 3.1 DIMENSIONAMENTO DO GERADOR

O site do sistema Centro de Referência para Energia Solar e Eólica (CRESEB) possibilita o levantamento dos índices de irradiação solar de um local. A partir dos dados das coordenadas geográficas da residência: -16.940809 (latitude) e -49.006702

(longitude) da residência da chácara 01 foi possível identificar a média de irradiação solar diária.

FIGURA 1 – IRRADIAÇÃO SOLAR DIÁRIA MÉDIA MENSAL (kWh/m<sup>2</sup>. dia)

Estação: Bela Vista de Goiás

Município: Bela Vista de Goiás, GO - BRASIL

Latitude: 16,901° S

Longitude: 49,049° O

Distância do ponto de ref. ( 16,940809° S; 49,006702° O ): 6,3 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m <sup>2</sup> .dia]												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
✓	Plano Horizontal	0° N	5,62	5,63	5,26	5,16	4,81	4,57	4,78	5,67	5,54	5,63	5,45	5,58	5,31	1,10
✓	Ângulo igual a latitude	17° N	5,17	5,39	5,32	5,61	5,61	5,54	5,71	6,42	5,78	5,49	5,07	5,09	5,52	1,35
✓	Maior média anual	19° N	5,10	5,34	5,31	5,64	5,68	5,63	5,79	6,48	5,78	5,45	5,01	5,01	5,52	1,47
✓	Maior mínimo mensal	11° N	5,36	5,52	5,34	5,49	5,37	5,24	5,42	6,21	5,74	5,58	6,24	5,29	5,48	,97

FONTE: CRESEB (2023).

No local estudado, o ângulo de inclinação ideal dos módulos corresponde ao de 11° N cuja mínima mensal de irradiação é de aproximadamente 5,24 kWh/m<sup>2</sup>/dia no mês de novembro juntamente com uma variação do delta de apenas 0,97 kWh/m<sup>2</sup>/dia entre os valores máximos e mínimos de irradiação média mensal.

O Manual de Engenharia para Sistema Fotovoltaicos do CRESEB indica os cálculos para dimensionamento de um sistema solar fotovoltaico. Para se determinar a potência pico do painel fotovoltaico, é dimensionado o sistema gerador sobre 90% do consumo da residência. Logo, o consumo diário médio anual da edificação é:

$$E \text{ (Wh/dia)} = 0,9 \times 5239 = 4715,10 \text{ Wh/dia}$$

O CRESEB indica que a taxa de desempenho do sistema (TD) é de 0,7 e 0,8 no Brasil. A partir do valor de  $HSP \text{ (h)} = 5,24$ , que é a média diária anual das Horas de Sol Pico (HSP) incidentes no plano do painel, é possível efetuar o cálculo da potência de pico do painel fotovoltaico  $P_{FV}(W_p)$ :

$$P_{FV}(W_p) = \frac{\left(\frac{E}{TD}\right)}{HSP}$$

$$P_{FV}(W_p) = \frac{\left(\frac{4715,10}{0,8}\right)}{5,24}$$

$$P_{FV}(W_p) = 1124,79 W_p$$

Para determinar o número de módulos fotovoltaicos foi escolhido o painel Jinko Solar JK M470N-60HL4-V. A Tabela 3 apresenta as características do fabricante.

TABELA 3 – DADOS DO MÓDULO JINKO SOLAR JK M470N-60HL4-V

Item	Valor
Potência máxima nominal (Pmax)	470 W
Tensão máxima (Vmp)	35,05 V
Corrente máxima (Imp)	13,41 A
Tensão de circuito aberto (Voc)	42,38 V
Corrente de curto-circuito (Isc)	14,15 A
Dimensões:	1,903 x 1,134 m
Eficiência do módulo	21,78%

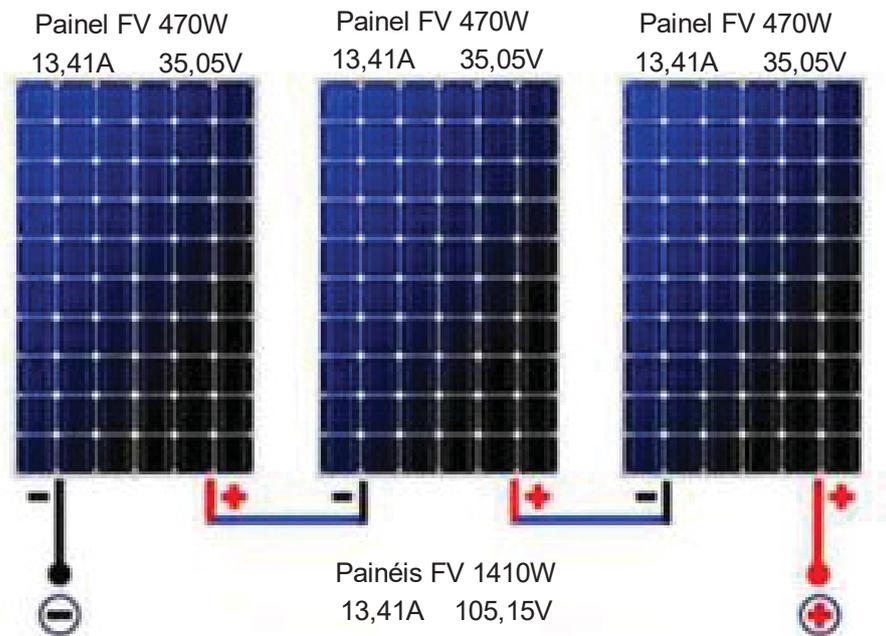
FONTE: Jinko (2023).

A partir do cálculo da potência de pico do painel fotovoltaico e da escolha da potência do painel, é possível determinar a quantidade de 3 painéis fotovoltaicos de 470 W cada.

$$N^{\circ}_{\text{painéis}} = \frac{P_{FV}}{P_{max}} = \frac{1124,79}{470} = 2,39 \text{ painéis}$$

A seguir, a Figura 2, apresenta o sistema de montagem dos painéis fotovoltaicos em série.

FIGURA 2 – SISTEMA DE MONTAGEM DOS PAINÉIS FV



FONTE: O autor (2023).

### 3.2 DIMENSIONAMENTO DO CONTROLADOR DE CARGA

O painel fotovoltaico escolhido possui uma tensão de operação de 35,05 V e 14,15 A de corrente elétrica de curto. A partir desses dados é possível identificar o controlador de carga adequado pela fórmula:

$$I_{controlador} = 1,25 \cdot N_{STRINGS} \cdot I_{SC}$$

$$I_{controlador} = 1,25 \cdot 1 \cdot 14,15 = 17,69 \text{ A}$$

Sendo que,  $I_{controlador}$  é a corrente mínima do controlador,  $N_{STRINGS}$  é o número de strings em paralelo e  $I_{SC}$  é a corrente de curto-circuito do módulo. Conforme cálculo apresentado, o sistema necessitará de pelo menos um controlador de carga de aproximadamente 18 A. Para a segurança da instalação e dos outros componentes do sistema fotovoltaico, foi escolhido o controlador de carga modelo Epever XTRA 4415N.

As strings são conectadas entre si por uma caixa de conexão conhecida como string boxes, que concentra os cabos elétricos das fileiras em dois barramentos, ou seja, positivo e negativo. Além disso, aloja as conexões do circuito de CC oriundas do painel fotovoltaico, por meio dos dispositivos de proteção, como por exemplo, fusíveis, chave seccionadora, disjuntores e proteção contra surto (DPS) (SILVA, 2018).

A seguir, a Tabela 4, apresenta as características técnicas desse equipamento.

TABELA 4 – DADOS DO CONTROLADOR DE CARGA EPEVER XTRA 4415N.

Item	Características
Tipo de Algoritmo de Carga:	MPPT
Modelo:	XTRA 4415N
Tensão Nominal do Sistema:	12/24/36/48 V (automático)
Corrente de Carga:	40 A
Corrente de Descarga:	40 A
Eficiência Máxima:	97,40%
Tipos de Bateria:	Selada, Gel, Ventilada e Lítio
Bitola Máxima do Cabo:	16 mm <sup>2</sup>
Aterramento:	Comum Negativo
Dimensões:	280 x 210 x 90 mm
Temperatura de Operação:	-25°C ~ +50°C

FONTE: Neosolar (2023).

### 3.3 DIMENSIONAMENTO DO BANCO DE BATERIA

Para a realização do dimensionamento do banco de baterias e seu sistema de ligação, foi considerada que a residência da chácara 01 se trata de um local de lazer para finais de semana e feriados projetada para dois adultos. Sendo assim, foi determinado que o banco de baterias precisa de autonomia mínima ( $N_{autonomia}$ ) de 1 dia, logo, a energia consumida (EC) é:

$$EC = ECD \cdot N_{autonomia}$$

$$EC = 5239 \cdot 1 = 5239 \text{ Wh/dia}$$

Onde ECD é a energia consumida diariamente. Em seguida, foi calculada a energia armazenada no banco de baterias (EA):

$$EA = EC / Pd$$

$$EA = \frac{5239}{0,2} = 26195 \text{ Wh}$$

Sendo que, Pd é a profundidade de descarga. Foi escolhida a bateria estacionária de 12V, 240Ah DF4100 da Freedom com profundidade de descarga de 20%. A princípio seriam utilizadas as baterias de íons lítio, mas devido ao alto custo, optou-se pelas baterias mais convencionais e econômicas.

A Tabela 5 apresenta as características técnicas da bateria estacionária de chumbo-ácido:

TABELA 5 – DADOS DA BATERIA DE CHUMBO-ÁCIDO HELIAR FREEDOM DF4100.

Itens	Características
Tensão Nominal:	12 Vcc
Marca e Modelo:	Freedom DF4100 (240Ah / 220Ah)
Liga:	Chumbo-Ácido
Capacidade em C10*:	200 Ah
Capacidade em C20*:	220 Ah
Capacidade em C100*:	240 Ah
Temperatura de Trabalho:	-10 °C ~ 40 °C
Dimensões:	175 x 175 x 175 mm
Peso:	60,3 kg
Terminais:	Tipo L - Chumbo
Profundidade de Descarga	20%

FONTE: Neosolar (2023).

A partir da tensão do banco de baterias ( $V_{banco}$ ) de 48 V (4 baterias em série), foi determinada a capacidade do banco de baterias (CBB):

$$CBB = EA/V_{banco}$$

$$CBB = \frac{26195 Wh}{48 V} = 545,73 Ah$$

Após isso, com o valor da tensão das baterias ( $V_{bateria}$ ), foi identificado o número de baterias em série (NBS):

$$NBS = V_{banco}/V_{bateria}$$

$$NBS = \frac{48}{12} = 4 \text{ conjuntos de baterias em série}$$

Considerando que  $C_{bateria}$  é a capacidade da bateria de 220 Ah com descarga em 20 horas, o número de baterias em paralelo  $NBP$  pode ser obtido através da seguinte fórmula:

$$NBP = CBB/C_{bateria}$$

$$NBP = \frac{545,73}{220} = 2,48 \text{ baterias em paralelo}$$

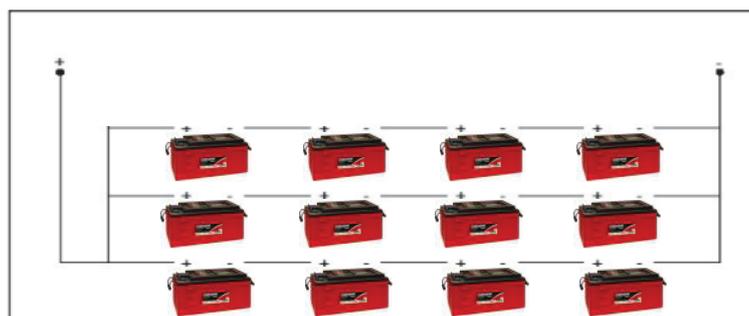
Arredondando são 3 conjuntos de baterias em paralelo. Sendo que, o número total de baterias (NTB) são:

$$NTB = NBS . NBP$$

$$NTB = 4 . 3 = 12 \text{ baterias}$$

A seguir, a Figura 3, apresenta o sistema de montagem de ligação das 12 baterias.

FIGURA 3 – SISTEMA DE MONTAGEM DAS 12 BATERIAS



FONTE: O autor (2023).

### 3.4 DIMENSIONAMENTO DO INVERSOR

A partir dos dados de potência dos módulos fotovoltaicos ( $P_{mod}$ ), do número de módulos fotovoltaicos ( $N_{mod}$ ) e do fator de segurança ( $F_{seg}$ ) de 30%. Foi possível calcular a potência mínima do inversor ( $P_{inv}$ ) pela seguinte equação:

$$P_{inv} = P_{mod} \cdot N_{mod} \cdot F_{seg}$$

$$P_{inv} = 470 \cdot 3 \cdot 1,3 = 1833,00 \text{ W}$$

Devido a esse resultado foi escolhido o inversor senoidal Epsolar de 2000W IP1500-12-Plus(T). As características técnicas do inversor estão apresentadas na tabela a seguir:

TABELA 6 – DADOS DO INVERSOR *OFF-GRID* EPSOLAR DE 2000W.

Item	Características
Potência máxima CA:	2000 W
Forma de onda:	Onda senoidal Pura
Frequência de saída CA:	50/60Hz±0.2%
Tensão de saída CA:	220VCA (±3%); 230VCA (-7%~+3%)
Saída USB:	5VDC/MAX 1A
Eficiência:	>94.5%
Proteção:	IP20
Peso:	6.5kg
Dimensões:	421 × 213.5 × 123mm

FONTE: Minha Casa Solar (2023).

### 3.5 GERAÇÃO DE ENERGIA DIÁRIA

Segundo Jensen (2021), tendo como base o valor do menor mínimo mensal de irradiação solar do plano horizontal corrigido estimado em 5,24 kWh/m<sup>2</sup>/dia e a eficiência do módulo fotovoltaico em 21,78%, a quantidade média mínima de energia que o módulo conseguirá converter será de 5,24 kWh/m<sup>2</sup>/dia x 0,2178 = 1,14 kWh/m<sup>2</sup>/dia, sendo que os módulos possuem uma área de 1,903 x 1,134 m = 2,16 m<sup>2</sup>, aproveitando assim, cerca de 1,14 kWh/m<sup>2</sup>/dia x 2,16 m<sup>2</sup> = 2,46 kWh/dia em cada unidade.

Com a demanda de energia elétrica do projeto em 5,239 kWh/dia, o cálculo da quantidade mínima de módulos necessários para suprir essa demanda ainda precisa levar em consideração as perdas elétricas do sistema, para isso, serão contabilizadas as eficiências do controlador de carga MPPT (97,40%), do inversor CC/CA de (94.5%) e uma estimativa das perdas térmicas e perdas geradas pelas resistências das conexões e fiações (95%). Portanto, a eficiência total do sistema é aproximadamente  $0,974 \times 0,945 \times 0,95 = 0,87$ .

Enquanto, a quantidade mínima de módulos pode ser determinada pela seguinte fórmula:

$$\text{Módulos} = \frac{5,239}{(2,46 \times 0,87)} = 2,43 \text{ módulos}$$

Logo, o sistema requer ao menos 3 módulos, que irão gerar cerca de 6,46 kWh/dia ( $2,46 \text{ kWh/dia} \times 3 \times 0,87$ ) considerando o maior mínimo mensal de irradiação solar do plano escolhido. Dessa forma, serão gerados 2325,84 kWh/ano.

### 3.6 DIMENSIONAMENTO DAS PROTEÇÕES

#### 3.6.1 Cabeamento CC

$$S_{dc} = \frac{2 \cdot D \cdot 1,25 \cdot I_{sc}}{\Delta V (\%) \cdot V_{arranjo} \cdot \left(\frac{1}{\rho}\right)}$$

$$S_{dc} = \frac{2 \cdot 15,6 \cdot 1,25 \cdot 14,15}{0,01 \cdot (3 \cdot 35,05) \cdot 56,18}$$

$$S_{dc} = 9,34 \text{ mm}^2$$

Onde  $S_{dc}$  é a Secção do cabo em  $\text{mm}^2$ ,  $\rho$  é a resistividade do condutor (0,0178),  $D$  (m) é a distância total do condutor,  $I_{sc}$  (A) é a corrente que passará no condutor,  $\Delta V$  (%) é a queda de tensão no cabeamento (adotado em 1%) e  $V_{MPPTarranjo}$  é a tensão do arranjo.

### 3.6.2 Cabeamento CA

$$I_{NCA} = \frac{P_{inversor}}{V_{saída\ inversor} \cdot \cos \sigma}$$

$$I_{NCA} = \frac{2000}{220 \cdot 1}$$

$$I_{NCA} = 9,09\ A$$

Sendo que,  $I_{NCA}$  é a corrente do sistema,  $P_{inversor}$  é a potência do Inversor,  $V_{saída\ inversor}$  é a tensão de saída do inversor e  $\cos \sigma$  é 1. A secção do condutor pode ser calculada pela equação:

$$S_{AC} = \frac{2 \cdot D \cdot I_{NCA} \cdot \cos \sigma}{\Delta V (\%) \cdot V_{Nrede} \cdot \left(\frac{1}{\rho}\right)}$$

$$S_{AC} = \frac{2 \cdot 11 \cdot 9,09 \cdot 1}{0,01 \cdot 220 \cdot 56,18}$$

$$S_{AC} = 1,62\ \text{mm}^2 \rightarrow 2\text{mm}^2$$

Onde  $D$  (m) é a distância do cabeamento,  $I_{NCA}$  (A) é a corrente do sistema,  $\cos \sigma$  é 1,  $\Delta V$  (%) é a queda de tensão no cabeamento (adotado em 1%),  $V_{Nrede}$  é a tensão de rede e  $\rho$  é a resistividade do condutor (0,0178).

### 3.6.3 Disjuntor CA e CC

Pode-se definir a escolha do disjuntor CA pela equação abaixo:

$$I_{NCA} < I_{disjuntor} < I_{Máxseção}$$

$$9,09 < I_{disjuntor} < 40\ A$$

Será usado um disjuntor de 32A do lado CA. Pode ser usado também um disjuntor de 20A na parte CC.

### 3.6.4 Fusível CC

Segundo Silva (2018), a norma europeia IEC 60364-7-712 define que os cabos C.C, terão que suportar no mínimo 1,25 vezes a corrente máxima de curto-circuito (ISC). O fusível deve ser colocado do lado CC do sistema e o seu dimensionamento pode ser obtido pela equação abaixo:

$$I_{fusível} = 1,25 \cdot I_{SCramo}$$

$$I_{fusível} = 1,25 \cdot 14,15 = 17,69 A$$

A partir desse resultado, foi escolhido usar um fusível gPV de 20 A.

### 3.6.5 DPS

O Dispositivo de Proteção Contra Surtos (DPS) têm a função de detectar sobretensões transitórias na rede elétrica além de desviar as correntes de surtos. O dispositivo deve ser instalado nos lados C.C. e C.A. Para o SFV foram escolhidos os DPS de 40KA da Brasiltec do lado CA e do lado CC.

## 3.7 FLUXO DE CAIXA

A Tabela 7 apresenta o custo de cada equipamento do SFV *off-grid* totalizando em R\$ 27.854,99. Esse custo será somado ao preço de venda da chácara 01. No ano 0, o valor do custo está negativo por se tratar do investimento que o empreendedor teve que desembolsar para ter o sistema.

Já, a Tabela 8 apresenta o fluxo de caixa (FC) do empreendedor. Para a realização do FC foi considerado uma Taxa Mínima de Atratividade (TMA) de 12% e o seguinte cenário:

Ocorrência da venda do imóvel no primeiro ano de lançamento do parcelamento rural. A partir disso, foi obtido o preço do SFV *off-grid* para que o empreendedor não tenha prejuízo financeiro na venda. Portanto, o empreendedor deverá precificar o sistema em valores acima de R\$ 31.197,59 para que tenha lucro, assim como, demonstrado na fórmula a seguir:

$$\begin{aligned} \text{Preço de Venda}_{(R\$)} &\geq \text{Investimento Inicial}_{(R\$)} \cdot (1 + TMA_{(\%)}) \\ \text{Preço de Venda}_{(R\$)} &\geq R\$ 27.854,99 \cdot (1 + 12\%) = R\$ 31.197,59 \end{aligned}$$

### 3.8 RETORNO DO INVESTIMENTO

O Anexo 1 apresenta o retorno do investimento do comprador do SFV *off-grid*. Assim como mencionado anteriormente, o sistema irá gerar cerca de 6,46 kWh/dia e 2325,85 kWh/ano. Foram descontadas as taxas de perdas de eficiência dos painéis solares da produção de energia (kWh/ano) ao longo dos anos. Segundo o Portal Solar (2023), os módulos fotovoltaicos tendem a perder até 3% de eficiência no primeiro ano e posteriormente uma média de 0,7% ao ano. A partir dessas informações, no primeiro ano, a produção de energia será de:

$$\begin{aligned} \text{Produção de Energia}_{(kWh/ano)} &= \text{Produção dos Painéis}_{(kWh/ano)} \cdot \text{Eficiência} \\ \text{Produção de Energia}_{(kWh/ano)} &= (6,46 \times 30 \times 12) \cdot 0,97 = 2256,08 \end{aligned}$$

O *Preço Tarifa*<sub>(R\$/kWh)</sub> aumenta ano a ano. Iniciando em 2024, com o funcionamento do SFV *off-grid*, a 0,86 (R\$/kWh) e após 24 anos esse custo subirá para cerca de 13,05 (R\$/kWh) (AGREGAR ENGENHARIA, 2023). Logo, no primeiro ano, o comprador do sistema terá uma economia financeira de:

$$\begin{aligned} \text{Economia Gerada}_{(R\$)} &= \text{Preço Tarifa}_{(R\$/kWh)} \cdot \text{Produção de Energia}_{(kWh/ano)} \\ \text{Economia Gerada}_{(R\$)} &= 0,86 \cdot 2256,08 = R\$ 1.940,23 \end{aligned}$$

O resultado financeiro consiste em descontar o valor da economia gerada do investimento inicial. Considerando que o comprador investiu inicialmente R\$ 32.000,00 para aquisição do sistema, o resultado financeiro ficaria da seguinte forma:

$$\begin{aligned} \text{Resultado Financeiro}_{(R\$)} &= \text{Investimento Inicial}_{(R\$)} - \text{Economia Gerada}_{(R\$)} \\ \text{Resultado Financeiro}_{(R\$)} &= - 32.000,00 + R\$ 1.940,23 = -R\$ 30.059,77 \end{aligned}$$

Caso o comprador, ao invés de ter adquirido o sistema, tivesse deixado o valor na poupança com rendimento de 6%, após 1 ano, ele teria os seguintes resultados:

$$Poupança_{(R\$)} = Investimento Inicial_{(R\$)} \cdot (1 + Rendimento Poupança_{(%)})$$

$$CDB 70\% CDI_{(R\$)} = 32.000,00 \cdot (1 + 6\%) = R\$ 33.920,00$$

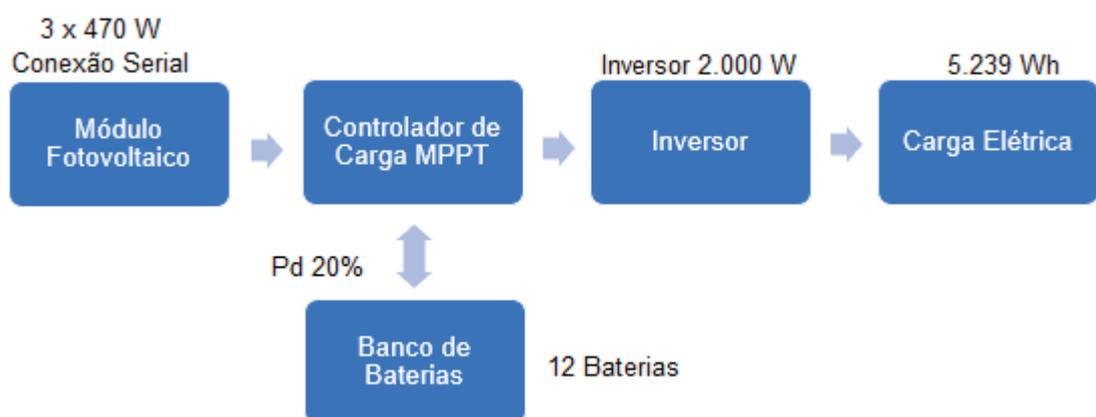
#### 4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

O sistema fotovoltaico *off-grid* foi dimensionado para suprir um consumo total da carga de 5.239 Wh/dia com autonomia para 1 dia. Esse sistema é composto pelos seguintes itens:

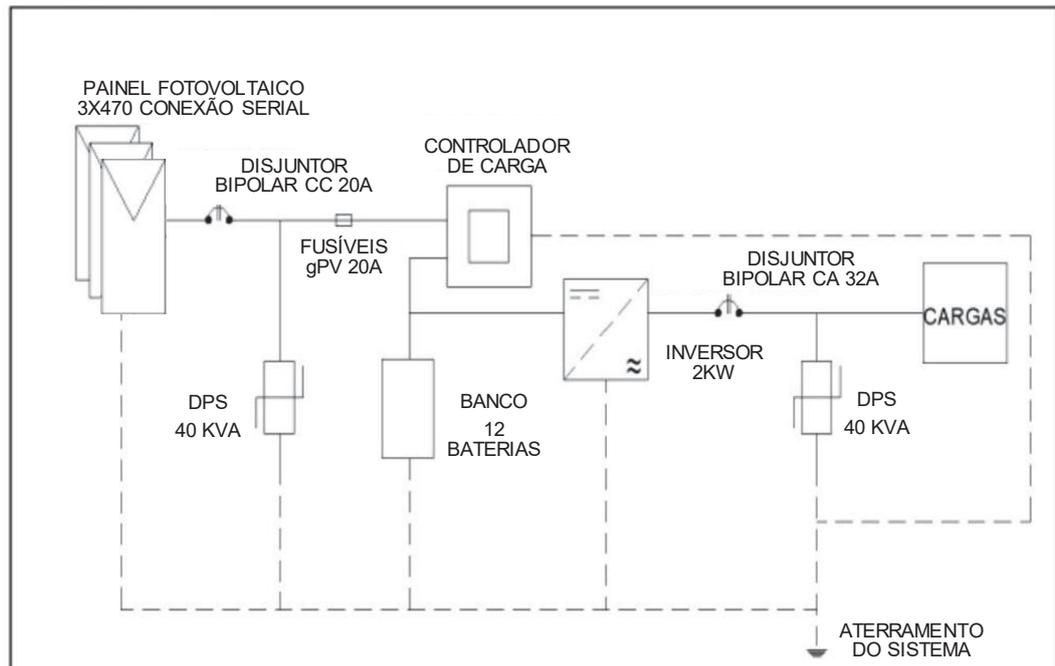
3 Módulos fotovoltaicos em série de 470W cada (modelo Jinko Solar JK M470N-60HL4-V da marca Jinko Solar); 1 Controlador de carga MPPT (modelo XTRA 4415N da marca Epever); 4 Conjuntos de baterias em série e 3 conjuntos de baterias em paralelo que compõem um conjunto de 12 baterias estacionárias de chumbo-ácido (modelo DF4100 de 220 Ah da marca Heliar Freedom); 1 Inversor senoidal de 2000W (modelo IP1500-12-Plus(T) marca Epsolar).

Em relação ao dimensionamento das proteções, foram determinados os fusíveis gPV de 20 A e DPS CA e CC de 40KA. Disjuntores de 32A do lado CA e de disjuntor de 20A na parte CC.

FIGURA 4 – FLUXOGRAMA DO SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÔNOMO COM ARMAZENAMENTO DE ENERGIA



FONTE: O autor (2023).

FIGURA 5 – ESQUEMA DO SFV *OFF-GRID* COM AS PROTEÇÕES

FONTE: O autor (2023).

A Tabela 7 apresenta os itens do SFV *off-grid* e seus respectivos valores. A somatória resulta em um investimento inicial de R\$ 27.854,99.

TABELA 7 – CUSTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO *OFF-GRID*

Item	Valor
Módulos Fotovoltaicos	R\$ 4.167,00
Controlador de Carga	R\$ 1.079,00
Inversor Solar	R\$ 1.766,07
Baterias	R\$ 15.442,92
Kit de Proteção	R\$ 1.200,00
Kit de Instalação	R\$ 600,00
Instalação, frete e materiais periféricos	R\$ 3.600,00
<b>Total</b>	<b>R\$ 27.854,99</b>

FONTE: O autor (2023).

A Tabela 8 apresenta o fluxo de caixa (FC) do empreendedor e o preço mínimo de venda do SFV *off-grid* em R\$ 31.197,59. Ao aumentar o preço da venda do sistema, o atual VPL=0 passará para VPL>0, também serão maiores as taxas de

lucratividade, o TIR e o somatório dos valores presentes (VPs) e menor será o *payback*.

TABELA 8 – FLUXO DE CAIXA DO EMPREENDEDOR

Ano	Fluxo de Caixa	Valor Presente	VP Acumulado
0	-R\$27.854,99	-R\$27.854,99	-R\$27.854,99
1	<b>R\$31.197,59</b>	R\$27.854,99	R\$0,00
2	R\$0,00	R\$0,00	R\$0,00
3	R\$0,00	R\$0,00	R\$0,00
4	R\$0,00	R\$0,00	R\$0,00
5	R\$0,00	R\$0,00	R\$0,00

FONTE: O autor (2023).

O Quadro 1 apresenta os índices financeiros do FC do empreendedor. Já, o Anexo 1 apresenta o retorno do investimento do comprador do SFV *off-grid*.

QUADRO 1 – ÍNDICES FINANCEIROS FC EMPREENDEDOR

Soma VPs (Anos 1 a 5)	R\$27.854,99
VPL do Projeto	R\$0,00
Taxa Interna de Retorno	12,00%
Taxa de Lucratividade	1,00
Tempo de Payback	1 ano

FONTE: O autor (2023).

Para a realização do FC do comprador foi considerado uma TMA de 12% e o seguinte cenário:

Caso o comprador do SFV fosse um consumidor do mercado cativo e ele consumisse aproximadamente 2325,85 kWh/ano, logo, deveria pagar cerca de R\$1.940,23 no primeiro ano a concessionária de energia e um total de R\$ 229.401,09 em 25 anos. Nesse período, o comprador teria um resultado financeiro positivo de R\$197.401,09. Todavia, caso ele tivesse deixado o valor de R\$ 32.000,00 na poupança teria apenas R\$ 137.339,86, após 25 anos.

O anexo 1 apresenta também o *payback* do retorno do investimento do comprador do sistema. No 9º ano de funcionamento do SFV, o comprador passa a ter lucro devido a economia gerada ser superior ao investimento inicial, com isso, o resultado financeiro de torna positivo.

QUADRO 2 – ÍNDICES FINANCEIROS FC COMPRADOR

Soma VPs (Anos 1 a 25)	R\$ 39.853,05
VPL do Projeto	R\$ 7.853,05
Taxa Interna de Retorno	14,04%

FONTE: O autor (2023).

O Anexo 2 apresenta o fluxo de caixa do comprador, enquanto, o Quadro 2 apresenta os índices financeiros desse FC. A partir desses índices, o projeto pode ser considerado financeiramente viável por ter o VPL positivo (R\$ 7.853,05) e a TIR (14,04%) maior do que a TMA (12%). Ademais, o *payback* é inferior ao período analisado de 25 anos da durabilidade do sistema.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sistema fotovoltaico isolado dimensionado é uma alternativa tecnicamente viável para o empreendimento rural, que não está sendo atendido pela distribuidora de energia.

O fluxo de caixa do comprador do SFV *off-grid* comprovou que o sistema é financeiramente viável, enquanto, o retorno do investimento mostrou que é economicamente mais vantajoso para o comprador adquirir o sistema do que deixar o dinheiro na poupança.

Futuramente, após a ligação da rede de extensão pela concessionária de energia, o comprador também será beneficiado por ter um SFV que poderá ser ligado a rede da concessionária com a possibilidade de receber créditos pela geração de energia não utilizada, além de não precisar mais de baterias que tanto encarecem o sistema.

A residência da chácara 01 se trata de um local de lazer para os finais de semana e feriado. Portanto, durante a semana a geração de energia será superior ao consumo, com isso, serão gerados créditos. Sendo que, a distribuidora permite compensar o consumo de uma unidade consumidora num prazo de 60 meses (5 anos), para isso, basta as unidades geradoras e consumidoras estarem sob a mesma área de concessão da distribuidora (ENERGÊS, 2020).

Ademais, a implantação do sistema pode valorizar o empreendimento ao atrair compradores preocupados com soluções socioambientais como o uso de energia limpa.

## REFERÊNCIAS

AGREGAR ENGENHARIA. **Retorno do investimento e Análise do Investimento. Proposta Comercial do SFV**, v. 1, p. 5-6, 2023.

ALDO SOLAR. **Painel solar fotovoltaico Jinko 470W**. Disponível em: <<https://www.aldo.com.br/produto/170628-9/painel-solar-fotovoltaico-jinko-jkm470n-60hl4-v-tiger-neo-470w-120-cel-n-type-mono-2178-eficiencia>>. Acesso em: 6 maio. 2023.

BARBIERI, C.; ÁLVARES, A.; MACHLINE, C.; **Taxa Interna de Retorno: controvérsias e interpretações. GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas**. [s.l.], v. 2, p. 131–142, 2007.

BRITO, M.; SILVA, J. **Energia fotovoltaica: conversão de energia solar em eletricidade**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<http://solar.fc.ul.pt/i1.pdf>>.

DIAS, B. G. C. et al. **Dimensionamento de Sistema Solar Off-Grid com Monitoramento de Energia para Área Rural**. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/31486/1/Dimensionamento%20de%20Sistema%20Solar%20Off-Grid%20com%20Monitoramento%20de%20Energia%20para%20%C3%81rea%20Rural.pdf>>. p. 1–9, 2013.

ENERGÊS. **As 5 maiores dúvidas sobre créditos de energia**. Disponível em: <<https://energes.com.br/as-5-maiores-duvidas-sobre-creditos-de-energia/#:~:text=Sistema%20de%20Compensa%C3%A7%C3%A3o%20de%20Energia,-Em%20resumo%2C%20o&text=Assim%2C%20a%20distribuidora%20disponibiliza%20esta,de%2060%20meses%2C%205%20anos.>>>. Acesso em: 6 maio. 2023.

FERIOLI, K. C. O. et al. **Projeto de Sistema Fotovoltaico Isolado (OFF-GRID) para Residência**. Disponível em: <[https://www.academia.edu/30022221/Projeto\\_de\\_Sistema\\_Fotovoltaico\\_Isolado\\_OFF\\_GRID](https://www.academia.edu/30022221/Projeto_de_Sistema_Fotovoltaico_Isolado_OFF_GRID)>. p. 1–9, 2022.

GER, M. B. A. et al. **Aplicação do Método do Valor Presente Líquido (VPL) na Análise da Viabilidade Econômica de Projetos na Indústria Metal Mecânica: Um Estudo de Caso.** [s.l.], p. 1–4, 2009.

INSTITUTO SOLAR. **Como escolher a melhor bateria para um sistema de energia solar.** Disponível em: <<https://institutosolar.com/bateria-solar-para-um-sistema-de-energia-solar/>>. Acesso em: 23 abr. 2023.

JENSEN, L. UNISUL. **Sistema fotovoltaico de fornecimento *off-grid* metodologia para dimensionamento de sistema residencial isolado Palhoça.** [s.l.: s.n.]. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/19115/1/TCC%20Leonardo%20Jensen.pdf>.

LANA, L. T. C. et al. **Energia Solar Fotovoltaica: Revisão Bibliográfica.** Engenharias On-Line, vol. 1, no. 2, 2015, pp. 21–33, [revista.fumec.br/index.php/eol/article/view/3574](http://revista.fumec.br/index.php/eol/article/view/3574).

LIMA, J. D. De et al. **Propostas de ajuste no cálculo do *payback* de projetos de investimentos financiados.** Custos e Agronegócios online, [s.l.], v. 9, no 4, p. 162–180, 2013.

LOUSA, I. M. E LIMA, M. F. **Análise de Viabilidade de um Empreendimento Imobiliário com o Uso de Simulação através do Software @RISK.** [s.l.], p. 1–16, 2018.

MINHA CASA SOLAR. **Inversor 2000W 48/220V senoidal Epsolar - IP2000-42-Plus(T).** Disponível em: <<https://www.minhacasasolar.com.br/produto/inversor-2000w-48-220v-senoidal-epsolar-ip2000-42-plus-t-80866>>. Acesso em: 23 abr. 2023.  
MORAIS, J. M. DE. **Impactos das energias solar e eólica na demanda de baterias de lítio.** Disponível em: <<https://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/10600>>, 1 abr. 2021.

NEOSOLAR. **Bateria Estacionária Heliar Freedom DF4100 (240Ah / 220Ah) | NeoSolar.** Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/loja/bateria-estacionaria-freedom-df4001-240ah-220ah.html>>. Acesso em: 23 abr. 2023.

NEOSOLAR. **Controlador de Carga MPPT 40A - Epever XTRA 4415N | NeoSolar.** Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/loja/controlador-carga-mppt-40a-12-24-36-48v-epever-xtra-4415n.html>>. Acesso em: 23 abr. 2023.

PORTAL SOLAR. **Quanto tempo duram os painéis solares?** Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/quanto-tempo-duram-os-paineis-solares>>.

REIS BATERIAS. **Bateria Estacionária Freedom DF4100 - 220Ah / 240Ah.** Disponível em: <<https://www.bateriaautomotiva.com.br/bateria-estacionaria-freedom-df4001-240ah>>. Acesso em: 6 maio. 2023.

RIBEIRO, G. F. **Dimensionamento de um sistema fotovoltaico *off-grid* em um motorhome.** Repositorio.uniceub.br, 2020.

SILVA, M. L. Da; FONTES, A. A. **Discussão sobre os critérios de avaliação econômica: valor presente líquido (VPL), valor anual equivalente (VAE) e valor esperado da terra.** Revista Árvore, [s.l.], v. 29, no 6, p. 931–936, 2006.

SILVA, J. M. L. **Estudo do dimensionamento e da viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico conectado à rede para a fundação de amparo ao menor de Paulo Afonso (FUNDAME).** Disponível em: <https://portal.ifba.edu.br/paulo-afonso/cursos/engenharia-eletrica/TCC-EE/ano-2018/tcc-jorge-magno.pdf/@@download/file/TCC%20-%20JORGE%20MAGNO.pdf>. Acesso em: 01 jul. 2023.

SOLAR&SOL. **Painel solar fotovoltaico 470w Jinko.** Disponível em: <<https://www.solaresol.com.br/produto/painel-solar-fotovoltaico-470w-jinko.html>>. Acesso em: 25 abr. 2023.

SOUZA, T. et al. 73a Reunião Anual da SBPC. **Aplicações do sistema fotovoltaico *off-grid*.** [s.l.: s.n.]. Disponível em: <[https://reunioes.sbpcnet.org.br/73RA/inscritos/resumos/1323\\_19c04c74062cb8a18cb7f5a9bc30d92e5.pdf](https://reunioes.sbpcnet.org.br/73RA/inscritos/resumos/1323_19c04c74062cb8a18cb7f5a9bc30d92e5.pdf)>. Acesso em: 23 abr. 2023.

TIMOTEO, B. **Projeto de sistema fotovoltaico isolado para uma área rural em sistema com banco de baterias: análises das viabilidades técnica e econômica.** Alegrete 2022. [s.l.: s.n.]. Disponível em:

<<https://dspace.unipampa.edu.br/bitstream/riu/7882/1/Bruno%20Bet%20Timoteo%20-%202023.pdf>>. Acesso em: 23 abr. 2023.

UNESP. **Consumo de energia dos aparelhos elétricos**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <[https://igce.rc.unesp.br/Home/ComissaoSupervisora-old/ConservacaodeEnergiaCICE/tabela\\_consumo.pdf](https://igce.rc.unesp.br/Home/ComissaoSupervisora-old/ConservacaodeEnergiaCICE/tabela_consumo.pdf)>. Acesso em: 23 abr. 2023.

## ANEXO 1 – RETORNO DO INVESTIMENTO

Tabela 1 – RETORNO DO INVESTIMENTO DO COMPRADOR DO SFV OFF-GRID

Status	Ano	Preço tarifa (R\$/kWh)	Produção de energia (kWh/ano)	Economia gerada (R\$)	Resultado financeiro (R\$)	Poupança (R\$)
					<b>-R\$32.000,00</b>	
Investimento	2024	0,86	2256,08	R\$1.940,23	-R\$30.059,77	R\$33.920,00
Investimento	2025	0,96	2240,28	R\$2.150,67	-R\$27.909,10	R\$35.955,20
Investimento	2026	1,08	2224,60	R\$2.402,57	-R\$25.506,53	R\$38.112,51
Investimento	2027	1,21	2209,03	R\$2.672,93	-R\$22.833,61	R\$40.399,26
Investimento	2028	1,35	2193,57	R\$2.961,31	-R\$19.872,29	R\$42.823,22
Investimento	2029	1,52	2178,21	R\$3.310,88	-R\$16.561,41	R\$45.392,61
Investimento	2030	1,7	2162,96	R\$3.677,04	-R\$12.884,37	R\$48.116,17
Investimento	2031	1,9	2147,82	R\$4.080,86	-R\$8.803,51	R\$51.003,14
Investimento	2032	2,13	2132,79	R\$4.542,84	-R\$4.260,67	R\$54.063,33
Lucro	2033	2,38	2117,86	R\$5.040,50	<b>R\$779,84</b>	R\$57.307,13
Lucro	2034	2,67	2103,03	R\$5.615,10	R\$6.394,94	R\$60.745,55
Lucro	2035	2,99	2088,31	R\$6.244,06	R\$12.638,99	R\$64.390,29
Lucro	2036	3,35	2073,69	R\$6.946,88	R\$19.585,87	R\$68.253,70
Lucro	2037	3,75	2059,18	R\$7.721,92	R\$27.307,79	R\$72.348,93
Lucro	2038	4,2	2044,76	R\$8.588,01	R\$35.895,80	R\$76.689,86
Lucro	2039	4,71	2030,45	R\$9.563,42	R\$45.459,23	R\$81.291,25
Lucro	2040	5,27	2016,24	R\$10.625,57	R\$56.084,80	R\$86.168,73
Lucro	2041	5,9	2002,12	R\$11.812,53	R\$67.897,33	R\$91.338,85
Lucro	2042	6,61	1988,11	R\$13.141,40	R\$81.038,74	R\$96.819,18
Lucro	2043	7,41	1974,19	R\$14.628,77	R\$95.667,50	R\$102.628,34
Lucro	2044	8,3	1960,37	R\$16.271,10	R\$111.938,60	R\$108.786,04
Lucro	2045	9,29	1946,65	R\$18.084,38	R\$130.022,99	R\$115.313,20
Lucro	2046	10,41	1933,02	R\$20.122,78	R\$150.145,77	R\$122.231,99
Lucro	2047	11,66	1919,49	R\$22.381,29	R\$172.527,06	R\$129.565,91
Lucro	2048	13,05	1906,06	R\$24.874,04	R\$197.401,09	R\$137.339,86
					<b>R\$229.401,09</b>	

FONTE: O autor (2023).

## ANEXO 2 – FLUXO DE CAIXA

Tabela 2 – FLUXO DE CAIXA DO COMPRADOR DO SFV *OFF-GRID*

Ano	Fluxo de Caixa (R\$)	Valor Presente (R\$)	VP Acumulado (R\$)
0	-R\$ 32.000,00	-R\$ 32.000,00	-R\$ 32.000,00
1	R\$ 1.940,23	R\$ 1.732,34	-R\$ 30.267,66
2	R\$ 2.150,67	R\$ 1.714,50	-R\$ 28.553,15
3	R\$ 2.402,57	R\$ 1.710,10	-R\$ 26.843,05
4	R\$ 2.672,93	R\$ 1.698,69	-R\$ 25.144,36
5	R\$ 2.961,31	R\$ 1.680,33	-R\$ 23.464,03
6	R\$ 3.310,88	R\$ 1.677,40	-R\$ 21.786,63
7	R\$ 3.677,04	R\$ 1.663,31	-R\$ 20.123,33
8	R\$ 4.080,86	R\$ 1.648,19	-R\$ 18.475,13
9	R\$ 4.542,84	R\$ 1.638,19	-R\$ 16.836,94
10	R\$ 5.040,50	R\$ 1.622,91	-R\$ 15.214,03
11	R\$ 5.615,10	R\$ 1.614,21	-R\$ 13.599,83
12	R\$ 6.244,06	R\$ 1.602,69	-R\$ 11.997,13
13	R\$ 6.946,88	R\$ 1.592,04	-R\$ 10.405,09
14	R\$ 7.721,92	R\$ 1.580,06	-R\$ 8.825,03
15	R\$ 8.588,01	R\$ 1.569,00	-R\$ 7.256,03
16	R\$ 9.563,42	R\$ 1.560,00	-R\$ 5.696,03
17	R\$ 10.625,57	R\$ 1.547,55	-R\$ 4.148,48
18	R\$ 11.812,53	R\$ 1.536,10	-R\$ 2.612,38
19	R\$ 13.141,40	R\$ 1.525,81	-R\$ 1.086,57
20	R\$ 14.628,77	R\$ 1.516,52	R\$ 429,94
21	R\$ 16.271,10	R\$ 1.506,05	R\$ 1.935,99
22	R\$ 18.084,38	R\$ 1.494,54	R\$ 3.430,53
23	R\$ 20.122,78	R\$ 1.484,82	R\$ 4.915,35
24	R\$ 22.381,29	R\$ 1.474,53	R\$ 6.389,87
25	R\$ 24.874,04	R\$ 1.463,17	R\$ 7.853,05

FONTE: O autor (2023).