



Universidade Federal de Campina Grande

Centro de Engenharia Elétrica e Informática

Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

YANNA GOMES DE SOUSA CAETANO

**ANÁLISE COMPARATIVA TÉCNICA E ECONÔMICA DE
SISTEMAS FOTOVOLTAICOS *ON-GRID* E *OFF-GRID*
APLICADO A CONSUMIDOR RESIDENCIAL**

Campina Grande, Paraíba
1º de Abril de 2022

YANNA GOMES DE SOUSA CAETANO

ANÁLISE COMPARATIVA TÉCNICA E ECONÔMICA DE
SISTEMAS FOTOVOLTAICOS *ON-GRID* E *OFF-GRID*
APLICADA AO CONSUMIDOR RESIDENCIAL

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Geração de Energia

Orientador:

Luis Reyes Rosales Montero, D. Sc.

Campina Grande, Paraíba
1º de Abril de 2022

YANNA GOMES DE SOUSA CAETANO

ANÁLISE COMPARATIVA TÉCNICA E ECONÔMICA DE
SISTEMAS FOTOVOLTAICOS *ON-GRID* E *OFF-GRID*
APLICADO A CONSUMIDOR RESIDENCIAL

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da
Universidade Federal de Campina Grande
como parte dos requisitos necessários para a
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Energia Fotovoltaica

Aprovado em 01/04/2022

Professor Roberto Silva de Siqueira, D. Sc.
Universidade Federal de Campina Grande
Avaliador

Professor Luis Reyes Rosales Montero, D. Sc.
Universidade Federal de Campina Grande
Orientador, UFCG

Dedico este trabalho aos meus pais, que me ofereceram o melhor presente que se pode ter: acesso ao conhecimento e educação.

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer primeiramente a Deus, por me acompanhar sempre nesta jornada da vida, por ter me sustentado nos momentos mais desafiadores e sem Ele eu não conseguiria alcançar esse e outros objetivos tão almejados.

Aos meus pais, Vanda Gomes e Ermano Caetano (*in memoriam*), que sempre fizeram esforço e com muito bom grado permitiam que eu aprendesse de tudo, fosse um idioma ou pintar quadros, e até apoiar na decisão de estudar engenharia elétrica. Aos meus tios, pelo suporte nos meus estudos em Campina Grande, sempre incentivando a continuar, com palavras de carinho.

Aos meus amigos de universidade, que sem eles não teria chegado até aqui. Em especial, agradeço a Josué Pereira, Abmael Vilar, Ana Cristina, Lívyá Nunes, Johanna Galdino, Emanuel Filipe, André Miranda (*in memoriam*), Felipe de Sousa, Álvaro Batista, Darlan Guimarães, Cayo Alves, Laís Souto, Carine Mineto, Andhré Sousa, Amanda Barbosa, Rafael Simplício, Amaury Cunha, Sérgio Ricardo e Luana Cristina. Aos meus amigos de Patos, Érica Jamylla e Francisco Antero, pelas palavras positivas nas horas mais desafiadoras da graduação.

Agradeço à CAPES pela oportunidade de estudar em outro país, o que foi um divisor de águas na minha vida para com visão de mundo e amadurecimento como pessoa.

Aos professores do curso, que contribuíram de formas diferentes no aprendizado e em especial ao professor Luis Reyes Rosales Montero, que com toda paciência me ajudou nesta última etapa enquanto graduanda.

“Ninguém se salva sozinho.”

Fiódor Dostoiévski.

RESUMO

Diante dos cenários adversos no setor elétrico, tais como aumento de tarifas na energia elétrica, escassez hídrica, aliados à iniciativa de preservação ambiental, a implementação de geração de energia elétrica renovável cada vez fica diversificada e popularizada. Ao trazer para o âmbito da geração distribuída, ou seja, para a energia elétrica que é gerada próximos aos centros de carga, esta pode trazer inúmeros benefícios para o consumidor. Neste trabalho será mostrado duas formas de geração fotovoltaica direcionadas a um consumidor convencional do subgrupo B1: um sistema de geração *on-grid* e outro *off-grid*. Serão apresentadas as características de cada projeto, o cálculo do dimensionamento e a viabilidade financeira de cada um a fim de mostrar qual a melhor opção para o perfil de consumo da residência.

Palavras-chave: Geração distribuída, sistema fotovoltaico *on-grid*, sistema fotovoltaico *off-grid*, viabilidade técnica e econômica.

RÉSUMÉ

Face aux scénarios défavorables dans le secteur d'électricité, tels que l'augmentation des tarifs de l'électricité, la rareté de l'eau, combinés à l'initiative de préservation de l'environnement, la mise en œuvre de la production d'énergie renouvelable de plus en plus est diversifiée et popularisée. En l'amenant au champ d'application de la production distribuée, c'est-à-dire, l'énergie électrique générée à la proximité des centres de charge, elle peut apporter d'innombrables avantages au consommateur. Dans ce travail, deux formes de production photovoltaïque destinées à un consommateur conventionnel du sous-groupe B1 seront présentées: un système de production en réseau et hors réseau. Les caractéristiques de chaque projet, le calcul du dimensionnement et de la viabilité financière de chacun seront présentés afin de montrer la meilleure option pour le profil de consommation de la résidence.

Mots-clés: Génération distribuée d'électricité, système photovoltaïque en réseau, système photovoltaïque hors réseau, viabilité financière.

SUMÁRIO

Agradecimentos	v
Resumo	vii
Rèsumé	viii
Sumário	ix
Lista de Figuras	xi
Lista de Tabelas	xiii
Lista de Siglas	xiv
1 Introdução	15
1.1 Motivação e Objetivo	16
1.2 Estrutura do Trabalho	17
2 Contexto Bibliográfico	17
2.1 Conceitos Tarifários	17
2.2 Geração Distribuída e Resolução Normativa 482/2012	19
2.3 Placa Fotovoltaica	21
2.3.1 Célula fotovoltaica de Silício Monocristalino	23
2.3.2 Célula fotovoltaica de Silício Policristalino	23
2.3.3 Características elétricas das Células Fotovoltaicas	24
2.3.4 Fatores que influenciam na perda de potência do módulo Fotovoltaico ..	26
2.3.5 Certificação dos módulos fotovoltaicos	27
2.3.6 Construção do painel fotovoltaico e arranjos de painéis	30
2.4 Inversor de Frequência	32
2.5 Bateria	34
2.6 Controlador de Carga	39
2.7 Metodologia de Cálculo de Viabilidade Financeira	41
3 Metodologia de dimensionamento e orçamento do sistema de geração <i>on-grid</i>	44
3.1 Definição	44
3.2 Dimensionamento do Sistema <i>On-Grid</i> – Estudo de Caso	45
3.3 Análise de viabilidade econômica e financeira	51
4 Metodologia de dimensionamento e orçamento do sistema de geração <i>off-grid</i>	54
4.1 Definição de sistema de Geração <i>Off-grid</i>	54
4.2 Dimensionamento do Projeto Off-Grid	56
5 Comparação entre os dois projetos	63
6 Conclusão	67

REFERÊNCIAS	69
APÊNDICE A – Painel solar fotovoltaico Jinko 450W	77
APÊNDICE B – Inversor on-grid MIC2000TL-X Growatt	79
APÊNDICE C – Inversor off-grid Jay Energy 24Vcc/220Vca 3000W	80
APÊNDICE D – Bateria estacionária Freedom DF4100 240 Ah	82
APÊNDICE E – Painel solar fotovoltaico RS6E-155M 155W Resun	84

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Valor final da energia elétrica.	18
Figura 2 – Célula Monocristalina.	23
Figura 3 – Célula Policristalina.	24
Figura 4 - Curva da corrente elétrica versus tensão para o módulo fotovoltaico, sob SCN.	25
Figura 5 - Valores Nominais de Temperatura de Operação do Módulo.	26
Figura 6 - Comportamento da irradiância solar no período de um dia.	27
Figura 7 - Etiqueta INMETRO para módulos fotovoltaicos.	28
Figura 8 – Estrutura do painel fotovoltaico.	31
Figura 9 – Formas de fazer conexão em série e paralelo dos módulos fotovoltaicos. ...	32
Figura 10 – Circuito eletrônico básico do inversor CC-CA.....	32
Figura 11 – Pilha de Bagdá.	35
Figura 12 – Pilha de Volta.	35
Figura 13 – Alegoria do funcionamento da pilha de Daniell.	36
Figura 14 -Esquema de uma pilha de Leclanché.	37
Figura 15 – Maneiras de conectar um banco de baterias.	38
Figura 16 – Baterias de íon-lítio.	39
Figura 17 – Controlador de carga.	40
Figura 18 – Sistema de geração <i>on-grid</i>	44
Figura 19 – Localização do projeto.	46
Figura 20 – Histórico de consumo do cliente.	47
Figura 21 – Irradiação média em Campina Grande – PB.	48
Figura 22 – Critério de disponibilidade de energia para sistemas MIGDI/SIGFI.....	55
Figura 23 – Esquema de um sistema de geração de energia elétrica <i>off-grid</i>	55
Figura 24 – Curva do consumo médio dos aparelhos mais utilizados nas residências do estado da Paraíba.....	56
Figura 25 – Irradiância para o cálculo do projeto solar <i>off-grid</i>	59
Figura 26 – Kit de geração fotovoltaica <i>off-grid</i>	64
Figura 27 – Aquecedor solar para substituição do chuveiro elétrico tradicional.	66
Figura 28 – Kit de energia solar <i>off-grid</i> para alimentar um sistema de iluminação.	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Prazos da ANEEL para validação de documentação	21
Tabela 2 – Levantamento orçamentário dos componentes para o projeto <i>on-grid</i>	50
Tabela 3 – Análise do valor que seria pago à distribuidora sem a implantação da geração fotovoltaica <i>on-grid</i>	51
Tabela 4 – Análise do valor ganho com a geração da instalação fotovoltaica <i>on-grid</i> ..	52
Tabela 5 – Análise do fluxo de caixa anual com a implementação da instalação fotovoltaica <i>on-grid</i>	53
Tabela 6 – Levantamento de cargas e consumo para o projeto <i>off-grid</i>	57
Tabela 7 – Valor do investimento do sistema <i>off-grid</i>	61
Tabela 8 – Levantamento do consumo, geração e valor da geração com a implementação do sistema <i>off-grid</i>	61
Tabela 9 – Fluxo de caixa ao longo do tempo para a implementação do sistema <i>off-grid</i>	62
Tabela 10 – Orçamento <i>off-grid</i> considerando para autonomia de sistema de 2 dias	63
Tabela 11 – Comparação dos valores de consumo de energia elétrica anual e consumo anual de gás de cozinha	65

LISTA DE SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ART	Anotação de Responsabilidade Técnica
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CRESESB Brito	Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S.
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
EDP	Energias de Portugal
FDI	Fator de Dimensionamento dos Inversores
GD	Geração Distribuída
IEC	Comissão Técnica Internacional
INMETRO Industrial	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade
MIGDI Elétrica	Microsistema Isolado de Geração e Distribuição de Energia
MPPT	<i>Maximum Power Point Tracking</i>
NOCT	<i>Nominal Operating Cell Temperature</i>
ONS	Operador do Sistema Elétrico
PID	Degradação Induzida por Potencial
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PRODIST Elétrico Nacional	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema
PRORET	Procedimentos de Regulação Tarifária
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
REN	Resolução Normativa
SIGFI Intermitente	Sistema Individual de Geração de Energia Elétrica com Fonte
STC	Condição Padronizada de Testes
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
TRT	Termo de Responsabilidade Técnica
VRLA	<i>Valve-Regulated Lead Acid</i>

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, no início do século XX, a indústria de energia elétrica tinha como principal objetivo de suprir comunidades locais, bem como em pontos específicos. Pode-se citar casos mais relevantes, como alimentar a rede elétrica dos bondes elétricos em São Paulo e no Rio de Janeiro. Com o Decreto nº 24.643/1934, mais conhecido como o Código de Águas, foi permitida a exploração ótima do potencial energético da força das águas, possibilitando as concessionárias de energia expandirem a demanda em suas regiões de concessão.

À medida que as cargas cresciam no país, houve a necessidade de ampliar o setor elétrico, chegando a um sistema complexo e interligado, chamado Sistema Interligado Nacional – SIN, controlado pelo Operador do Sistema Elétrico – ONS. Tal sistema monitora o despacho de diversas usinas geradoras hidrelétricas, termelétricas, solares, eólicas e nuclear. Apesar do minucioso controle, fiscalização e estudo de desenvolvimento do sistema elétrico como um todo, o país enfrentou e enfrenta várias crises, principalmente hídricas, o que reflete diretamente na geração de energia elétrica. Em consequência desses fatos, no ano de 2001, os reservatórios de água encontravam-se em 32% de capacidade de armazenamento. Um fator predominante que culminou na crise do suprimento de energia elétrica, seria o atraso da entrada em operação de obras na geração e transmissão, além disso, não havia novos empreendimentos no ramo da geração (TOLMASQUIM, 2015).

É sabido que o mundo avança em velocidade exponencial, principalmente no âmbito tecnológico e no crescimento de indústrias. O resultado dessas ações acarretam em um consumo maior de energia. Mesmo com o papel fiscalizador da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL para manter a modicidade tarifária, no ano de 2021, a bandeira tarifária chegou ao patamar escassez hídrica, com o valor de R\$14,20 a cada 100kWh (ANEEL, 2021).

Com todos os dilemas de risco de racionamento de energia, blecautes e tarifas onerosas para o consumidor, somado ao advento de implementação de geração de energia eólica e fotovoltaica, intensificou-se a busca por investimentos, principalmente solares,

para geração própria de energia elétrica, independente de qual grupo pertença o consumidor.

A instalação de pequenos geradores renováveis em unidades consumidoras (UC's), onde estas ficam conectadas à rede elétrica da distribuição, é chamada de geração distribuída (GD). Esta implementação passa previamente por aprovação da concessionária de energia (Energias de Portugal - EDP, 2021).

Mesmo com a grande busca por implementação de GD, este trabalho tem o propósito de mostrar um estudo de viabilidade técnico-econômico de dois projetos de geração própria direcionados ao consumidor residencial: com o sistema *on-grid*, ou seja, quando está ligado à rede de distribuição e o *off-grid*, que é o sistema isolado da rede da distribuidora e que depende de um conjunto de acumuladores de energia, por exemplo uma bateria, para utilizar a energia no momento em que a geração seja quase nula, e cada projeto apresentará uma metodologia diferente. Em adição, será descrito as vantagens e desvantagens de cada implementação e mostrar qual será mais viável para um consumidor residencial subgrupo B1.

1.1 MOTIVAÇÃO E OBJETIVO

Diante dos cenários de crises hídricas, riscos de racionamentos e encarecimento da fatura de energia elétrica, somado à popularização de instalação de GD atrelado à conscientização de reduzir impacto no meio ambiente e retorno financeiro, surgiu a iniciativa de estudar sobre o tema, que atualmente é bastante discorrido e apresenta mudanças constantes, seja nos valores de investimento ou no âmbito regulatório.

Vale ressaltar que a utilização de GD ajuda no aumento da confiabilidade do sistema, o que tanto para o consumidor quanto para a distribuidora isso é positivo, pois também promove a redução das oscilações na rede em horários de pico, redução das perdas técnicas, que são as fraudes ou roubos de energia. Em adição, o uso de GD proporciona maior autonomia ao consumidor.

O principal objetivo é mostrar um estudo de dois casos para geração de energia elétrica de forma *on-grid* e *off-grid*, direcionado a um determinado tipo de consumidor. Com as análises técnicas, econômicas e financeiras, mostrará qual a melhor opção para o cliente.

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está dividido em seis capítulos:

O Capítulo 1 é a Introdução, onde é descrito o contexto do trabalho sobre GD, abordando de forma breve o objetivo do estudo sobre o tema.

O Capítulo 2 traz o contexto bibliográfico, abordando temas essenciais que estão ligados à GD, que serve como base teórica para os estudos que serão feitos nos próximos capítulos.

O Capítulo 3 apresenta a metodologia técnica e estudo do orçamento do sistema de geração *on-grid*, discorrendo tecnicamente como calcular a quantidade de equipamentos e suas características técnicas e a viabilidade de investimento.

O Capítulo 4 explana o estudo a metodologia técnica e análise econômica de geração *off-grid*, e se apresenta da mesma similar que o capítulo anterior.

O Capítulo 5 faz a comparação entre os dois sistemas descritos e como se apresenta vantajoso ou sob o sistema convencional de geração de energia, direcionado para o cliente residencial categoria B1, de maneira a expor qual dos dois projetos mostra-se mais vantajoso diante dos prós e contras de cada modelo.

O Capítulo 6 abordará a conclusão do trabalho.

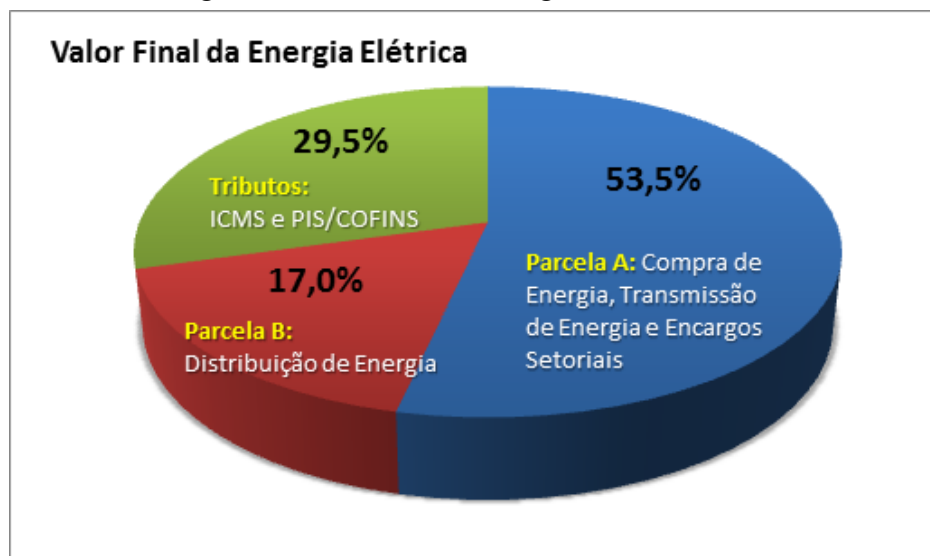
2 CONTEXTO BIBLIOGRÁFICO

2.1 CONCEITOS TARIFÁRIOS

A tarifa de energia é um conjunto de valores cobrados àqueles que consomem a energia elétrica fornecida por uma determinada distribuidora. Esta, por sua vez, repassa ao consumidor os valores de compra de energia, prestação de serviço, disponibilidade do sistema e da conexão, além dos tributos cobrados pelo Estado. Todas essas taxas são calculadas com base nos Procedimentos de Regulação Tarifária (PRORET). Apesar de

ser uma metodologia complexa, pode-se ponderar a composição da fatura de acordo com a Figura 1.

Figura 1- Valor final da energia elétrica.



Fonte: ANEEL, 2019

Para exemplificar as porcentagens associadas a cada custo, tem-se o seguinte: se o cliente de baixa tensão recebe uma cobrança de R\$100,00 na fatura de energia elétrica, cerca de R\$17,00 serão destinados à distribuidora de energia, R\$32,00 irão para os custos da geração, R\$9,00 para a transmissão, e por fim, R\$42,00 serão destinados aos tributos e encargos.

Os tributos são cobrados de acordo com a classe do consumidor. Com base na Resolução Normativa (REN) ANEEL nº 1.000/2021, que substituiu a REN nº 414/2010, pode-se dividir os clientes em grupo A (alta tensão) e B (baixa tensão), sendo assim (ANEEL, 2021):

Grupo A

Conjunto de unidades consumidoras que apresentam tensão de fornecimento igual ou superior a 2,3kV, ou que são atendidas por meio de sistema de distribuição subterrâneo em tensão secundária, na qual apresenta característica de tarifa binômica, ou seja, é cobrada pela energia e pela demanda de potência, independente do horário de utilização. Tal grupo possui a seguinte subdivisão:

- a) Subgrupo A1: onde a tensão de fornecimento é igual ou superior a 230kV;
- b) Subgrupo A2: apresenta tensão de fornecimento entre 88kV e 138kV;
- c) Subgrupo A3: tensão de fornecimento de 69kV;

- d) Subgrupo A3a: tensão de fornecimento de 30 kV a 44 kV
- e) Subgrupo A4: tensão de fornecimento de 2,3 kV a 25 kV;
- f) Subgrupo AS – tensão de fornecimento inferior a 2,3 kV, a partir de sistema subterrâneo de distribuição.

Grupo B

Conjunto de unidades consumidoras que apresentam tensão de fornecimento inferior a 2,3 kV, na qual apresenta característica de tarifa monômnia, ou seja, é uma tarifa por consumo de energia elétrica sem depender da hora que é utilizada. Este grupo possui a seguinte subdivisão:

- a) subgrupo B1 – residencial;
- b) subgrupo B2 – rural;
- c) subgrupo B3 – demais classes; e
- d) subgrupo B4 – Iluminação Pública.

2.2 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA E RESOLUÇÃO NORMATIVA

482/2012

A Geração Distribuída, sob o ponto de vista de (ACKERMANN, ANDERSON E SÖDER, 2001), apresenta muitas definições na literatura, não existindo, portanto, uma definição única.

De acordo com (EDP, 2021), a GD vem a ser um processo que possibilita o cliente de instalar em sua própria unidade consumidora, pequenos geradores de energia, de forma renovável e que essa energia convertida é descontada da que foi consumida, reduzindo, na maioria dos casos, um valor importante na fatura de energia do cliente.

A regulação da GD só foi consolidada com a REN nº 482/2012, onde “Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica”. Tal resolução define este tipo de geração em duas formas (ANEEL, 2012):

- Microgeração distribuída: central geradora que apresenta potência instalada menor ou igual a 75 kW, onde sua base de geração seja por cogeração ou fontes renováveis, que mantenham conexão com a rede de

distribuição. Os custos da adequação do sistema de medição são de responsabilidade da concessionária.

- Minigeração distribuída: central geradora que apresenta potência instalada maior que 75 kW e menor ou igual a 5 MW, onde a geração provém de fontes renováveis ou cogeração. Os custos de adequação do sistema de medição são de responsabilidade do cliente.

Vale frisar que só podem solicitar aderência à GD os clientes considerados cativos, sejam eles da rede de Baixa tensão (monofásicos, bifásicos e trifásicos) ou de Alta tensão.

Quando o cliente vai fazer instalação de GD, é necessário seguir as regras e procedimentos presentes no módulo 3 dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional - PRODIST. Assim, neste contexto de GD, o cliente, a depender do caso, deve iniciar a solicitação por duas maneiras (EDP, 2021):

- Quando os clientes que não apresentam unidade consumidora existente na sua área de concessão, que neste caso faz-se necessário entregar à distribuidora três documentos iniciais: o formulário a procuração e um cronograma. Este processo é chamado de consulta de acesso e o prazo estabelecido pela ANEEL para emissão de parecer ou viabilidade é de 60 dias;
- Ou na situação onde o cliente já possui cadastro em alguma unidade consumidora, este deve fazer envio do projeto de mini ou microgeração distribuída a fim de análise e homologação da concessionária. Essa ação é denominada solicitação de acesso e a documentação necessária para estes fins, são: Formulário, Documentação Técnica (Anotação de Responsabilidade Técnica - ART ou Termo de Responsabilidade Técnica - TRT de projeto ou execução), diagrama unifilar, certificado do inversor, Dados ANEEL, procuração, memorial, cronograma, UC's participantes e compromisso de solidariedade.

A Tabela 1 esclarece os prazos da ANEEL para as seguintes condições:

Tabela 1 – Prazos da ANEEL para validação de documentação

Perfil	Prazo	
Microgeração	Até 15 (quinze) dias após o recebimento da solicitação de acesso quando não houver necessidade de melhorias na rede de energia elétrica da distribuidora	Até 30 (trinta) dias após o recebimento da solicitação de acesso quando houver necessidade de obras de melhorias na rede de energia elétrica da distribuidora
Minigeração	Até 30 (trinta) dias após o recebimento da solicitação de acesso quando não houver necessidade de melhorias na rede de energia elétrica da distribuidora	Até 60 (sessenta) dias após o recebimento da solicitação de acesso quando houver necessidade de obras de melhorias na rede de energia elétrica da distribuidora

Fonte: EDP, adaptado pela autora.

Após homologação do projeto pela distribuidora, o cliente tem um prazo a cumprir de 120 dias para a instalação do projeto e solicitação de vistoria da mini ou micro geração distribuída. Caso ultrapasse os 120 dias, faz-se necessário o reenvio do projeto para análise e terá uma nova homologação. O documento necessário para solicitação da vistoria é o Termo Operativo, e o prazo da ANEEL são de 7 dias corridos.

Para cadastrar uma unidade consumidora para receber o crédito, o titular da UC onde encontra-se a instalação de mini ou microgeração pode adicionar outras UC's ao sistema de compensação de energia. Para isso, é necessário indicar as unidades que serão beneficiadas, com discriminação dos percentuais de rateio dos créditos, tendo como base os critérios de modalidade de compensação de energia. Os documentos necessários para a solicitação, ressaltando que o prazo ANEEL é de 60 dias, são:

- Procuração;
- Planilha de UC's participantes;
- Compromisso de solidariedade.

2.3 PLACA FOTOVOLTAICA

A placa solar, também pode ser chamada de módulo ou painel fotovoltaico, consiste no conjunto de células fotovoltaicas. A energia solar proveniente de placas fotovoltaicas acontece por meio do Efeito Fotovoltaico, onde a luz do sol é convertida em

energia elétrica. Tal efeito, descoberto por Edmond Becquerel, no ano de 1839, por meio de experimentos com brometo e cloreto de prata, fazendo uma camada nos eletrodos de platina. Expondo esse conjunto à luz, observou que houve uma excitação de elétrons, gerando uma diferença de potencial e fluxo de corrente elétrica (ENERGIA INTELIGENTE, 2021).

Mais adiante, em 1876, W.G. Adams e R. E. Day, em seus experimentos com eletrodos de selênio, obtiveram um fenômeno similar ao descoberto por Becquerel. No entanto, a eficiência desse sistema era muito pequena, em torno de 0,5% (GRUPO 3 UNIFEI, 2021).

Os estudos em energia fotovoltaica endossou após a metade do século XX, com os estudos de Albert Einstein sobre efeito fotoelétrico e com o estudo mais detalhado em materiais semicondutores, que são materiais que comportam-se ora como condutor, ora como isolante, a depender dos fatores externo. Exemplos de elementos semicondutores são o silício (*Si*), boro (*B*), cádmio (*Cd*), germânio (*Ge*) (GRUPO 3 UNIFEI, 2021).

As células fotovoltaicas passaram por diversas tecnologias para serem fabricadas, até chegar nos modelos de lâminas de silício cristalino. O silício, material semicondutor, encontrado em abundância no Brasil, é extraído do mineral quartzo.

Assim, pode-se classificar as células fotovoltaicas em três gerações, como (SOLIENS, 2021):

- 1ª Geração: Podem ser chamadas de células tradicionais ou convencionais. São formadas por fatias muito finas de silício, em formato de bolachas. São comumente chamadas de *wafers*. Estas células apresentam dois tipos, que são as células fotovoltaicas de silício monocristalino e policristalino. Esta geração de células fotovoltaicas são as mais conhecidas no mercado.
- 2ª Geração: São células solares de filme fino, feitas de silício amorfo (sua forma é não cristalina). Sua aplicação ocorre em locais onde não há como instalar placas fotovoltaicas de 1ª geração, a exemplo de galpões cujo teto apresenta estruturas leves.
- 3ª Geração: São as células que surgiram mais recente, formada por filmes orgânicos, porém ainda não são comercializadas;

2.3.1 CÉLULA FOTOVOLTAICA DE SILÍCIO MONOCRISTALINO

Este tipo de célula, de acordo com (SILVA, 2016), apresenta uma característica que remete a um quadrado de arestas aparadas. Apresenta uma eficiência entre 15 a 22%, formadas por um único cristal de silício ultrapuro, e por esse motivo apresenta uma coloração uniforme, azul escuro ou preto. O processo pelo qual é formado o cristal de silício é conhecido por método de Czochralski. A Figura 2 mostra um exemplo de célula monocristalina, onde o produto, o *wafer*, passa por processo de dopagem de silícios do tipo P e N, e que em uma face é colocada uma película metálica e na outra uma grade metálica, com banho de material antirreflexo no lado que irá receber luz (ELYSIA ENERGIA SOLAR, 2019).

Figura 2 – Célula Monocristalina.



Fonte: Sol Central, 2022.

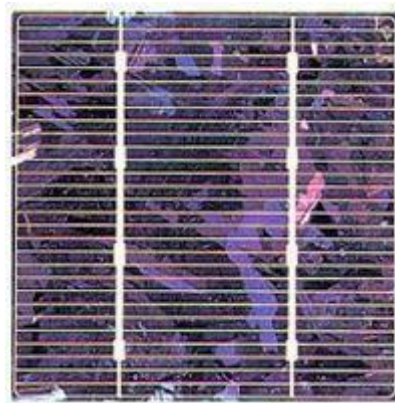
Os pontos positivos de se implementar GD com placas fotovoltaicas formadas por células monocristalinas, são: vida útil acima de 30 anos, bom funcionamento mesmo com baixa incidência de luz, comparado às células de silício policristalino. Também ocupam menor espaço. Porém, sua desvantagem é o custo, pois são um pouco mais caras que as placas de silício policristalino (ELYSIA ENERGIA SOLAR, 2019).

2.3.2 CÉLULA FOTOVOLTAICA DE SILÍCIO POLICRISTALINO

As células policristalinas (SOLAR INOVE, 2021) apresentam a mesma matéria que as células monocristalinas, que é o silício. Porém, o que difere entre elas é o processo

de fundição dos cristais. Neste caso, nas células policristalinas, o silício é fundido em blocos, que são cortados, construindo vários cristais, de formas e tamanhos diferentes e que montam uma estrutura policristalina, onde na Figura 3 mostra nitidamente esse aspecto de variação na cor.

Figura 3 – Célula Policristalina.



Fonte: Sol Central, 2022.

Como na superfície dessas células apresenta espaços entre os cristais, consequentemente ocupa maior espaço, isto implica na interferência no seu rendimento, que varia de 14 a 20%. Apesar dessas desvantagens, estas células apresentam vida útil maior que 30 anos e custam mais barato que as células monocristalinas.

2.3.3 CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DAS CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

Todo projeto elétrico há pelo menos dois parâmetros essenciais, a corrente e tensão. A corrente de um módulo fotovoltaico depende da área, pois quanto maior essa área onde há incidência de luz, maior vai ser a corrente fornecida. Já a tensão será maior ao ligar as células em série. E para entender as informações que aparecem nos catálogos dos fabricantes de módulos fotovoltaicos, (VILLALVA, 2012) conceitua as seguintes nomenclaturas:

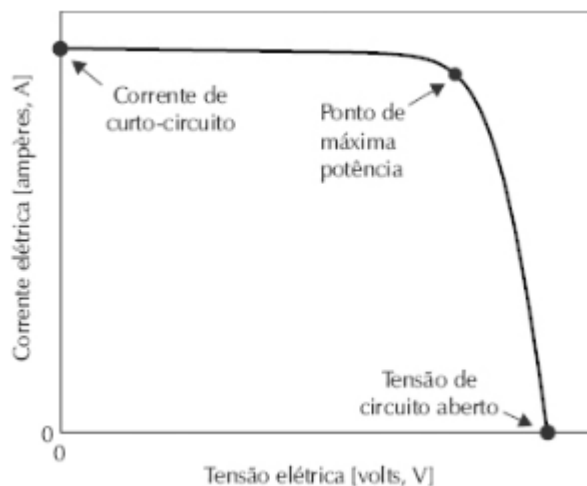
- Corrente de curto-circuito I_{cc} : é o valor máximo de corrente nas condições em que o módulo encontra-se em curto-circuito, ou seja, quando a tensão é zero.

- Tensão de circuito aberto V_{ca} : é o valor máximo de tensão em situação onde o módulo fotovoltaico está com seus terminais em aberto, ou seja, quando não há nada ligada nele.
- Tensão de máxima potência V_{mp} : é a tensão nominal do módulo. Em outras palavras, é o valor de tensão quando o módulo fornece, na condição padronizada de testes (STC), sua máxima potência.
- Corrente de máxima potência I_{mp} : de raciocínio análogo à V_{mp} , o I_{mp} é o valor da corrente quando o módulo opera em máxima potência.
- Potência de pico P_{pico} : sob condição STC, é o valor de máxima potência. Nos cálculos, corresponde a multiplicação de I_{mp} por V_{mp} .
- Eficiência do módulo η : é a razão entre a potência máxima ou potência de pico P_{pico} , em watts, e o produto entre a área do módulo $A_{mód}$, em m^2 , e a taxa de radiação solar no STC, que é de $1000 W/m^2$. Assim, a equação será dada por:

$$\eta = \frac{P_{pico}}{A_{mód} * 1000} \quad [1]$$

Com isso, a curva resultante entre a corrente de curto-circuito e tensão de circuito aberto é dado na Figura, para as situações de máxima potência, corrente de curto-circuito e tensão em circuito aberto.

Figura 4 - Curva da corrente elétrica versus tensão para o módulo fotovoltaico, sob SCN.



Fonte: Villalva, 2018.

2.3.4 FATORES QUE INFLUENCIAM NA PERDA DE POTÊNCIA DO MÓDULO FOTOVOLTAICO

Alguns fatores, sejam eles externos ou internos, impactam no rendimento do módulo fotovoltaico. A temperatura é um desses agentes que causam a variação da potência dos módulos. Também, o aumento de temperatura assume uma relação direta na diminuição do valor de tensão e, como efeito, o ponto de máxima potência diminui.

Para entender, por meio de cálculos, como a temperatura é um fator relevante no aumento/diminuição de potência, usaremos como exemplo um painel solar de 340 W da marca OSDA, modelo ODA340-36-P. Na Figura 5 há destaque para dois coeficientes do *datasheet* do módulo citado: o P_{max} Temperature Coefficient (Coeficiente de Temperatura) e o NOCT - *Nominal Operating Cell Temperature* (°C), que corresponde à temperatura nominal de operação do módulo.

Figura 5 - Valores Nominais de Temperatura de Operação do Módulo.

Maximum System Voltage(V)	1000/1500
Maximum Series Fuse Rating(A)	20
Power Tolerance	0 ~ +3 %
Pmax Temperature Coefficients(W/°C)	-0.400 %
Voc Temperature Coefficients(V/°C)	-0.300 %
Isc Temperature Coefficients(A/°C)	+0.060 %
NOCT Nominal Operating Cell Temperature(°C)	45±2
Operating and Storage Temperature(°C)	-40 ~ +85

Fonte: NeoSolar, 2022.

A perda de eficiência do módulo será dada por:

$$45^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C} = 20^{\circ}\text{C}, \quad [2]$$

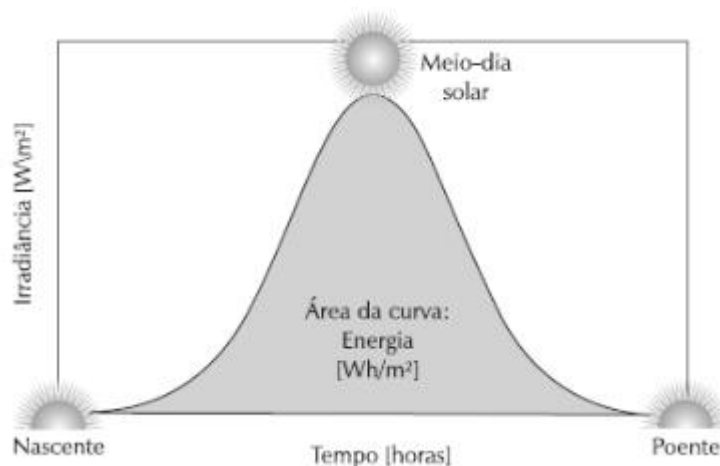
onde 25°C é a temperatura na condição padrão *STC*

$$\text{Perda da eficiência} = 20 * 0,400 = 8\% \quad [3]$$

Isto significa que a potência máxima do módulo ficará, em média, 8% abaixo da informada nos dados técnicos. Como a potência nominal deste módulo é de 340W, a uma temperatura de 40°C , a potência será de 312,8 W.

Um outro aspecto que deve ser levado em consideração em relação à perda na geração, é a radiação. O que quantifica a radiação é a irradiância, que é o quanto de energia proveniente do sol transpassa uma superfície a cada instante de tempo. E esse valor depende da latitude, ou seja, na inclinação dos raios do sol que incidirá na placa (SOLAR VIEW, 2022). O valor padrão adotado para o uso de projetos fotovoltaicos é de 1000 W/m^2 . A figura mostra que também, ao longo do dia, a irradiância oscila, e atinge seu máximo ao meio-dia, formando assim, uma curva em formato de sino.

Figura 6 - Comportamento da irradiância solar no período de um dia.



Fonte: Villalva, 2018.

2.3.5 CERTIFICAÇÃO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Existem no Brasil diversas marcas de painéis fotovoltaicos que são comercializadas, mas é preciso ter cuidado na hora de fazer a melhor escolha. O primeiro ponto a ser observado é a presença de selo do Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - INMETRO. E por meio da Portaria nº 004, de 04 de janeiro de 2011 (INSTITUTO SOLAR, 2019) é que aborda as informações sobre quais avaliações devem ser feitas nos equipamentos de geração de energia fotovoltaica, entre elas, módulo, inversor, controlador de carga e baterias, além de provar que tais equipamentos estão em conformidade com a segurança. A Figura 7 mostra como é uma etiqueta padrão e o que deve conter ao receber o equipamento.

Figura 7 - Etiqueta INMETRO para módulos fotovoltaicos.

Energia (Elétrica)		
Fornecedor	Marca	← I
Versão	Modelo	← II
MÓDULO FOTOVOLTAICO		← III
Mais eficiente 		← IV
Menos eficiente		
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (%)	XY,Z	← V
Área Externa do Módulo (m ²)	0,00	← VI
Produção Média Mensal de Energia (kWh/mês)	00,0	← VII
<small>Registre-se Avaliação de Conformidade para Sistema e equipamentos para Energia Fotovoltaica - Portaria Inmetro nº 584/2011</small> <small>Instruções de instalação e recomendações de uso, leia o Manual do aparelho</small> 		← VIII

Fonte: Instituto Solar, adaptado pela autora, 2022.

O segundo fator desejável é que tal produto tenha passado pelos critérios determinados pela Comissão Técnica Internacional (IEC). E por meio da IEC 61215, com fins de validação de operação a longo prazo dos módulos fotovoltaico ao ar livre, estes equipamentos passam por diversos testes e ensaios para qualificação, a citar (ECORI, 2021):

- Inspeção visual: que tem como objetivo detectar quaisquer defeitos, por exemplo, rachaduras, por meio da visualização.
- Determinação de máxima potência: são feitos vários ensaios com finalidade de calcular a perda de potência em situação que o módulo é colocado em estresse.
- Teste de resistência de isolamento: experimentos são feitos para identificar eventuais locais que não apresentam bom isolamento onde pode causar acidentes ao usuário.
- Medição de coeficiente de temperatura: são testes feitos com corrente de curto-circuito, tensão de circuito aberto e potência máxima para encontrar os coeficientes de temperatura.
- Desempenho em STC: são ensaios para verificar a variação do desempenho elétrico à medida que se varia a carga, em condições de STC.

- Desempenho em baixa irradiância: são experimentos feitos em condição de irradiação a 200 W/m^2 e a temperatura de 25°C , onde varia-se a carga para observar também o desempenho elétrico.
- Teste de exposição ao ar livre: coloca-se o módulo exposto à condições externas e observa-se quais degradações ocorrem que não foram detectadas no laboratório.
- Teste de resistência a pontos quentes: são testes que objetiva identificar danos causados por pontos quentes.
- Teste de resistência aos raios ultravioleta UV: são avaliações de degradação do módulo fotovoltaico quando exposto à radiação UV.
- Teste de ciclagem térmica: sob mudanças de temperatura, são verificadas a capacidade que o módulo suporta a fadiga e incompatibilidade térmica.
- Teste de congelamento e umidade: são testes de comportamento do módulo quando em contato com umidade e temperaturas abaixo de 0°C .
- Teste de calor úmido: são testes realizado em temperatura a 85°C e umidade relativa de 85%, durante um intervalo de tempo de 1.000 horas. Assim, aguarda-se de 2 a 4 horas numa temperatura de 23°C e verifica-se quais foram os efeitos sob estas condições.
- Teste de robustez nas terminações: são verificadas as resistências nos locais onde há fixação, como por exemplo dos cabos, das terminações em situações como manuseio e montagem;
- Teste de corrente de fuga: são exames que verifica se há fuga de corrente em momentos onde há infiltração de umidade, que pode levar ao risco de segurança ou dano dos circuitos.
- Teste de carga mecânica estática: são aplicados testes de pelo menos 2.400 Pa e verifica se o módulo suporta a aplicação de cargas estáticas.
- Teste de granizo: é a verificação da resistência do módulo ao impacto do granizo. O requisito mínimo é que o granizo tenha um peso
- Teste com diodo *bypass*: a função deste diodo é de suprimir os pontos quentes, sendo assim, aqui é avaliada a temperatura sob operação e a confiabilidade do diodo.
- Teste de estabilização: consiste em expor os módulos solares à luz e medir sua potência.

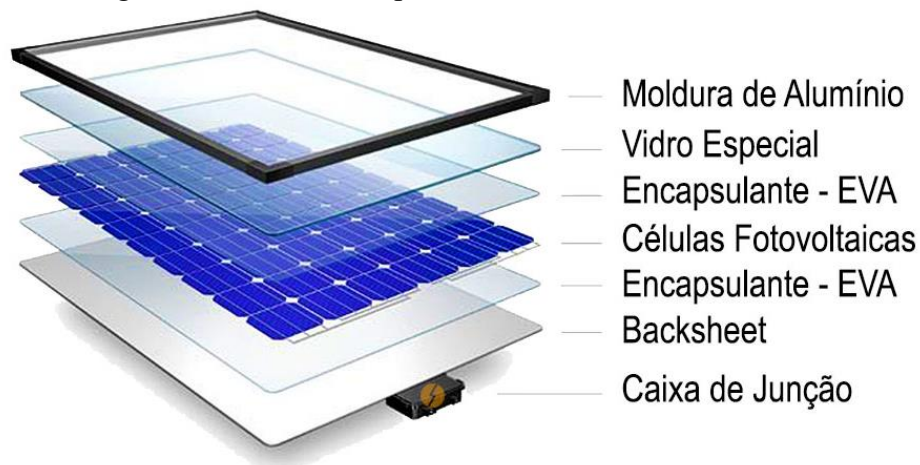
- Teste de carga mecânica dinâmica: o teste é feito aplicando-se carga de 1000 Pa em condição de 1000 ciclos para identificar possíveis fragilidades nas placas.
- Teste de degradação induzida por potencial (PID): este fenômeno, resumindo em poucas palavras, se dá pela fuga da corrente entre as células do módulo fotovoltaico e outras partes que compõe o conjunto, podendo causar corrosão na parte interna dos componentes ou e/ou diminuição da eficiência da placa. Esse teste é feito para identificar tipos de placas que apresentam esse comportamento.
- Teste de curvatura: é avaliada a flexibilidade do material da placa sem que haja danos.

2.3.6 CONSTRUÇÃO DO PAINEL FOTOVOLTAICO E ARRANJOS DE PAINÉIS

As células fotovoltaicas são ligadas em série, formando uma linha condutora, chamadas de *string*. Por cima das células há um filme encapsulante formado de acetato-vinilo de etileno (EVA), que tem como principal função a de proteção das células fotovoltaicas contra raios UV, umidade e variações de temperatura. Assim, uma lâmina de vidro temperado de espessura de 3.2 mm, com antirreflexo, fica acima do filme.

Na parte posterior do conjunto de células, há um filme branco (*backsheet*), que serve tanto de isolante como protetor dos elementos internos do painel. Toda a estrutura é presa por uma moldura de alumínio resistente à corrosão. Por fim, a caixa de junção (*stringbox*) é ficada na parte de trás da do painel e nele contém, além dos cabos que fazer a ligação entre placa e inversor, apresenta também o diodo *bypass*, cuja função deste dispositivo já fora mencionado neste trabalho. A Figura alegoriza a formação da placa fotovoltaica (PORTAL SOLAR, 2022).

Figura 8 – Estrutura do painel fotovoltaico.

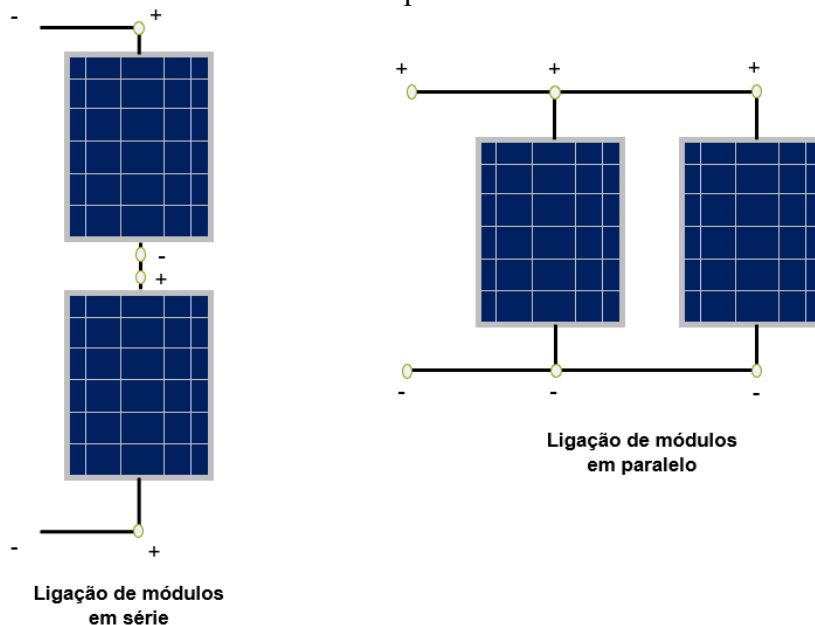


Fonte: Portal Solar, 2022.

A depender do objetivo do projeto de geração fotovoltaica, os módulos podem ser ligados em série ou em paralelo, como ilustra a Figura 9. A ligação em série consiste em ligar o polo negativo do módulo com o polo positivo do outro módulo, e assim sucessivamente. A tensão total do arranjo será a soma das tensões de cada placa fotovoltaica. Entretanto, o valor da corrente permanecerá a mesma. O uso de conexão em série é interessante em sistemas *on-grid* pelo fato de que o inversor não suporta grandes valores de corrente.

A conexão em paralelo é feita de forma que o polo positivo de uma placa é ligado ao positivo da outra placa, de forma análoga é feito entre os polos negativos. O sistema apresentará um valor de tensão menor que a ligação em série, porém o valor da corrente será a soma das correntes de cada módulo fotovoltaico. Esse tipo de arranjo é válido para projetos de geração de energia *off-grid* devido ao valor de tensão das baterias ser mais baixa. Sua vantagem é que quando ocorre sombreamento parcial nas placas, o sistema não ficará impedido de gerar energia. A desvantagem é que, quanto maior o valor da corrente, maior será a bitola dos cabos, dificultando o manuseio na hora da instalação além de que este tipo de cabo custa mais caro.

Figura 9 – Formas de fazer conexão em série e paralelo dos módulos fotovoltaicos.

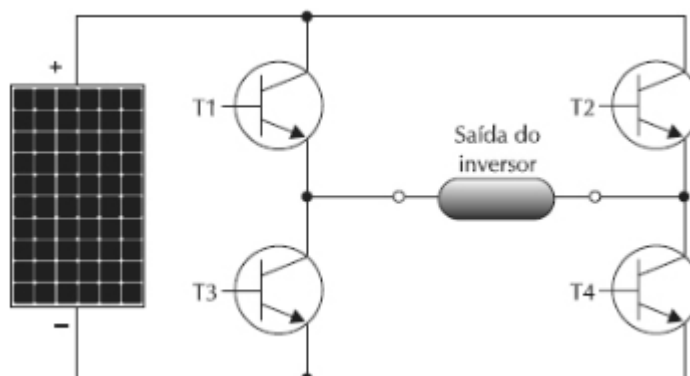


Fonte: Própria da autora.

2.4 INVERSOR DE FREQUÊNCIA

Inversores são dispositivos conversores CC-CA chaveados. O principal propósito (VITORINO, 2019) é produzir uma saída senoidal CA, onde a amplitude e a frequência podem ser controladas por meio de transistores, que funcionam como chaves, como mostra a Figura 10.

Figura 10 – Circuito eletrônico básico do inversor CC-CA.



Fonte: Villalva, 2018.

A placa fotovoltaica funciona como fonte de tensão, conforme interpreta (VILLALVA, 2012). O princípio de funcionamento da tensão senoidal ocorre quando os transistores são ligados na diagonal, de forma alternada. Mas, um inversor comercial é um pouco mais complexo que o exemplo apresentado, pois além de possuir transistores, contém capacitores, indutores e microprocessador digital.

O inversor de frequência, ou também chamado de inversor solar, apresenta um papel fundamental no sistema de geração de energia solar, pois a placa fotovoltaica “produz” energia elétrica na forma corrente contínua (CC). E para ser conectada à rede, é necessário o inversor converter energia elétrica de corrente contínua em alternada (CA), de forma eficiente.

Segundo (MAMEDE, 2021), o inversor é importante para quem está projetando o sistema, devido às grandezas de entrada e saída do equipamento serem os mesmos para o sistema de proteção e condutores, servindo também de proteção para os painéis. Existem dois tipos de inversores no mercado:

- *Grid-tie* ou *on-grid*: são usados para projetos de geração de energia conectados à rede elétrica.
- *Off-grid* ou *autônomos*: estes são aplicados em projetos de geração que não são conectados à rede.

Um inversor CA-CC para sistemas fotovoltaicos apresenta características relevantes, tais como (SOLAR BRASIL, 2018):

- Potência nominal: é aquela que deve ser entregue em operação normal. Para uma boa eficiência de operação, o inversor deve apresentar um valor de potência nominal maior que a potência total da carga que será conectada a ele.
- Potência máxima: é a potência que o inversor pode suprir em situações de sobrecarga.
- Tensão de entrada CC e Tensão de saída CA: são as tensões que correspondem, respectivamente, à entrada e à saída do inversor.
- Frequência de saída: é a frequência da tensão na saída do inversor, em corrente alternada.
- Regulação de tensão: é o valor, em porcentagem, da variação de tensão na saída quando este está conectado a uma carga. O maior valor de tensão,

que é a referência, é quando o inversor opera em vazio, ou seja, quando não há nenhuma carga conectada a ele. Tal valor deve estar entre 0% a 10%.

- Eficiência: é a relação entre a potência de saída e a potência de entrada. O valor aceitável de eficiência do inversor, é no mínimo 90%.
- Forma de onda de saída: é o comportamento da tensão alternada na saída do inversor. Pode-se encontrar três tipos de inversores com formas de onda senoidal pura, onda quadrada e onda senoidal modificada. É interessante adquirir para o projeto um inversor de onda senoidal pura, pois manterá a comportamento da tensão da rede de forma fidedigna, que é uma onda senoidal.
- Distorção harmônica: é o índice que indica o quanto a tensão de saída do inversor está fiel a uma onda senoidal pura. Idealmente, uma distorção de 0% significa que está a tensão de saída é uma senóide pura.
- Proteções: sobrecarga na saída, reversão de polaridade, curto-circuito, sobreaquecimento, sobretensão e subtensão.

2.5 BATERIA

A bateria, um dispositivo usado largamente nos tempos atuais, funciona como armazenador de energia, ou seja, um alimentador de carga, que teve seu primeiro protótipo construído, até onde conhecido, há 2.000 anos. Em suma, foi encontrado no Iraque (MUSEU WEG DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 2019), na região de Bagdá, um vaso de argila preenchido com solução ácida, que acredita-se ser vinho ou vinagre, e nele continha uma haste de ferro na qual estava imersa em um cilindro de cobre, como mostra na Figura 11.

Figura 11 – Pilha de Bagdá.



Fonte: WEG, 2022.

O cientista italiano Alessandro Volta (1745-1827), ficou conhecido pelo invento da pilha de Volta, cerca do ano de 1800. Esse dispositivo era formado por um empilhamento de discos dos metais cobre e zinco, dispostos alternadamente. E entre os discos havia uma tecidos embebidos em solução de ácido sulfúrico. Ao ligar os discos entre as extremidades, havia passagem de corrente. A Figura 12 representa a pilha projetada por Volta (FARIAS, 2022).

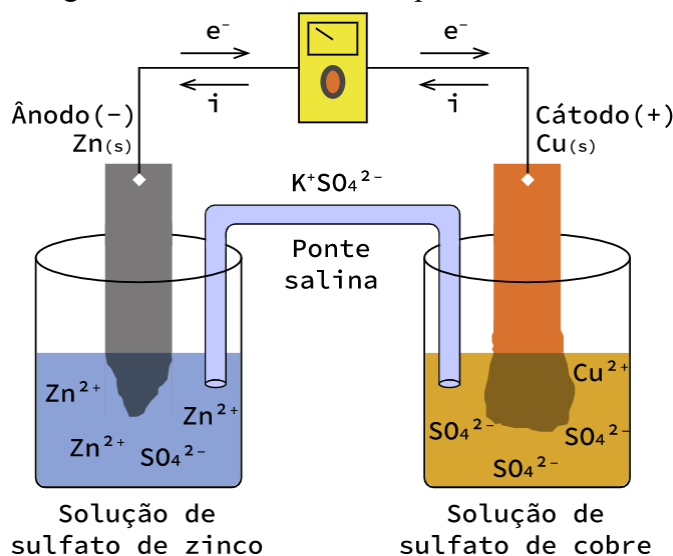
Figura 12 – Pilha de Volta.



Fonte: Wikipedia, 2022.

Já no ano de 1836, o químico e meteorologista inglês John Frederic Daniell (1790-1845), aprimorou a ideia de Alessandro Volta e implementou um tipo de bateria, conhecida por pilha eletroquímica, que consiste em dois recipientes, um com uma lâmina de zinco imerso em solução de sulfato de zinco ($ZnSO_4$), e no outro uma lâmina de cobre mergulhado em solução de sulfato de cobre ($CuSO_4$). E entre esses dois reservatórios, havia uma ponte entre as soluções, chamada ponte salina, que é um tubo de vidro em formato U com solução de cloreto de potássio (KCl), normalmente. A função dessa ponte é de “fechar o circuito” e manter equilíbrio das cargas na solução (PREPARA ENEM, 2022). Em adição ao sistema, um fio condutor interligando esses eletrodos. Com isso, as reações de óxido-redução ocorrem como apresenta na Figura 13.

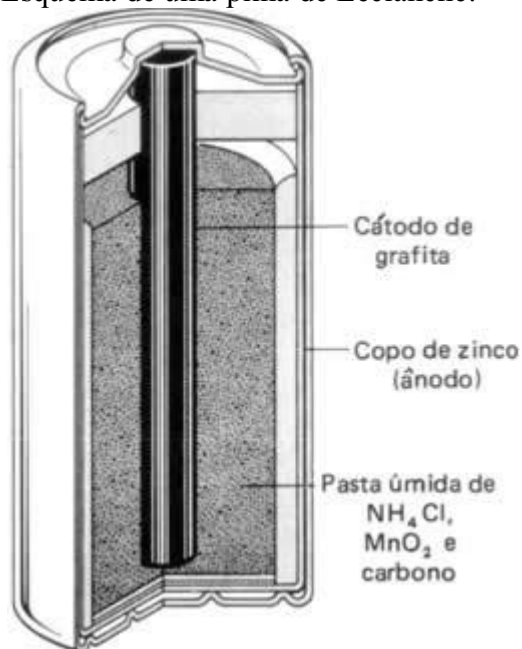
Figura 13 – Alegoria do funcionamento da pilha de Daniell.



Fonte: Realize Educação.

A primeira pilha sem inserção de soluções foi desenvolvida pelo engenheiro eletricitista Georges Leclanché (1839-1882), no ano de 1866. Essa bateria é composta por um ânodo, que consiste em um invólucro cilíndrico e seu cátodo, formado por um eletrodo de grafita em uma pasta de dióxido de manganês (MnO_2), cloreto de amônio (NH_4Cl), água e carbono em pó, como ilustra na Figura 14 (MANUAL DA QUÍMICA, 2022).

Figura 14 -Esquema de uma pilha de Leclanché.

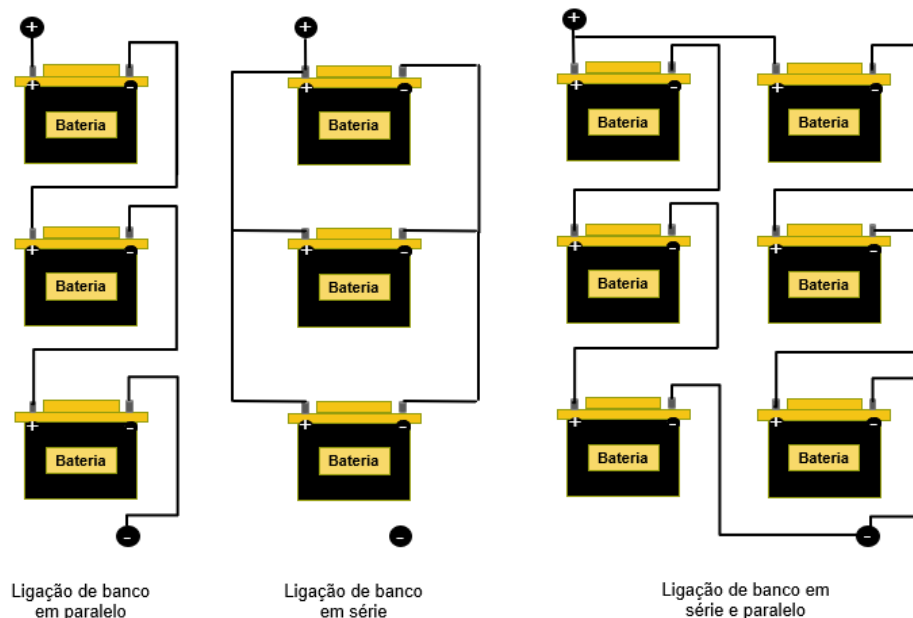


Fonte: Mundo Educação, 2022.

A aplicação de baterias em sistemas fotovoltaicos autônomos é necessária para proporcionar energia aos consumidores em tempo ininterrupto, mesmo em momentos onde a geração é quase nula.

O banco de baterias pode ser ligado em série, quando o objetivo é um maior valor de tensão, ou em paralelo, quando a intenção é um acúmulo maior de energia e injetar um valor maior de corrente mantendo um valor mais baixo de tensão. A Figura 15 mostra como são feitas as ligações entre baterias nas formas série, paralelo e misto.

Figura 15 – Maneiras de conectar um banco de baterias.



Fonte: Própria da autora.

Para o uso em projetos solares, as baterias normalmente são as de chumbo-ácido, as mais modernas de íon de lítio ou as de níquel-cádmio.

A bateria de chumbo-ácido, desenvolvida pelo físico francês Gaston Planté (1834-1889) em 1859, basicamente é formada por um eletrodo negativo de chumbo e outro eletrodo positivo de dióxido de chumbo, mergulhados em solução de ácido sulfúrico. É o primeiro modelo de bateria recarregável, mas ao longo do tempo sofreu melhorias e surgiu a bateria de chumbo ácido com eletrólito em gel seladas, conhecida como *Valve-Regulated Lead Acid* (VRLA), que são baterias reguladas por válvula para liberação de gases quando sobrecarregadas. Vale deixar claro que as baterias automotivas não são indicadas para aplicação fotovoltaica e por isso foi desenvolvida a bateria estacionária, que apresenta maior capacidade de reserva, e suporta mais ciclos de carga e descarga. As baterias de chumbo-ácido estão entrando em desuso para aplicações de projetos solares (STA SISTEMAS E TECNOLOGIA APLICADA, 2022).

Em concordância com (VILLALVA, 2012), as baterias de níquel-cádmio, também recarregáveis, foram criadas pelo engenheiro Ernst Waldemar Jungner (1869-1924), no ano de 1899. Apesar de serem consideradas ultrapassadas, elas podem ser utilizadas em locais onde a manutenção e o acesso tornam-se difíceis e mesmo sendo mais caras que as de chumbo-ácido, elas são mais duradouras.

As baterias de íon-lítio são bastante populares nos dias de hoje e encontram-se aplicadas em dispositivos de tecnologia, como celulares, câmeras fotográfica, *notebooks*,

drones e veículos elétricos. As primeiras pesquisas para criação de baterias utilizando o lítio foram lideradas em 1912 pelo físico-químico Gilbert Newton Lewis (1875-1946). Mas somente em um trabalho conjunto entre o professor John Goodenough e o físico Koichi Mizushima, foi desenvolvida uma bateria de lítio óxido de cobalto ($LiCoO_2$), sendo vendida para a Sony em 1991 (SEC POWER, 2021).

A aplicação de baterias de íon-lítio é muito interessante para sistemas fotovoltaicos, pois além de uma maior garantia, apresentam um *design* mais atrativo, como apresenta na Figura 16.

Figura 16 – Baterias de íon-lítio.



Fonte: Portal Solar, 2022.

Nos projetos de sistema de geração isolados, as baterias utilizadas normalmente são as estacionárias, pois apresentam maior tensão operacional que a bateria comum de chumbo-ácido. Além disso, as baterias estacionárias apresentam ciclos de carga e descarga mais longos, apresentando uma vida útil maior. Outro ponto interessante é que esse tipo de bateria não libera gases tóxicos e por isso será utilizada no projeto de geração *off-grid*.

2.6 CONTROLADOR DE CARGA

O controlador de carga é o um dispositivo utilizado em sistemas autônomos (*on-grid*), que tem como principal função controlar o carregamento e descarregamento do conjunto de baterias, de modo que permita um funcionamento correto. Sem este equipamento, as baterias entram em dano mais rápido. A Figura 17 mostra um controlador

de carga usualmente encontrado no comércio, com três terminais, pois todo o sistema fotovoltaico deve ser interligado ao controlador.

Figura 17 – Controlador de carga.



Fonte: Solar Energia, 2020.

Em linha com (SOLAR ENERGIA, 2016), os parâmetros fundamentais que definem o funcionamento do controlador de carga, ou seja, suas funções, são:

- Proteção contra sobrecarga: o controlador tem como papel verificar a tensão nos terminais da bateria até que ela atinja seu valor de tensão. E para evitar a sobrecarga, ao completar o carregamento, o controlador desconecta-se do painel solar.
- Proteção de descarga excessiva: o controlador, em situação análoga à anterior, desconecta-se do sistema em situação onde a bateria atinge um nível crítico de carga, quando está em baixa tensão.
- Gerenciamento de carga da bateria: alguns controladores possuem algoritmo de carga com múltiplos estágios, que permite que o dispositivo controle a bateria de forma que melhore a performance do carregamento.

O controlador de carga pode ser conectado em paralelo com outro, desde que seja do mesmo modelo e mesmo fabricante. Esse arranjo de controladores é feito quando há

uma instalação grande, de forma a dividir as cargas para mais de um controlador. Portanto, ainda de acordo com (VILLALVA, 2012), pode-se encontrar vários tipos desses equipamentos, a citar:

- Convencionais: são os mais encontrados nos sistemas fotovoltaicos. Este apresenta duas funções, que desconecta a carga quando atinge um baixo nível de carregamento e desconecta da placa fotovoltaica quando está 100% da bateria carregada.
- Controlador com *Pulse Width Modulation* (PWM): são equipamentos mais complexos, pois possuem circuitos eletrônicos com controle rígido da corrente de carga da bateria. Sua vantagem é que custa menos que o controlador *Maximum Power Point Tracking* (MPPT), além de preservar a vida útil da bateria.
- Controlador com MPPT – rastreamento do ponto máximo de potência: são os controladores mais caros do mercado. Em compensação, são os mais sofisticados, pois além de possuir a tecnologia PWM, este dispositivo faz com que a placa fotovoltaica opere em seu ponto de máxima potência, independente das condições externas. Com isso, a inserção desses controladores no projeto solar, a produção de energia pode aumentar de 20% a 30%, comparado ao controlador PWM (VOLT TECNOLOGIA, 2022).

2.7 METODOLOGIA DE CÁLCULO DE VIABILIDADE

FINANCEIRA

O estudo de ferramentas e métodos de cálculos financeiros é de grande relevância para este projeto. Os conceitos de economia não ficam atrelados somente à área. Todo e qualquer investimento precisa de uma análise prévia para concluir se o projeto será ou não viável.

Os métodos mais conhecidos para o cálculo de viabilidade de projetos fotovoltaicos, que também são estudados em engenharia econômica, são: o *Payback*

Simple, *Payback* Descontado, a Taxa Interna de Retorno – TIR e o Valor Presente Líquido – VPL.

De acordo com (CAMARGO,1998), o *payback* analisa o tempo que um investimento leva para que o retorno alcance um valor maior que o custo daquele investimento. Apesar de um cálculo simples, o método é considerado um elemento importante para análise financeira inicial.

A desvantagem do método do *payback* simples é que o nem o fluxo depois do período do retorno nem o valor do dinheiro é considerado ao logo do tempo, e por isso é necessário fazer análise do *payback* descontado, devido a sua maior precisão. E para isso, acrescenta-se uma taxa que faz referência às variáveis que não entram na conta do *payback* simples, como a inflação.

Para o cálculo do *payback* descontado, é imprescindível entender um outro método, chamado Valor Presente Líquido. O VPL, segundo (SAMANEZ, 2009), tem como finalidade, baseado no valor presente, o cálculo do impacto de eventos futuros associados a uma alternativa de investimento. Ou seja, o VPL medirá os valores de fluxo de caixa presentes que serão gerados ao longo do tempo do projeto. Neste cálculo utiliza a Taxa Mínima de Atratividade – TMA, que é a taxa referida ao parágrafo anterior. Assim, a expressão para encontrar o VPL é dada por:

$$VPL = -I + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+K)^t} \quad [4]$$

Onde:

I = investimento inicial;

K = custo do capital;

FC = fluxo de caixa no t-ésimo período

n = número de datas descontados os fluxos de caixa

O VPL é considerado economicamente viável se o valor for maior que zero. Diferente do VPL, o método da Taxa Interna de Retorno TIR fornece a taxa de retorno do investimento. Em outras palavras, a TIR é a taxa que anula o VPL, e para confirmar a viabilidade do projeto, $i^* > K$, e a equação que estabelece essa condição, é:

$$VPL = -I + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+i^*)^t} = 0 \quad [5]$$

Para ter um valor de *payback* mais real, será calculado também o *payback* descontado, onde considera incluirá a tarifa de energia elétrica e sua equação é dada por:

$$I = \sum_{t=1}^T \frac{FC_t}{(1+K)^t} \quad [6]$$

Onde:

I = investimento inicial;

K = custo do capital;

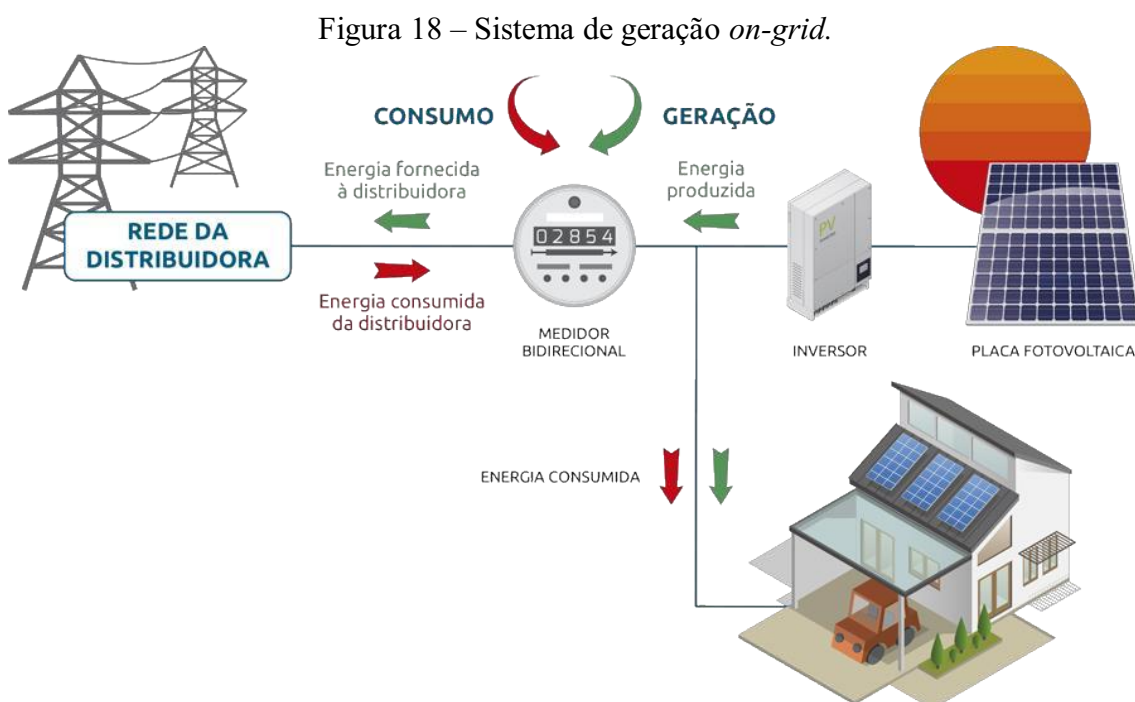
FC = fluxo de caixa no t-ésimo período

T = número de anos para recuperar o investimento, que é o próprio *payback*.

3 METODOLOGIA DE DIMENSIONAMENTO E ORÇAMENTO DO SISTEMA DE GERAÇÃO *ON-GRID*

3.1 DEFINIÇÃO

O sistema de geração *on-grid* é aquele que se encontra diretamente ligado à rede da concessionária de energia. Dado um sistema de geração de energia renovável, a título de exemplo, a geração fotovoltaica, o cliente utiliza a energia que é convertida do seu próprio sistema, podendo enviar o excedente de energia à rede da distribuidora. No período em que a geração não está funcionando, a energia que alimentará o consumidor vem pela mesma rede da distribuidora. Esse sistema é compensatório e o cliente paga ao final a diferença entre energia produzida e consumida, acrescido das taxas de utilização da rede e tributos. Em caso de produção de energia por excesso, fica como crédito na fatura do consumidor. A figura 18 ilustra uma simplificação do processo de funcionamento de sistemas ligados à rede.



Fonte: Inovare Solar, 2021.

Como ressalta a (Empresa de Pesquisa Energética – EPE, 2013), a GD apresenta-se como uma forma possível de opção para a expansão do sistema energético no Brasil, além de apresentar uma característica na eficiência, menor impacto ambiental e vantagens financeiras.

No ano de 2019, a (ANEEL, 2019) anunciou que a fonte mais utilizada em micro e minigeração de distribuída, é a solar fotovoltaica, com 82,6 mil usinas. Isso significa cerca de 870 MW de potência instalada, mostrando que cada vez o interesse por implementar esse tipo fonte de energia aumenta.

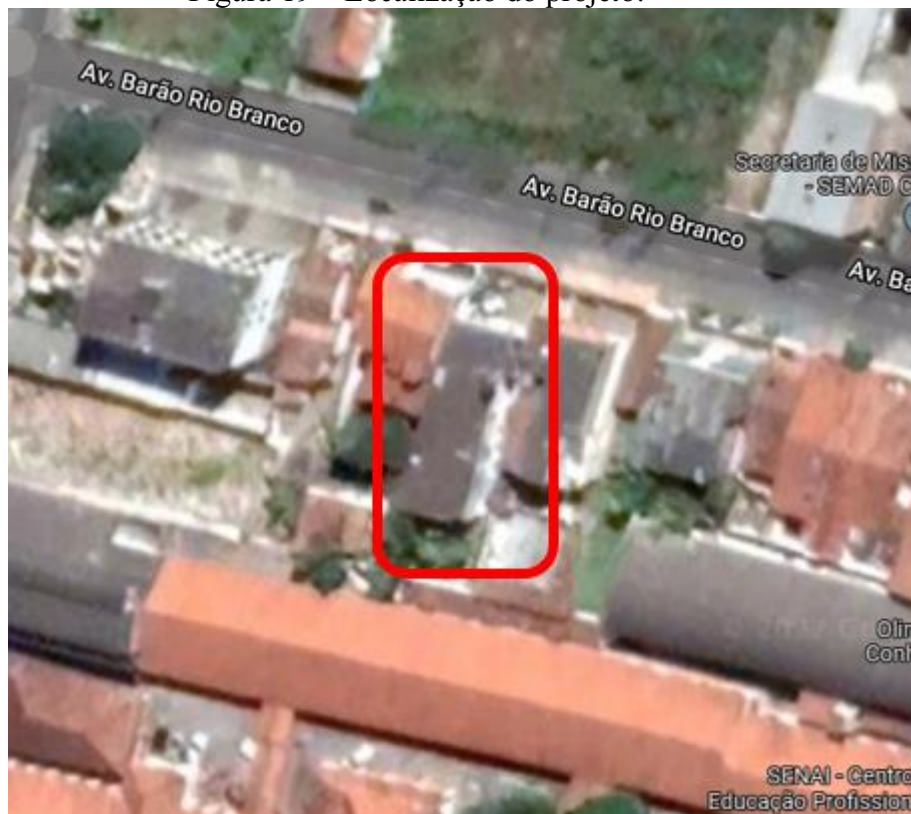
Um kit básico de equipamentos para formar um sistema de geração fotovoltaica *on-grid* em uma residência, contém:

- Painel solar fotovoltaico;
- Inversor;
- Caixa de junção (*stringbox*);
- Cabos;
- Estrutura de suporte.

3.2 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA *ON-GRID* – ESTUDO DE CASO

O consumidor que será estudado neste trabalho é um cliente cativo da concessionária, pertence ao subgrupo B1, ou seja, a classe residencial apresenta ligação do tipo monofásica. Este localiza-se na cidade de Campina Grande, no estado da Paraíba e sua fornecedora de energia é a Energisa Borborema. Percebe-se, por meio da Figura 19, que apresenta bom espaço para disposição de placas solares.

Figura 19 – Localização do projeto.



Fonte: Google Maps, adaptado pela autora.

A metodologia utilizada a partir de então está baseada nas pesquisas bibliográficas de outros trabalhos, como artigos, trabalhos de conclusões de cursos, manuais, como também consultas feitas com engenheiros e técnicos que trabalham na área de energia fotovoltaica.

A partir da análise na literatura sobre os temas geração *on-grid* e *off-grid*, será levantado o consumo para fins de dimensionamento do projeto e escolha dos equipamentos ideais, para então fazer os cálculos financeiros de viabilidade.

A primeira etapa para analisar um projeto fotovoltaico conectado à rede, é saber se a rede de distribuição conectada à residência é monofásica, bifásica ou trifásica. Esse dado é importante pois quando a energia injetada na rede da concessionária é maior que seu consumo, o valor que será pago conta de energia elétrica corresponderá ao custo de disponibilidade, que para este caso, para ligação do tipo monofásica, será o valor equiparado ao consumo de 30 kWh (GÜNTZEL, 2018).

Para cálculo de quantidade de placas fotovoltaicas para a residência, é essencial observar a fatura de energia. Então, a metodologia será baseada na análise do consumo médio, ou seja, da quantidade de energia utilizada, dos últimos 12 meses. Este é o padrão

utilizado nas empresas de instalação de placas solares. Portanto, para este caso, não se faz o levantamento das cargas do consumidor. O valor do consumo do cliente vem discriminado na fatura e pode ser observado na Figura 20, onde mostra que o consumo médio é de 237 kWh.

Figura 20 – Histórico de consumo do cliente.



Fonte: Própria da autora.

O próximo passo é saber as coordenadas geográficas da residência, que por meio do próprio *Google Maps*, encontrou-se que o local do projeto, na cidade de Campina Grande, apresenta as seguintes coordenadas:

- Latitude: 7,21° Sul
- Longitude: 35,89° Oeste

Esses valores são essenciais para o projeto, pois com eles é identificado o nível de irradiação solar que incide no local. Esse dado é fornecido pelo (Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito – CRESESB, 2018). O programa que faz o cálculo da irradiação solar diária mensal é o SunData, e fornece valores de mais de 72.0000 pontos distribuídos pelo território brasileiro. Após colocar os valores das coordenadas geográficas, aparecem várias informações. Escolhe-se então o valor cujas coordenadas mais se aproximam das que foram definidas. O fator escolhido deve ser a maior média anual. Como aborda na Figura 21, esse valor de irradiação média é de 5,41 kWh/m². dia.

Figura 21 – Irradiação média em Campina Grande – PB.

Estação: Campina Grande
 Município: Campina Grande, PB - BRASIL
 Latitude: 7,201° S
 Longitude: 35,949° O
 Distância do ponto de ref. (7,21° S; 35,89° O): 6,6 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		
<input checked="" type="checkbox"/>	Piano Horizontal	0° N	5,85	5,90	5,95	5,35	4,66	4,12	4,24	5,01	5,66	5,97	6,19	5,97	5,40	2,07
<input checked="" type="checkbox"/>	Ângulo igual a latitude	7° N	5,61	5,75	5,95	5,48	4,88	4,36	4,46	5,19	5,71	5,87	5,95	5,68	5,41	1,59
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior média anual	4° N	5,72	5,82	5,96	5,44	4,79	4,26	4,37	5,12	5,70	5,92	6,06	5,81	5,41	1,79
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior mínimo mensal	24° N	4,80	5,17	5,67	5,58	5,21	4,74	4,80	5,38	5,59	5,37	5,14	4,79	5,19	,93

Fonte: CRESESB, 2022.

Outro dado também necessário são os fatores de perda nos sistemas fotovoltaicos, os quais têm uma influência direta no dimensionamento do projeto. Entre eles, pode-se citar:

- Sombreamento: antes de implementação da instalação fotovoltaica, é preciso observar possíveis locais que impede a incidência de luz sobre os módulos.
- Poeira: em locais mais secos ou cidades maiores, com muito tráfego de automóveis, é evidente que há maior incidência de acúmulo de poeira, sujeira e fuligem. Fazer a limpeza dos módulos fotovoltaicos é significativamente relevante para manter a boa eficiência do sistema. De acordo com (ZORILLA-CASANOVA ET AL., 2013), o acúmulo de sujeira pode gerar perdas de até 15% nos locais mais secos. Mas em média, a perda considerada gira em torno de 4%.
- Incompatibilidade elétrica (*mismatch*): esse efeito é causado por fatores diferentes, como sujeira, transporte não ideal dos módulos, mas também pelo arranjo de módulos de diferentes marcas e potências, que faz com que eles não operem na sua máxima potência, além da instalação dos módulos serem feitas com inclinação e orientação diferentes. Esse valor de perdas fator pode variar entre 1% a 5%.
- Temperatura: esse fator pode prejudicar também o rendimento da placa fotovoltaica, principalmente pelo fato de as placas estarão em contato direto com o sol, e faz com que esse tipo de perda ocorra no próprio módulo. O cálculo da perda foi demonstrado no subtópico 2.3.4 deste trabalho. Estes valores podem variar de 7% a 18%.

- Ligação de cabos para corrente contínua: sempre que a energia é deslocada de um ponto a outro, há perdas pelo condutor. Quanto maior a distância entre o sistema fotovoltaico e a *stringbox*, maior será a perda. E esse valor pode ser ponderado entre 1 a 7%.
- Ligação de cabos para corrente alternada: de forma análoga ao raciocínio sobre perdas em corrente contínua, pode-se aplicar às perdas em corrente alternada. Valores entre 1% a 7% são levados em consideração.

Segundo (SOLARIZE, 2019), para fazer o cálculo total das perdas, pode-se utilizar softwares tais como PV*SOL, PVSyst, Solergo, porém não é um cálculo obrigatório e normalmente considera-se uma perda de entre 20% e 25%. Ou seja, a eficiência máxima para o sistema será considerada de 75%. Então, a potência real do sistema será dada por:

$$P_{sist} = \frac{\text{Consumo}_{\text{mensal}}}{\text{Irradiação} * \text{núm. de dias no mês} * \text{eficiência}} = \frac{237 \text{ kWh}}{5,41 * 30 * 0,75}$$

$$P_{sist} = 1,947 \text{ kWp} = 1,95 \text{ kWp} \quad [7]$$

Para chegar ao valor final do número de placas para o projeto, é preciso escolher qual a potência será do módulo fotovoltaico. Baseado nos valores do site da loja Aldo, escolheu-se o painel modelo Tiger Pro 60 HC, da marca JinKO, com potência de 450W. Seu *datasheet* encontra-se no Apêndice A. Portanto, o número de placas será:

$$\text{Número}_{\text{placas}} = \frac{P_{sist}}{P_{\text{mód.fotovoltaico}}} = \frac{1950 \text{ Wp}}{450 \text{ W}} = 4,3 \text{ placas} = 5 \text{ placas} \quad [8]$$

Uma vez dimensionado o número de placas, é preciso saber qual será a escolha do inversor. Como o número escolhido de placas para o projeto foi 5, ressaltando que ficou a critério da aluna escolher esse número para mais, a nova potência total do sistema será:

$$P_{\text{nova do sist}} = P_{\text{mód.fotovoltaico}} * \text{núm}_{\text{placas}} = 450 * 5 = 2,25 \text{ kWp} \quad [9]$$

Para estimar a potência do inversor, é necessário calcular a faixa máxima e mínima que esse inversor pode ter. Usando um critério de que a potência do equipamento seja 20% para mais ou para menos, deve-se respeitar a seguinte faixa de valores:

$$P_{\min \text{ inversor}} = \frac{P_{\text{nova do sist}}}{1,20} = 1,875 \text{ kWp} \quad [10]$$

$$P_{\max \text{ inversor}} = P_{\text{nova do sist}} * 1,20 = 2,70 \text{ kWp} \quad [11]$$

A fim de manter o inversor dentro da faixa calculada, foi eleito para o projeto o inversor de modelo MIC2000TL-X, marca Growatt, cujo *datasheet* encontra-se no Apêndice B. Assim, a potência máxima de pico STC na entrada CA será de 2 kWp.

Vale colocar em destaque que não é aconselhável deixar o inversor trabalhar com a potência acima do nominal. Segundo (PINHO; GALDINO, 2014), é comum calcular o inversor de sistema fotovoltaico conectado à rede com uma potência igual ou menor à potência do sistema dos módulos fotovoltaicos. Com isso, o Fator de Dimensionamento dos Inversores, FDI, cuja a relação é entre a potência em corrente alternada do inversor com a potência de pico da geração do projeto solar, dependerá também de um conjunto de fatores, a citar: temperatura, da tecnologia usada do inversor e da placa solar, da inclinação e orientação do painel fotovoltaico e da radiação. Assim, o FDI do inversor do projeto será:

$$FDI = \frac{P_{\text{nom. inversor c.a.}}}{P_{\text{sist}}} = \frac{2000Wp}{2250Wp} = 0,89 \quad [12]$$

A recomendação dos fabricantes é que o FDI esteja entre 0,75 e 0,85. Apesar do valor do projeto ter sido 0,89, este ainda é válido porque o limite máximo é de 1,05.

Os demais itens do conjunto da instalação fotovoltaica, que são os cabos, *stringbox*, suporte dos módulos, estão discriminadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Levantamento orçamentário dos componentes para o projeto *on-grid*.

Item	Quantidade	Valor unitário (R\$)	Total (R\$)
Placa solar	5	R\$ 1.499,00	R\$ 7.495,00
Inversor	1	R\$ 2.749,00	R\$ 2.749,00
Conector MC4	2	R\$ 14,00	R\$ 28,00
Cabo solar 6mm	30	R\$ 11,70	R\$ 351,00
<i>Stringbox</i>	1	R\$ 650,00	R\$ 650,00
Estrutura metálica	1	R\$ 1.035,00	R\$ 1.035,00
Mão de obra da instalação	1	R\$ 500,00	R\$ 500,00
Total do investimento			R\$ 12.808,00

Fonte: Própria da autora.

3.3 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA E FINANCEIRA

Como mostrado na Tabela 2, o valor considerado no investimento foi de R\$12.808,00. O cálculo da viabilidade do projeto será associado à geração dos módulos fotovoltaicos. Assim, considerando um consumo médio anual de 2844 kWh e uma tarifa de energia elétrica ao preço de R\$0,73584 (com tributos), será acrescido um valor de 10% em cima da tarifa de energia a cada ano. Esse valor foi escolhido a maior, mas com base no valor do último Reajuste Tarifário Anual (RTA) da Energisa Borborema (ANEEL, 2022), que foi 9,39% para consumidores residenciais B1. Ressalta-se que o valor da fatura anual de energia, em média, sem levar em consideração o acréscimo da bandeira tarifária e taxa de iluminação pública está exemplificado na Tabela 3.

Tabela 3 – Análise do valor que seria pago à distribuidora sem a implantação da geração fotovoltaica *on-grid*.

Ano	Consumo (kWh) mensal	Tarifa (R\$)	Fatura anual sem energia solar (R\$)
0	237	R\$ 0,73584	R\$ 2.092,73
1	237	R\$ 0,80942	R\$ 2.302,00
2	237	R\$ 0,89037	R\$ 2.532,20
3	237	R\$ 0,97940	R\$ 2.785,42
4	237	R\$ 1,07734	R\$ 3.063,96
5	237	R\$ 1,18508	R\$ 3.370,36
6	237	R\$ 1,30359	R\$ 3.707,40
7	237	R\$ 1,43394	R\$ 4.078,14
8	237	R\$ 1,57734	R\$ 4.485,95
9	237	R\$ 1,73507	R\$ 4.934,55
10	237	R\$ 1,90858	R\$ 5.428,00
11	237	R\$ 2,09944	R\$ 5.970,80
12	237	R\$ 2,30938	R\$ 6.567,88
13	237	R\$ 2,54032	R\$ 7.224,67
14	237	R\$ 2,79435	R\$ 7.947,13
15	237	R\$ 3,07379	R\$ 8.741,85
16	237	R\$ 3,38116	R\$ 9.616,03
17	237	R\$ 3,71928	R\$ 10.577,64
18	237	R\$ 4,09121	R\$ 11.635,40
19	237	R\$ 4,50033	R\$ 12.798,94
20	237	R\$ 4,95036	R\$ 14.078,83
21	237	R\$ 5,44540	R\$ 15.486,72
22	237	R\$ 5,98994	R\$ 17.035,39
23	237	R\$ 6,58893	R\$ 18.738,93

24	237	R\$ 7,24783	R\$ 20.612,82
25	237	R\$ 7,97261	R\$ 22.674,10

Fonte: Própria da autora.

A Tabela 4 mostra a geração do sistema fotovoltaico ao longo de 25 anos, considerando também uma queda anual na eficiência das placas de 0,7% (ELYSIA, 2017) e uma tarifa de energia análoga ao parágrafo anterior. Assim, encontra-se o valor anual arrecadado pela implementação do projeto.

Tabela 4 – Análise do valor ganho com a geração da instalação fotovoltaica *on-grid*.

Ano	Tarifa (R\$)	Geração (kWh)	Valor da Geração (R\$)
0	R\$ 0,73584	3332,22	R\$ 2.451,98
1	R\$ 0,80942	3308,90	R\$ 2.678,30
2	R\$ 0,89037	3285,73	R\$ 2.925,51
3	R\$ 0,97940	3262,73	R\$ 3.195,53
4	R\$ 1,07734	3239,89	R\$ 3.490,48
5	R\$ 1,18508	3217,22	R\$ 3.812,65
6	R\$ 1,30359	3194,69	R\$ 4.164,56
7	R\$ 1,43394	3172,33	R\$ 4.548,95
8	R\$ 1,57734	3150,13	R\$ 4.968,81
9	R\$ 1,73507	3128,07	R\$ 5.427,44
10	R\$ 1,90858	3106,18	R\$ 5.928,39
11	R\$ 2,09944	3084,44	R\$ 6.475,58
12	R\$ 2,30938	3062,84	R\$ 7.073,27
13	R\$ 2,54032	3041,40	R\$ 7.726,14
14	R\$ 2,79435	3020,11	R\$ 8.439,26
15	R\$ 3,07379	2998,97	R\$ 9.218,20
16	R\$ 3,38116	2977,98	R\$ 10.069,04
17	R\$ 3,71928	2957,13	R\$ 10.998,42
18	R\$ 4,09121	2936,43	R\$ 12.013,57
19	R\$ 4,50033	2915,88	R\$ 13.122,42
20	R\$ 4,95036	2895,47	R\$ 14.333,62
21	R\$ 5,44540	2875,20	R\$ 15.656,62
22	R\$ 5,98994	2855,07	R\$ 17.101,72
23	R\$ 6,58893	2835,09	R\$ 18.680,21
24	R\$ 7,24783	2815,24	R\$ 20.404,39
25	R\$ 7,97261	2795,54	R\$ 22.287,72

Fonte: Própria da autora.

Para o cálculo do *payback*, é necessário analisar que o fluxo de caixa inicial do projeto será o orçamento do sistema fotovoltaico, no valor de R\$ -12.808,00 somado ao valor do ganho gerado pela energia fotovoltaica no ano zero, que foi de R\$ 2.451,98. Os demais fluxos de caixas serão calculados com o valor de fluxo de caixa anterior somado ao ganho fotovoltaico do ano referente, como mostra na Tabela 5. No 15º, foi descontado o valor do inversor no fluxo de caixa, pois o tempo de vida útil do inversor pode chegar a 15 anos. Analisando a mesma tabela, percebe-se que no 4º ano o fluxo de caixa é positivo.

Tabela 5 – Análise do fluxo de caixa anual com a implementação da instalação fotovoltaica *on-grid*.

Ano	Fluxo de Caixa (R\$)
0	-R\$ 10.356,02
1	-R\$ 7.677,72
2	-R\$ 4.752,21
3	-R\$ 1.556,68
4	R\$ 1.933,80
5	R\$ 5.746,45
6	R\$ 9.911,01
7	R\$ 14.459,95
8	R\$ 19.428,77
9	R\$ 24.856,21
10	R\$ 30.784,59
11	R\$ 37.260,17
12	R\$ 44.333,45
13	R\$ 52.059,58
14	R\$ 60.498,84
15	R\$ 66.967,05
16	R\$ 77.036,09
17	R\$ 88.034,51
18	R\$ 100.048,08
19	R\$ 113.170,50
20	R\$ 127.504,13
21	R\$ 143.160,74
22	R\$ 160.262,46
23	R\$ 178.942,68
24	R\$ 199.347,07
25	R\$ 221.634,79

Fonte: Própria da autora.

Para apuração do VPL, utilizou-se uma ferramenta do Excel e o resultado foi de um VPL de R\$ 159.474,77. A Taxa Mínima de Atratividade foi de 12%, um valor escolhido acima da taxa Selic, pois o cliente deseja um retorno maior do que essa taxa para tornar o investimento desejável. Já Taxa Interna de Retorno resultou em 35%.

Como o VPL resultou em um valor maior que zero, considera-se o empreendimento viável. Essa viabilidade é reafirmada ao analisar o valor da TIR, que foi acima da TMA.

4 METODOLOGIA DE DIMENSIONAMENTO E ORÇAMENTO DO SISTEMA DE GERAÇÃO *OFF-GRID*

4.1 DEFINIÇÃO DE SISTEMA DE GERAÇÃO *OFF-GRID*

O sistema de geração *off-grid* é aquele que não apresenta conexão com a rede da distribuidora de energia, ou seja, é um sistema isolado. Em alguns locais onde o sistema da concessionária não consegue chegar, é dever dela fornecer uma instalação nas quais se enquadram como modelos de Microssistema Isolado de Geração e Distribuição de Energia Elétrica (MIGDI) e Sistema Individual de Geração de Energia Elétrica com Fonte Intermitente (SIGFI).

O MIGDI está relacionado ao sistema de geração e de distribuição de energia de forma isolada, onde a potência total instalada da geração é de até 100 kW, enquanto o SIGFI envolve os sistemas de geração voltados ao atendimento de uma única UC, por meio de geração de energia intermitente. E com base na REN ANEEL nº 1000/2021, que revoga a REN nº 493/2012, é que serão definidas as metodologias e suas condições gerais de fornecimento para essas duas condições de geração isolada. De acordo com tal resolução normativa, a distribuidora faz a análise técnica para esse tipo de atendimento em situações onde as unidades consumidoras localizam-se em regiões remotas, que apresentam considerável dispersão de consumidores e não apresentam economia de escala ou também em locais que apresentam restrições ambientais e técnicas que impeçam a instalação da rede convencional. Vale destacar que esta implementação tem como

objetivo disponibilizar minimamente potência para alimentar uma UC de forma básica, como iluminação, refrigeração e comunicação. O critério de disponibilização encontra-se na Figura 22.

Figura 22 – Critério de disponibilidade de energia para sistemas MIGDI/SIGFI.

Disponibilidade mensal garantida (kWh/ mês /UC)	Consumo de referência (Wh/dia/UC)	Potência mínima (W/UC)
45	1.500	700
60	2.000	1.000
80	2.650	1.250
120	4.000	1.500
180	6.000	1.800

Fonte: ANEEL, 2022.

Para aumentar a independência do consumidor da concessionária de distribuição de energia, a implementação de sistemas *off-grid* é uma opção também interessante. Ficar sem energia elétrica, mesmo que por poucas horas, pode levar a prejuízos incalculáveis, principalmente pelo fato de sermos dependentes de tecnologia.

Basicamente, um sistema *off-grid*, que é desconectado da rede, apresenta uma característica na qual a geração de energia é destinada à alimentação dos dispositivos e o excedente de energia serve para carregar as baterias, no momento onde o sistema fotovoltaico não pode fornecer a energia em tempo real, a bateria fará esse papel. Em adição, o sistema *off-grid* pode ser ilustrado na Figura 23, e é composto por: painéis fotovoltaicos, controlador de carga/descarga das baterias, inversor autônomo para cargas de corrente contínua e banco de baterias.

Figura 23 – Esquema de um sistema de geração de energia elétrica *off-grid*.

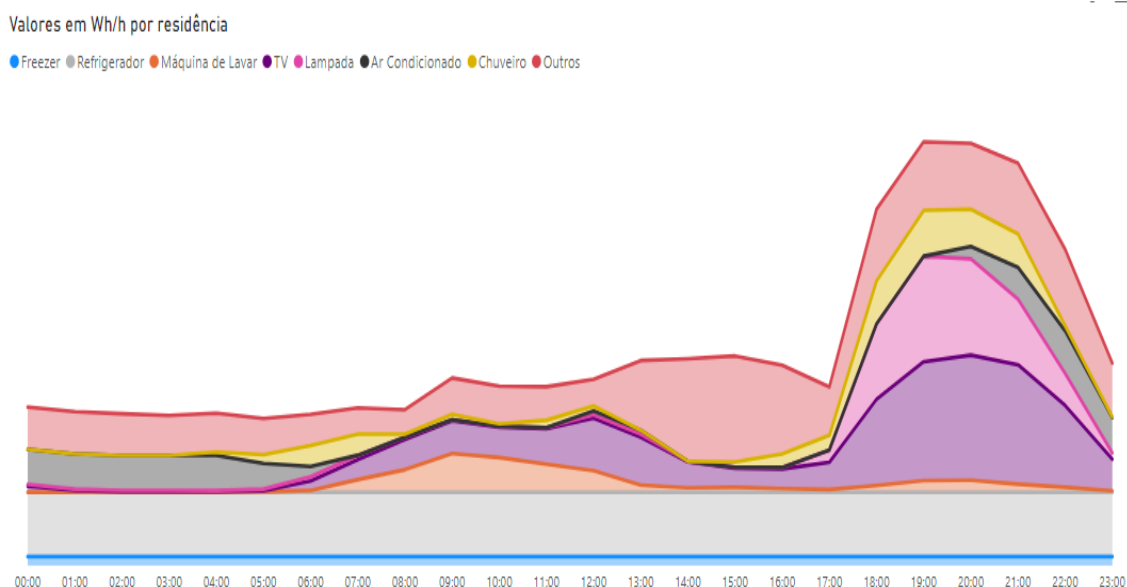


Fonte: NeoSolar, 2022.

4.2 DIMENSIONAMENTO DO PROJETO OFF-GRID

O cliente do projeto fotovoltaico *off-grid* será o mesmo do projeto fotovoltaico *on-grid*. Para estipular quantidade de placas fotovoltaicas, também é necessária a análise do consumo diário de energia. A (ELETROBRAS, 2019) em parceria com o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica - PROCEL, fez um estudo de característica do consumo de energia elétrica em todo o Brasil, chamado Pesquisa de Posse e Hábitos de Uso de Equipamentos Elétricos na Classe Residencial. Na Figura 24 mostra a curva do consumo médio dos aparelhos mais utilizados nas residências no estado da Paraíba ao longo do dia.

Figura 24 – Curva do consumo médio dos aparelhos mais utilizados nas residências do estado da Paraíba.



Fonte: Eletrobras, 2019.

Mas, para este caso, foi feita a seguinte análise de perfil de consumo diário:

- Lâmpadas LED 12W: durante o dia utiliza-se a luz natural. São 5 lâmpadas ligadas simultaneamente das 16h às 23h, totalizando 7 horas de consumo;
- Geladeira 250W: apesar da geladeira passar 24 horas ligada, ela não trabalha todo o tempo com o compressor ligado, e sim cerca de um terço desse período. Assim, foi considerado 8 horas de utilização.
- Carregador de celular 36W: considera-se uma utilização de 3 horas diárias, em diferentes horários: das 7h às 8h, das 12h às 13h e das 19h às 20h.

- Chuveiro elétrico 5500W: levou-se em consideração um tempo de 18 minutos diários. Onde comumente utiliza-se às 6h e às 22h.
- Notebook 65W: este equipamento fica ligado durante 7 horas por dia na tomada, das 12h às 19h.
- Secador de cabelo 1000W: o tempo estimado para utilização foi de 9 minutos, geralmente no horário das 22h após o banho.
- Liquidificador 200W: geralmente utiliza-se duas vezes ao dia, entre 4 e 5 minutos, dividido entre o horário das 8h e das 20h.
- Televisão 90W: é utilizada durante 2 hora por dia, das 12h às 13h e das 17h às 18h.
- Máquina de lavar roupa 1000W: para esta análise foi considerado um tempo de utilização de 1 hora e 30 minutos, das 14h às 15:30h.
- Roteador de internet 15W: para os dias de hoje é imprescindível este eletrônico, por isso fica ligado durante 24 horas diária.
- Ventilador: por ser um lugar quente, o equipamento fica ligado durante 6 horas, no período das 23h até 5h.

Ora definidos os equipamentos, suas potências, tempo de utilização diária e horários, parte-se para o cálculo do consumo total diário. O consumo total está na Tabela 6.

Tabela 6 – Levantamento de cargas e consumo para o projeto *off-grid*.

Equipamento	Quantidade	Potência (W)	Utilização horas/dia	Consumo corrigido Wh/dia
Geladeira	1	250	8	2000,00
Carregador de celular	2	36	3	216,00
Lâmpada	4	12	7	336,00
Ventilador	1	126	6	756
Chuveiro	1	5500	0,3	1650,00
Notebook	1	65	7	455,00
Secador de Cabelo	1	1000	0,15	150,00
Liquidificador	1	200	0,08	16,00
Televisão	1	90	2	180,00
Máquina de lavar roupa	1	1000	1,5	1500,00
Roteador de internet	1	15	24	360,00
Energia consumida diariamente (W/h)				7619,00

Fonte: Própria da autora.

Segundo (Energy Solver, 2022), a autonomia do sistema vai de acordo com o número de baterias utilizadas para o projeto e normalmente o sistema de baterias é mensurado de forma a fornecer energia para pelo menos 24 horas, porém fica a critério do projetista escolher o tempo de autonomia do projeto. Portanto, a energia consumida E_c durante no intervalo de autonomia de 1 dia, será:

$$E_c = ECD * \text{dias de autonomia} = 7,7 * 1 = 7,7 \text{ kW.h} \quad [13]$$

O dimensionamento do inversor é calculado por meio da soma das potências das cargas. Analisando a Tabela 6, poderíamos considerar que a potência total das cargas seria de 8294 W. Porém, os refrigeradores ao serem ligados apresentam uma potência de pico de até dez vezes maior que sua potência nominal, no momento da partida. Portanto, considera-se que a potência total será de 10544 W. Isto é, deve-se adquirir quatro inversores de 3000 W, com tensão de entrada de 48 Vcc e tensão de saída de 220 Vca, e o escolhido foi o inversor *off-grid* Jay Energy 3000W, cujo datasheet encontra-se no Apêndice C.

Para descobrir a quantidade de baterias, definiu-se que a tensão do banco será de 48 V, pois a potência do projeto é considerada alta para e para manter a eficiência convém reduzir o valor de corrente (AL SOLAR, 2020). Para saber o número de baterias que devem ser ligadas em série N_s , tem-se que o número de *strings* de baterias é de 4, conforme abaixo:

$$N_s = \frac{V_{\text{Sistema}}}{V_{\text{Bateria}}} = \frac{48 \text{ V}}{12 \text{ V}} = 4 \quad [14]$$

A capacidade do banco de baterias C_B para suprir as cargas é dada por:

$$C_B = \frac{E_c}{V_{\text{Sistema}}} = \frac{7,7 \text{ kW.h}}{48 \text{ V}} = 160,42 \text{ A.h} \quad [15]$$

Além disso, o fator de descarga, ou também chamado de profundidade de descarga P_d da bateria é considerado também para o cálculo da quantidade de baterias no projeto. Para manter a vida útil da bateria, escolhe-se a profundidade de descarga de 20%, chegando ao valor que o banco precisa armazenar:

$$C_{\text{geração do banco}} = \frac{C_B}{P_d} = \frac{160,42 \text{ A.h}}{0,2} = 802,08 \text{ A.h} \quad [16]$$

Consequente, sabendo que a bateria escolhida para o projeto é o modelo DF4100, da marca *Freedom*, de 240 A.h, cuja especificação técnica encontra-se no Apêndice D. Assim, número de *strings* de baterias que deverão ser ligadas em paralelo é de 5, como prova o cálculo abaixo:

$$N_P = \frac{C_{\text{geração do banco}}}{C_{\text{Bateria}}} = \frac{802,08 \text{ A.h}}{240 \text{ A.h}} = 3,34 = 3 \quad [17]$$

Ao todo serão utilizadas 12 baterias de 240 A.h cada.

Agora, para encontrar a quantidade de painéis adequados para o projeto, escolheu-se o modelo RS6E-155M, da marca Resun, de 155W, cujos dados do painel encontram-se no Apêndice E. Portanto, dois módulos fotovoltaicos deverão ser ligados em série, cujo cálculo M_s é feito da seguinte forma:

$$M_s = \frac{V_{\text{sistema}}}{V_{\text{nom do módulo}}} = \frac{48 \text{ V}}{12 \text{ V}} = 4 \quad [18]$$

Para identificar o número de módulos ligados em paralelo, requer levantar a capacidade de corrente M_s de cada *string*. Portanto:

$$C_M = \frac{ECD}{V_{\text{sistema}}} = \frac{7700 \text{ Wh}}{48 \text{ V}} = 160,42 \text{ Ah} \quad [19]$$

Um dado importante para o dimensionamento do número de placas fotovoltaicas, é o valor do índice de irradiância. A ideia é análoga ao projeto solar *on-grid*, porém o índice de irradiância utilizado será diferente, como mostra na Figura 24, o escolhido será o valor de maior mínimo mensal, para o pior caso.

Figura 25 – Irradiância para o cálculo do projeto solar *off-grid*.

Estação: Campina Grande
Município: Campina Grande, PB - BRASIL
Latitude: 7,201° S
Longitude: 35,949° O
Distância do ponto de ref. (7,21° S; 35,89° O): 5,6 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		
<input checked="" type="checkbox"/>	Piano Horizontal	0° N	5,85	5,90	5,95	5,35	4,66	4,12	4,24	5,01	5,66	5,97	6,19	5,97	5,40	2,07
<input checked="" type="checkbox"/>	Ângulo igual a latitude	7° N	5,61	5,75	5,95	5,49	4,88	4,36	4,46	5,19	5,71	5,87	5,95	5,68	5,41	1,59
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior média anual	4° N	5,72	5,82	5,96	5,44	4,79	4,26	4,37	5,12	5,70	5,92	6,06	5,81	5,41	1,79
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior mínimo mensal	24° N	4,80	5,17	5,67	5,58	5,21	4,74	4,80	5,38	5,59	5,37	5,14	4,79	5,19	,93

Fonte: Cresesb, 2022.

O valor da corrente em máxima potência do módulo (I_{mp}) fotovoltaico, de 5,75 A para condições de STC e cuja irradiância, num período de uma hora, é de 1000 W/m^2 resultará na corrente de cada painel, num período de uma hora, como mostra a seguir:

$$I_{\text{painel}} = \frac{\text{Irradiação diária} \times I_{mp}}{I_{STC}} = \frac{4,74 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \times 5,75 \text{ A.h}}{1000 \text{ Wh/m}^2} = 27,25 \text{ Ah} \quad [20]$$

Por fim, o número de *strings* de módulos em paralelo, temos que considerar o fator de correção de perdas de 15% por temperatura, direção dos painéis. O resultado total de módulos é de 28 painéis.

$$C_{\text{real do painel}} = I_{\text{painel}} \cdot f_{\text{perdas}} = 27,25 \text{ Ah} \times 0,85 = 23,17 \text{ Ah} \quad [21]$$

$$M_p = \frac{C_M}{C_{\text{real do painel}}} = \frac{160,42 \text{ Ah}}{23,17 \text{ Ah}} = 6,92 = 7 \text{ strings} \quad [22]$$

A corrente do controlador de carga é dimensionada com base em valores de corrente de curto-circuito do módulo fotovoltaico, um fator de segurança para que não haja danos do equipamento e o número de *strings* em paralelo. Desta maneira, tem-se que:

$$I_{\text{controlador}} = M_p \times I_{sc} \times f_{\text{segurança}} = 7 \times 8,82 \times 1,25 = 77,18 \text{ A} \quad [23]$$

O controlador de carga escolhido foi o MPPT 40 A, da Epever Tracer, modelo 4415AN, cujas especificações técnicas encontram-se no Apêndice F. Totalizando 2 controladores para o projeto. A energia média anual gerada pelo projeto *off-grid* é dada pela relação entre o consumo anual e as eficiências do inversor e das baterias (PINHO; GALDINO, 2014). Assim:

$$G_{\text{média anual}} = \frac{C_{\text{média anual}}}{\eta_{\text{inversor}} \cdot \eta_{\text{bateria}}} = \frac{2810,50 \text{ kWh}}{0,90 \cdot 0,98} = 3186,50 \text{ kWh} \quad [24]$$

O valor total do investimento consta na Tabela 7, totalizando um valor de R\$ 44.787,20. O valor da geração ao longo de 25 anos será dado com base no mesmo preço da tarifa que no projeto *on-grid*. Considerou-se também uma queda anual na eficiência das placas de 0,7% (ELYSIA, 2017), conseqüentemente o valor da geração ao longo dos anos também diminuirá. Portanto, o valor arrecadado anualmente com a geração encontra-se na Tabela 8.

Tabela 7 – Valor do investimento do sistema *off-grid*.

Item	Quantidade	Valor unitário (R\$)	Total (R\$)
Bateria Estacionária 240 Ah	12	R\$ 1.385,00	R\$ 16.620,00
Placa Fotovoltaica 155W	28	R\$ 409,00	R\$ 11.452,00
Inversor 3kW	4	R\$ 1.907,35	R\$ 7.629,40
Cabo solar 6mm	60	R\$ 11,70	R\$ 702,00
Controlador de Carga 60A	2	R\$ 1.199,90	R\$ 2.399,80
Stringbox	4	R\$ 650,00	R\$ 2.600,00
Estrutura metálica	3	R\$ 628,00	R\$ 1.884,00
Mão de obra da instalação	1	R\$ 1.500,00	R\$ 1.500,00
Total do investimento	R\$ 44.787,20		

Fonte: Própria da autora.

Tabela 8 – Levantamento do consumo, geração e valor da geração com a implementação do sistema *off-grid*.

Ano	Tarifa (R\$)	Geração (kWh)	Valor da Geração (R\$)
0	R\$ 0,73584	3186,50	R\$ 2.344,75
1	R\$ 0,80942	3164,19	R\$ 2.561,17
2	R\$ 0,89037	3142,05	R\$ 2.797,57
3	R\$ 0,97940	3120,05	R\$ 3.055,79
4	R\$ 1,07734	3098,21	R\$ 3.337,84
5	R\$ 1,18508	3076,52	R\$ 3.645,92
6	R\$ 1,30359	3054,99	R\$ 3.982,44
7	R\$ 1,43394	3033,60	R\$ 4.350,02
8	R\$ 1,57734	3012,37	R\$ 4.751,52
9	R\$ 1,73507	2991,28	R\$ 5.190,09
10	R\$ 1,90858	2970,34	R\$ 5.669,13
11	R\$ 2,09944	2949,55	R\$ 6.192,39
12	R\$ 2,30938	2928,90	R\$ 6.763,95
13	R\$ 2,54032	2908,40	R\$ 7.388,26
14	R\$ 2,79435	2888,04	R\$ 8.070,20
15	R\$ 3,07379	2867,83	R\$ 8.815,08
16	R\$ 3,38116	2847,75	R\$ 9.628,71
17	R\$ 3,71928	2827,82	R\$ 10.517,44
18	R\$ 4,09121	2808,02	R\$ 11.488,20

19	R\$ 4,50033	2788,37	R\$ 12.548,56
20	R\$ 4,95036	2768,85	R\$ 13.706,80
21	R\$ 5,44540	2749,46	R\$ 14.971,93
22	R\$ 5,98994	2730,22	R\$ 16.353,84
23	R\$ 6,58893	2711,11	R\$ 17.863,30
24	R\$ 7,24783	2692,13	R\$ 19.512,09
25	R\$ 7,97261	2673,28	R\$ 21.313,05

Fonte: Própria da autora.

Para o cálculo do fluxo de caixa ao longo do tempo, considerou-se uma TMA de 12% a.a., incluindo também os gastos com troca de baterias a cada 4 anos (BATERIAS AUTOMOTIVAS QUEIROZ, 2022) e troca de inversores a cada 15 anos (SOLARVOLT, 2015), como mostra na Tabela 9. O resultado foi um VPL negativo de R\$ 18.513,99, o que já mostra ser um investimento inviável, e por isso não é lógico calcular a TIR.

Tabela 9 – Fluxo de caixa ao longo do tempo para a implementação do sistema *off-grid*.

Ano	Fluxo de Caixa (R\$)
0	-R\$ 42.442,45
1	-R\$ 39.881,27
2	-R\$ 37.083,70
3	-R\$ 34.027,91
4	-R\$ 47.310,08
5	-R\$ 43.664,16
6	-R\$ 39.681,72
7	-R\$ 35.331,70
8	-R\$ 47.200,18
9	-R\$ 42.010,09
10	-R\$ 36.340,96
11	-R\$ 30.148,57
12	-R\$ 40.004,61
13	-R\$ 32.616,35
14	-R\$ 24.546,15
15	-R\$ 23.361,07
16	-R\$ 30.352,35
17	-R\$ 19.834,91
18	-R\$ 8.346,71
19	R\$ 4.201,86
20	R\$ 1.288,66
21	R\$ 16.260,59

22	R\$ 32.614,43
23	R\$ 50.477,74
24	R\$ 53.369,83
25	R\$ 74.682,88

Fonte: Própria da autora.

Seguindo a mesma metodologia de cálculo deste projeto, ao considerar uma autonomia de 2 dias, o valor do investimento chega a dobrar devido ao aumento de quantidade de baterias e placas fotovoltaicas, o que deixa o projeto ainda mais inviável, como comprova a Tabela 10.

Tabela 10 – Orçamento *off-grid* considerando para autonomia de sistema de 2 dias.

Item	Quantidade	Valor unitário (R\$)	Total (R\$)
Bateria Estacionária 240 Ah	28	R\$ 1.385,00	R\$ 38.780,00
Placa Fotovoltaica 155W	56	R\$ 409,00	R\$ 22.904,00
Inversor 3kW	4	R\$ 1.907,35	R\$ 7.629,40
Cabo solar 6mm	180	R\$ 11,70	R\$ 2.106,00
Controlador de Carga 60A	3	R\$ 2.579,00	R\$ 7.737,00
<i>Stringbox</i>	4	R\$ 650,00	R\$ 2.600,00
Estrutura metálica	14	R\$ 523,00	R\$ 7.322,00
Mão de obra da instalação	1	R\$ 2.500,00	R\$ 2.500,00
Total do investimento		R\$ 91.578,40	

Fonte: Própria da autora.

5 COMPARAÇÃO ENTRE OS DOIS PROJETOS

Com o estudo de viabilidades técnicas foi possível fazer o levantamento do plano de investimento de cada projeto a fim de demonstrar a viabilidade ou inviabilidade financeira dos projetos estabelecidos neste trabalho.

Apesar dos projetos serem distintos, o objetivo era convergente ao fornecimento de energia elétrica ao cliente. O sistema *off-grid* é semelhante ao *on-grid*, porém acrescido de um banco de baterias. No dimensionamento, percebe-se que sistema de geração *on-grid* é mais viável, pois não apresentar custo com banco de baterias, além de haver incentivo maior no mercado para financiamento e implementação, comprovou-se ser

viável e interessante, com custo total no valor de R\$ 12.808,00, VPL de R\$ 159.474,77 e TIR de 35%.

Em contrapartida, o sistema *off-grid* mostrou ser inviável, com um custo de R\$ 44.787,20, VPL negativo de R\$ 18.513,99, não apresentando TIR. Este sistema não é tão comum quanto o sistema *on-grid*, e o preço do banco de baterias é o que mais pesa no orçamento. Um outro ponto não vantajoso em quesito baterias, é que todo o banco tem que ser trocado a cada 4 anos.

Como solução para minimizar os custos do projeto *off-grid*, pode-se considerar a implantação de um sistema fotovoltaico híbrido, que consiste na união dos sistemas *on-grid* e *off-grid* (FOCUS ENERGIA, 2021), onde a primeira opção de fornecimento de energia ao consumidor será a *on-grid* fotovoltaica. Quando o sistema fotovoltaico, naquele monto, não atender sua demanda, é acionado o sistema *off-grid* e em último caso, utiliza-se o sistema da concessionária de energia. O excedente de energia gerada do sistema *on-grid* será armazenada no banco de baterias, e com isso proporciona uma maior independência energética ao consumidor. Para este caso, é necessário utilizar um inversor híbrido.

Uma outra opção para que o projeto *off-grid* possa tornar-se viável é comprar um kit de geração fotovoltaica *off-grid*, como mostra na Figura 26, para alimentar uma carga específica, por exemplo, um fogão de indução de 7500W.

Figura 26 – Kit de geração fotovoltaica *off-grid*.



Kit Energia Solar Off Grid c/ Bateria 310Wp - até 977Wh/dia
Cód: 10001790 [Informações sobre o produto](#)

Seja o primeiro a avaliar este produto ♥ ≡ Comparar

R\$3.458,05
R\$2.767,50
R\$ 2.490,75 no PIX (10% de desconto)
R\$ 2.573,78 à vista no boleto (7% de desconto)
R\$ 2.629,13 à vista no cartão (5% de desconto)
10x R\$ 276,75 sem juros
Parcelado em até 12x [ver parcelas](#)

Quantidade: 1 🛒 COMPRAR

Envio Imediato

Calcular o frete e o prazo de entrega:
CEP CALCULAR

Fonte: NeoSolar, 2022.

Assim, fazendo comparação entre o custo anual do consumo de gás de cozinha e o consumo anual de um fogão elétrico por indução, que consome em média 925 Wh/dia, se considerar um uso de 3 horas diárias, fica próximo do valor da geração que o kit fotovoltaico promete fornecer, que é até 977 Wh/dia.

A Tabela 11 esclarece a diferença de custos entre as duas situações relatadas anteriormente, frisando uma tarifa de energia elétrica inicial de R\$ 0,73584 (com tributos), acrescido um valor de 10% em cima da tarifa de energia a cada ano. Já o preço do botijão de gás considerado inicialmente, foi de R\$ 120,00, que é o preço atual médio no estado da Paraíba, com aumento anual de 20%.

Tabela 11 – Comparação dos valores de consumo de energia elétrica anual e consumo anual de gás de cozinha.

Ano	Consumo Anual Fogão de Indução (kWh)	Valor que seria pago à concessionária pelo consumo(R\$)	Preço do gás de cozinha (R\$)	Custo anual com gás de cozinha (R\$)
0	333,00	R\$ 245,03	R\$ 120,00	R\$ 960,00
1	333,00	R\$ 269,54	R\$ 144,00	R\$ 1.152,00
2	333,00	R\$ 296,49	R\$ 172,80	R\$ 1.382,40
3	333,00	R\$ 326,14	R\$ 207,36	R\$ 1.658,88
4	333,00	R\$ 358,76	R\$ 248,83	R\$ 1.990,66
5	333,00	R\$ 394,63	R\$ 298,60	R\$ 2.388,79
6	333,00	R\$ 434,09	R\$ 358,32	R\$ 2.866,54
7	333,00	R\$ 477,50	R\$ 429,98	R\$ 3.439,85
8	333,00	R\$ 525,25	R\$ 515,98	R\$ 4.127,82
9	333,00	R\$ 577,78	R\$ 619,17	R\$ 4.953,39
10	333,00	R\$ 635,56	R\$ 743,01	R\$ 5.944,07
11	333,00	R\$ 699,11	R\$ 891,61	R\$ 7.132,88
12	333,00	R\$ 769,02	R\$ 1.069,93	R\$ 8.559,46
13	333,00	R\$ 845,93	R\$ 1.283,92	R\$ 10.271,35
14	333,00	R\$ 930,52	R\$ 1.540,70	R\$ 12.325,62
15	333,00	R\$ 1.023,57	R\$ 1.848,84	R\$ 14.790,74
16	333,00	R\$ 1.125,93	R\$ 2.218,61	R\$ 17.748,89
17	333,00	R\$ 1.238,52	R\$ 2.662,33	R\$ 21.298,67
18	333,00	R\$ 1.362,37	R\$ 3.194,80	R\$ 25.558,40
19	333,00	R\$ 1.498,61	R\$ 3.833,76	R\$ 30.670,08
20	333,00	R\$ 1.648,47	R\$ 4.600,51	R\$ 36.804,10
21	333,00	R\$ 1.813,32	R\$ 5.520,61	R\$ 44.164,92
22	333,00	R\$ 1.994,65	R\$ 6.624,74	R\$ 52.997,90
23	333,00	R\$ 2.194,11	R\$ 7.949,68	R\$ 63.597,48
24	333,00	R\$ 2.413,53	R\$ 9.539,62	R\$ 76.316,97
25	333,00	R\$ 2.654,88	R\$ 11.447,55	R\$ 91.580,37

Fonte: Própria da autora.


Percebe-se que o custo de utilização de gás de cozinha é mais oneroso comparado ao valor da fatura de energia. Neste caso, uma sugestão seria implementar o sistema *off-grid* para alimentar exclusivamente o fogão de indução.

Uma segunda opção de implementação de sistemas isolados é substituir o chuveiro elétrico, que consome cerca de 1650 Wh/dia por um aquecedor solar, como mostra a Figura 27.

Figura 27 – Aquecedor solar para substituição do chuveiro elétrico tradicional.

Aquecedor Solar Eco Coletor Solar 1.6m² 200 Litros Solarmax

(Cód.: MKP000542000001)



Me
lhor
negócio
do Brasil

-18%

Vendido e entregue por Hidraushop

De R\$ 2.795,00 por

R\$ 2.291,90 à vista

18% de desconto à vista

Ou R\$ 2.795,00

Em até 12x de R\$ 232,92 sem juros

[Ver condições de pagamento](#)

Fonte: WebContinental, 2022.

Outra opção relevante de sistema fotovoltaico *off-grid*, é investir em *kit* de geração fotovoltaico para alimentar o sistema de iluminação, que para o cliente deste trabalho, consome em média 336 kWh/dia. Na Figura 28 apresenta uma sugestão para este caso.

Figura 28 – Kit de energia solar *off-grid* para alimentar um sistema de iluminação.

Página inicial / Kit Energia Solar / Kit Energia Solar Off Grid /

Galeria



KIT ENERGIA SOLAR OFF GRID ATÉ 500 WH/DIA

0 de 5 ★★★★★ (0) Clique e veja!

Disponibilidade: Imediata

Por:

R\$ 1.548,90

R\$ 1.486,94 à vista com desconto Boleto - Yapyay
ou 8x de R\$ 224,44 com juros
ou 12x de R\$ 159,90 com juros

Fonte: Energyshop, 2022.

6 CONCLUSÃO

Os sistemas de geração de energias estão cada vez mais diversificados devido aos fatores de aumento nas tarifas das distribuidoras, a preocupação com meio-ambiente, além de ser uma forma de investimento de capital. Porém, a análise financeira é imprescindível antes de decidir implementar qualquer sistema, pois esta traz a evidencia se este investimento pode trazer prejuízo ao investidor.

Por isso, este trabalho teve como objetivo analisar duas formas de implementar a energia solar fotovoltaica em uma residência: de forma *on-grid* e *off-grid* para um consumidor residencial. Para cada caso, foram analisados e utilizados métodos específicos para cada tipo de sistema. O método de análise do projeto *on-grid* foi com base na fatura de energia elétrica do cliente, utilizando como ponto inicial seu consumo mensal para dimensionamento do projeto. Já o sistema *off-grid*, tomou-se como base o levantamento de cargas da residência, mas que seu consumo mensal foi equiparado ao do sistema *on-grid*.

Para a análise econômico-financeira, foram inclusos no cálculo os fatores de geração de energia de cada sistema e o preço da tarifa de energia elétrica cobrada pela concessionária. O estudo mostrou que o projeto *on-grid* é o mais viável para a residência, por apresentar um VPL positivo de R\$ 159.474,77, incluindo as despesas com a troca de inversor a cada 15 anos. O retorno deste investimento (*payback*) se dá a partir do 4º ano, com uma TIR de 35%. Em segundo lugar, o sistema mais viável é utilizar a concessionária como fornecedora de energia elétrica. Em última opção, ficou a geração fotovoltaica *off-grid*, que apesar de se mostrar inviável economicamente, esta se mostra uma opção válida para lugares de difícil acesso para instalações de distribuição de energia, demonstrando um exemplo para substituição do fogão a gás por um de indução, devido ao elevado preço do botijão de gás.

No sistema fotovoltaico *off-grid*, mesmo apresentando vantagens como disponibilidade de energia sem dependência da concessionária de energia e possuir um sistema de estoque de energia, o alto custo das baterias estacionárias foi o que mais contou

na inviabilidade do projeto, além disso a cada certo período todo o banco de baterias é trocado, a depender da profundidade de descarga dela. Essa conclusão de inviabilidade do sistema é semelhante aos trabalhos publicados por (NICOLADELLI; JÚNIOR, 2019) e (GÜNTZEL, 2018). A utilização de sistemas autônomos são justificados em casos onde os locais são mais remotos, em que não há condições da rede da concessionária de energia chegar até este local. Sem contar que o sistema *off-grid* também tem por finalidade alimentar um local com poucas cargas e de baixa potência, pois quanto maior o número de equipamentos, maior será o banco de baterias, encarecendo o investimento. Por isso que as empresas (NEO SOLAR, 2022) de energia solar não recomendam o sistema *off-grid* para alimentar equipamentos como ar condicionado, chuveiros elétricos e motores elétricos.

Assim, o sistema escolhido para o cliente foi o *on-grid* pelo fato de apresentar menor custo inicial, não apresentar custo com baterias, além haver possibilidade de compensação por geração adicional que é enviada à rede da concessionária.

REFERÊNCIAS

ACKERMANN, Thomas; Andersson, Göran; Söder, Lennart. Distributed generation: a definition. *In: Electric Power Systems Research*, Elsevier Science, Oxford, UK, v. 57, n. 3, p. 195-204, 2001.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Brasil ultrapassa marca de 1GW em geração distribuída.** Disponível em: https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao/-/asset_publisher/XGPXSqdMFHrE/content/brasil-ultrapassa-marca-de-1-gw-em-geracao-distribuida/656877. Acesso em: 15 fev. 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENGENHARIA ELÉTRICA - ANEEL. **FAQ: Tire suas dúvidas sobre a Bandeira Escassez Hídrica.** 2021. Disponível em: https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao-2/-/asset_publisher/zXQREz8EVIZ6/content/faq-tire-suas-duvidas-a-sobre-bandeira-escassez-hidrica/656877?inheritRedirect=false&redirect=https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao-2%3Fp_p_id%3D101_INSTANCE_zXQREz8EVIZ6%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-2%26p_p_col_pos%3D1%26p_p_col_count%3D3. Acesso em: 15 jan. 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENGENHARIA ELÉTRICA - ANEEL. **Reajuste tarifário da Energisa Borborema entrará em vigor em 4 de fevereiro.** 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2022/reajuste-tarifario-da-energisa-borborema-entrara-em-vigor-em-4-de-fevereiro>. Acesso em: 24 mar. 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENGENHARIA ELÉTRICA - ANEEL. **Sistemas Isolados e com Fontes Intermitentes.** 2020. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/sistemas-isolados-e-fontes-intermitentes>. Acesso em: 16 jan. 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENGENHARIA ELÉTRICA - ANEEL. **Resolução Normativa no 1.000**, de 7 de dezembro de 2021. Estabelece as Regras de Prestação do Serviço Público de Distribuição de Energia Elétrica; revoga as Resoluções Normativas ANEEL nº 414, de 9 de setembro de 2010; nº 470, de 13 de dezembro de 2011; nº 901, de 8 de dezembro de 2020 e dá outras providências. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-normativa-aneel-n-1.000-de-7-de-dezembro-de-2021-368359651>. Acesso em: 30 jan. 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENGENHARIA ELÉTRICA - ANEEL. **Resolução Normativa nº 482**, de 17 de abril de 2012. Estabelece as condições gerais para acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/bren2012482.pdf>. Acesso em: 30 jan. 2022.

CAMARGO, I. M. de T. **Noções básicas de engenharia econômica: aplicações ao setor elétrico.** Disponível em: https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/16092/1/LIVRO_NocoasBasicasEngenharia.pdf. Acesso em: 14 fev. 2022.

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA AS ENERGIAS SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE S. BRITO - CRESESB. **Potencial Solar - SunData v 3.0.** Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>. Acesso em: 15 fev. 2022.

ECORI. **Seu módulo fotovoltaico atende aos requisitos de qualidade e segurança?** 2021. Disponível em: <https://www.ecorienergiasolar.com.br/artigo/seu-modulo-fotovoltaico-atende-aos-requisitos-de-qualidade-e-seguranca>. Acesso em: 12 fev. 2022.

EDP BRASIL. **Geração Distribuída – EDP SP.** 2021. Disponível em: <https://www.edp.com.br/distribuicao-sp/saiba-mais/informativos/microgeracao-e-minigeracao-distribuida>. Acesso em: 15 jan. 2022.

EDP SÃO PAULO. **Cartilha de Geração Distribuída.** 2021. Disponível em: https://www.edp.com.br/distribuicaosp_/saiba-

mais/informativos/Documents/CARTILHA_MMGD_FINAL_EDP_SP.pdf. Acesso em: 30 jan. 2022.

ELETOBRAS. **Pesquisa de Posse e Hábitos de Uso de Equipamentos Elétricos na Classe Residencial 2019.** 2019. Disponível em: <https://eletrobras.com/pt/Paginas/PPH-2019.aspx>. Acesso em: 16 mar. 2022.

ELYSIA ENERGIA SOLAR. **Painel solar monocristalino e policristalino: entenda as diferenças e as vantagens de cada um.** 2019. Disponível em: <https://elysia.com.br/painel-solar-monocristalino-e-policristalino/>. Acesso em: 30 jan. 2022.

ELYSIA. **Painel solar: qual é a durabilidade desse equipamento fotovoltaico?** 2017. Disponível em: <https://elysia.com.br/durabilidade-painel-solar/>. Acesso em: 24 mar. 2022.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Avaliação da Eficiência Energética e Geração Distribuída para os próximos 10 anos (2013-2022).** Disponível em: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-245/topico-266/20140102_1\[1\].pdf#search=gera%C3%A7%C3%A3o%20distribu%C3%ADda](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-245/topico-266/20140102_1[1].pdf#search=gera%C3%A7%C3%A3o%20distribu%C3%ADda). Acesso em: 15 fev. 2022.

ENERGIA INTELIGENTE. **Alexandre-Edmond Becquerel: O físico francês que descobriu o efeito fotovoltaico.** 2021. Disponível em: <https://energiainteligenteufjf.com.br/biografia/alexandre-edmond-becquerel-o-fisico-frances-que-descobriu-o-efeito-fotovoltaico/>. Acesso em: 19 jan. 2022.

ENERGIA SOLAR. **O que é um controlador de carga?** 2016. Disponível em: <https://pt.solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/peças/instalac--es-independentes/encargos-regulatorios>. Acesso em: 06 jan. 2022.

ENERGY SOLVER. **Sistema Off-Grid (Sem conexão à Rede de Distribuição)**. 2022. Disponível em: <https://www.energysolver.com.br/single-post/sistema-off-grid>. Acesso em: 16 mar. 2022.

ENERGYSHOP. **Kit energia solar *off-grid* até 500Wh/dia**. Disponível em: <https://www.energyshop.com.br/kit-energia-solar/kit-energia-solar-off-grid/kit-energia-solar-off-grid-ate-500-wh-dia->. Acesso em: 10 abr. 2022.

FARIAS, Pécio M. F. **Alexandre Volta – O precursor da bateria elétrica**. Disponível em: <https://www.fisica.net/biografias/Alessandro-Volta.pdf>. Acesso em: 06 jan. 2022.

FOCUS ENERGIA. **O que é um sistema fotovoltaico híbrido e quais suas vantagens**. 2021. Disponível em: <https://www.focusenergia.com.br/o-que-e-um-sistema-fotovoltaico-hibrido-e-quais-suas-vantagens/>. Acesso em: 22 mar. 2022.

GRUPO 3 UNIFEI. **Energia Solar**. 2021. Disponível em: <https://sites.google.com/site/energiasolargrupo3unifei/historia>. Acesso em: 30 jan. 2022.

GÜNTZEL, I. L.,. **Análise de viabilidade técnica e econômica de sistemas fotovoltaicos *on-grid* e *off-grid*, instalados em posto de combustível**. 2018. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/14937/1/PB_COELT_2018_2_12.pdf. Acesso em: 17 mar.

INSTITUTO ACENDE BRASIL. Concessões do setor elétrico: alternativas de políticas públicas. *White Paper* – Instituto Acende Brasil, ed. 5. São Paulo: 2011. Disponível em: Acesso em 16/01/2022.

INSTITUTO SOLAR. **Certificações de um Módulo Fotovoltaico**. 2019. Disponível em: <https://institutosolar.com/certificacoes-de-um-modulo-fotovoltaico/>. Acesso em: 24 fev. 2022.

MAMEDE, Darlan G. L. **Relatório de Estágio Supervisionado: Solar Nobre.** Relatório de Estágio - Bacharelado em Engenharia Elétrica - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande – PB, 2021.

MANUAL DA QUÍMICA. **Pilhas.** 2022. Disponível em: <https://www.manualdaquimica.com/fisico-quimica/pilhas.htm>. Acesso em: 06 jan. 2022.

MUSEU WEG DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **A Pilha de Bagdad: a misteriosa pilha milenar.** 2019. Disponível em: <https://museuweg.net/blog/pilha-de-bagdad-a-misteriosa-pilha-milenar/#:~:text=pilha%20de%20bagdad%2C-,A%20pilha%20de%20Bagdad%20%C3%A9%20o%20equipamento%20el%C3%A9trico%20mais%20antigo,caracter%C3%ADsticas%20de%20uma%20pilha%20comum.>. Acesso em: 06 jan. 2022.

NEO SOLAR. **Kit Energia Solar Off-Grid com Bateria 310Wp – até 977 Wh/dia.** 2022. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/loja/kit-energia-solar-off-grid-c-bateria-310wp.html>. Acesso em: 25 mar. 2022.

NICOLADELLI, G. de M.; JUNIOR, M. T. K. M. **Estudo de caso de sistema fotovoltaico off-grid: Análise, monitoramento e viabilidade.** 2019. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/4213>. Acesso em: 25 mar. 2022.

PINHO, J.T.; GALDINO, M. A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos.** Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf. Acesso em: 15 fev. 2022.

PORTAL SOLAR. **Passo a Passo da Fabricação do Painel Solar.** 2022. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/passo-a-passo-da-fabricacao-do-painel-solar.html>. Acesso em: 12 fev. 2022.

PREPARA ENEM. **Pilha de Daniell.** 2022. Disponível em: <https://www.preparaenem.com/quimica/pilha-daniell.htm>. Acesso em: 06 jan. 2022.

QUEIROZ BATERIAS AUTOMOTIVAS. **Bateria Estacionária Freedom**. 2022. Disponível em: <http://www.bateriasqueiroz.com.br/baterias-estacionaria-freedom.html#:~:text=Bateria%20estacion%C3%A1ria%20pode%20sofrer%20at%C3%A9,impactam%20na%20sua%20vida%20%C3%BAtil>. Acesso em: 24 mar. 2022.

SAMANEZ, Carlos Patricio. **Engenharia Econômica**. Pearson Prentice Hall. São Paulo, BR. 1 Ed, p.36, 2009.

SEC POWER. **Conheça a história e os principais tipos de baterias de lítio**. 2021. Disponível em: <https://secpower.com.br/conheca-os-principais-tipos-de-baterias-de-litio/>. Acesso em: 06 jan. 2022.

SILVA, J. S DA. **Análise da influência da temperatura na geração de energia utilizando painéis fotovoltaicos monocristalinos e policristalinos**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Pampa, Alegrete – RS, 2016. Disponível em: <https://dspace.unipampa.edu.br/bitstream/riu/1534/1/An%C3%A1lise%20da%20influ%C3%Aancia%20da%20temperatura%20na%20gera%C3%A7%C3%A3o%20de%20energia%20utilizando%20pain%C3%A9is%20fotovoltaicos%20monocristalinos%20e%20policristalinos.pdf>. Acesso em: 30 jan. 2022.

SOLAR BRASIL. **Características de Inversores para sistemas de energia solar *off-grid***. 2018. Disponível em: <https://www.solarbrasil.com.br/blog/caracteristicas-de-inversores-para-sistemas-de-energia-solar-off-grid/>. Acesso em: 03 jan. 2022.

SOLAR INOVE. **Qual a diferença o Módulo Monocristalino e o Policristalino**. 2021. Disponível em: <https://blog.solarinove.com.br/qual-a-diferenca-entre-o-modulo-monocristalino-e-o-policristalino/>. Acesso em: 30 jan. 2022.

SOLAR VIEW. **O que é irradiância solar?** 2022. Disponível em: <https://solarview.zendesk.com/hc/pt-br/articles/360052931071-O-que-%C3%A9-irradi%C3%A2ncia-solar->. Acesso em: 24 fev. 2022.

SOLARIZE. **Manual de energia solar.** 2019. Disponível em: <https://www.solarize.com.br/site-content/11-blog/288-manual-de-energia-solar-288>. Acesso em: 24 mar. 2022.

SOLARVOLT. **Kit de energia solar: qual a vida útil dos equipamentos?** 2015. Disponível em: <https://www.solarvoltenergia.com.br/blog/kit-de-energia-solar-vida-util/#:~:text=O%20tempo%20de%20vida%20%C3%BAtil,da%20ocorr%C3%Aancia%20de%20descargas%20atmosf%C3%A9ricas>. Acesso em: 24 mar. 2022.

SOLIENS. **Como são fabricadas as placas solares.** 2021. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=VXmEaxSgb7E>. Acesso em: 30 jan. 2022.

STA SISTEMAS E TECNOLOGIA APLICADA. **A História das Baterias.** 2022. Disponível em: <https://www.sta-eletronica.com.br/artigos/baterias-em-geral/informacoes-basicas/a-historia-das-baterias>. Acesso em: 06 jan. 2022.

TOLMASQUIM, Mauricio Tiommo. **Novo modelo do setor elétrico brasileiro.** 2^a ed. Rio de Janeiro: Synergia; EPE: Brasília, 2015.

VILLALVA, Marcelo Gradella. **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações – Sistemas Isolados e Conectados à Rede.** Editora Érica. 2. Ed, 2012.

VITORINO, Montiê Alves. **Eletrônica de Potência: Fundamentos, Conceitos e Aplicações.** Appris, Curitiba, BR. 1. Ed, p. 381, 2019.

VOLT TECNOLOGIA. **Manual de instruções – Controlador de carga solar MPPT 5A.** Disponível em: <https://volt.ind.br/manuais/mppt5a.pdf>. Acesso em: 05 jan. 2022.

WEBCONTINENTAL. **Aquecedor Solar Eco Coletor Solar 1.6 m² 200 Litros Solarmax.** Disponível em: <https://www.webcontinental.com.br/aquecedor-solar-eco-coletor-solar-16m-200-litros-solarmax/product/144310?gclid=Cj0KCQjwgMqSBhDCARIsAIIVN1UaMiBj6OEXV>

G9VHW0p8HVPcfqhKpnc3eyosbhlqL2RnRhGRgd2tIwaAoRTEALw_wcB. Acesso em: 10 abr. 2022.

ZORRILLA-CASANOVA, José et al. *Losses produced by soiling in the incoming radiation to photovoltaic modules. Progress in photovoltaics: Research and applications*, v. 21, n. 4, p. 790-796, 2013.

APÊNDICE A – PAINEL SOLAR FOTOVOLTAICO JINKO 450W

www.jinkosolar.com



Tiger Pro 60HC 440-460 Watt

Módulo Monofacial

P-Type

Tolerância de potência positiva de 0~+ 3%

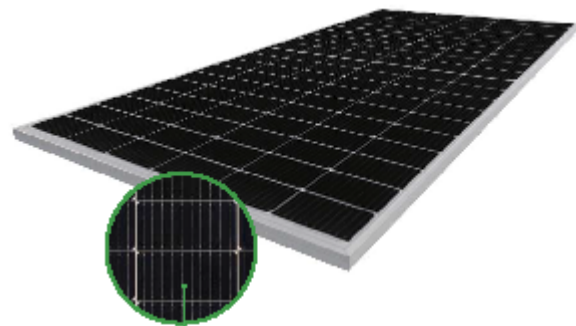
IEC61215(2016), IEC61730(2016)

ISO9001:2015: Sistema de Gestão da Qualidade

ISO14001:2015: Sistema de Gestão Ambiental

ISO45001:2018

Sistemas de gestão de saúde e segurança ocupacional



MBB HC Technology

MBB HC Technology

Características Principais



Tecnologia Multi Busbar

Melhor captura de luz e coleta de corrente para melhorar a confiabilidade e a saída de energia do módulo.



Resistência PID

Excelente garantia de desempenho Anti-PID através de processo de produção em massa otimizado e controle de materiais.



Durabilidade contra condições ambientais extremas

Alta resistência à névoa de sal e amônia.



Perda de ponto quente reduzida

Projeto elétrico otimizado e menor corrente de operação para redução da perda de pontos quentes e melhor coeficiente de temperatura.

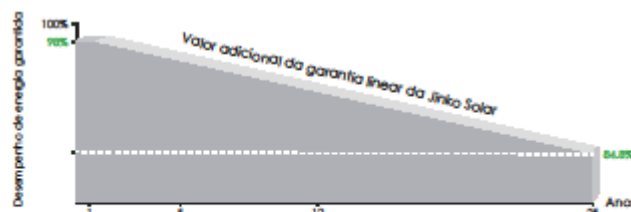


Carga Mecânica Aprimorada

Certificado para suportar: carga de vento (2400 Pascal) e carga de neve (5400 Pascal).



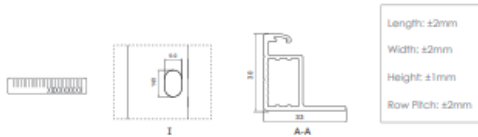
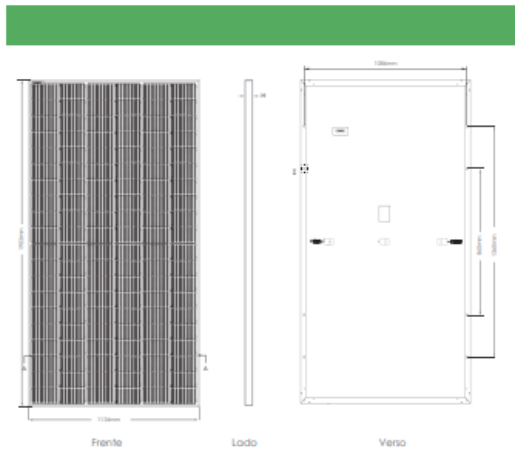
GARANTIA DE DESEMPENHO LINEAR



Garantia de produto de **12** anos

Garantia de energia linear de **25** anos

0,55% de degradação anual em 25 anos

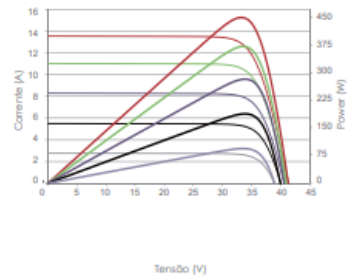


Configuração de embalagem

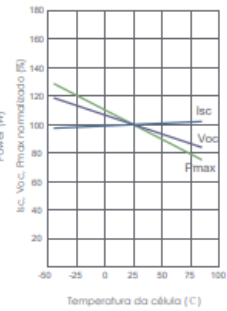
(Dois paletes = uma pilha)

35pcs/ palete, 70 pcs/pilha, 840 pcs/container de 40'HQ

Curvas de corrente-tensão e potência-voltagem (450W)



Dependência de temperatura de Isc, Voc, Pmax



Características mecânicas

Tipo de célula	P type Mono-crystalline
Nº de células	120 (6×20)
Dimensões	1903×1134×30mm (74.92×44.65×1.18 inch)
Peso	24.2 kg (53.35 lbs)
Vidro frontal	3,2 mm, revestimento anti-reflexo, alta transmissão, baixo teor de ferro, vidro temperado
Quadro	Liga de Alumínio Anodizado
Caixa de Junção	Classificação IP68
Cabos de saída	TUV 1 × 4,0 mm ² (+): 290 mm, (-): 145 mm ou comprimento personalizado

ESPECIFICAÇÕES

Tipo de Módulo	JKM440M-60HL4		JKM445M-60HL4		JKM450M-60HL4		JKM455M-60HL4		JKM460M-60HL4	
	JKM440M-60HL4-V		JKM445M-60HL4-V		JKM450M-60HL4-V		JKM455M-60HL4-V		JKM460M-60HL4-V	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Potência máxima (Pmax)	440Wp	327Wp	445Wp	331Wp	450Wp	335Wp	455Wp	339Wp	460Wp	342Wp
Tensão máxima de energia (Vmp)	33.72V	31.39V	33.82V	31.56V	33.91V	31.73V	34.06V	31.91V	34.20V	32.07V
Corrente de potência máxima (Imp)	13.05A	10.43A	13.16A	10.49A	13.27A	10.55A	13.36A	10.61A	13.45A	10.67A
Tensão de circuito aberto (Voc)	41.02V	38.72V	41.10V	38.79V	41.18V	38.87V	41.33V	39.01V	41.48V	39.15V
Corrente de curto-circuito (Isc)	13.73A	11.09A	13.79A	11.14A	13.85A	11.19A	13.93A	11.25A	14.01A	11.32A
Eficiência do Módulo STC (%)	20.39%		20.62%		20.85%		21.08%		21.32%	
Temperatura de operação (°C)	-40°C~+85°C									
Tensão máxima do sistema	1000/1500VDC (IEC)									
Classificação máxima do fusível em série	25A									
Tolerância de potência	0~+3%									
Coefficientes de temperatura de Pmax	-0.35%/°C									
Coefficientes de temperatura de Voc	-0.28%/°C									
Coefficientes de temperatura de Isc	0.048%/°C									
Temperatura nominal da célula operacional (NOCT)	45±2°C									

*STC: ☀ Irradiance 1000W/m² 🌡 Temperatura da célula 25 °C ☁ AM=1.5

NOCT: ☀ Irradiance 800W/m² 🌡 Temperatura ambiente 20 °C ☁ AM=1.5

🌪 Velocidade do vento 1m/s

APÊNDICE B – INVERSOR ON-GRID MIC2000TL-X GROWATT

Ficha de dados	MIC 1000TL-X	MIC 1500TL-X	MIC 2000TL-X	MIC 2500TL-X	MIC 3000TL-X
Dados de entrada					
Máxima potência fotovoltaica recomendada (para módulo STC)	1400W	2100W	2800W	3500W	4200W
Máxima tensão CC	500V	500V	500V	550V	550V
Tensão de partida	50V	50V	50V	80V	80V
Faixa de tensão MPPT/tensão nominal	50V-500V /180V	50V-500V /250V	50V-500V /360V	65V-550V /360V	65V-550V /360V
Máxima corrente de entrada por trackers MPPT	13A				
Máxima corrente curto-circuito por trackers MPPT	16A				
Número de MPPT / strings por MPPT	1/1				
Saída (CA)					
Potência nominal de saída	1000W	1500W	2000W	2500W	3000W
Potência aparente máxima de CA	1000VA	1500VA	2000VA	2500VA	3000VA
Máxima corrente de saída	4.8A	7.1A	9.5A	11.9A	14.3A
Tensão nominal de saída (fase)	230V (180Vao-280Vao)				
Frequência da rede CA (fase)	50Hz±0.5Hz				
Fator de potência ajustável	0.81-0.86				
THD	<3%				
Conexão CA	Fase Única				
Eficiência					
Máx. eficiência	97.4%	97.4%	97.4%	97.6%	97.8%
Euro-mét	96.5%	97.0%	97.0%	97.0%	97.1%
Dispositivos de proteção					
Proteção de polaridade reversa de CC	Sim				
Interruptor CC	Sim				
Voltagem para proteção de auto CC	Sim				
Monitoramento de eficiência de adaptação	Sim				
Voltagem para proteção de auto CA	Sim				
Monitoramento de linha de fase	Sim				
Monitoramento de fase	Sim				
Proteção anti-râmenho	Sim				
Unidade de monitoramento de corrente residual	Sim				
Dados Gerais					
Dimensões (LxAlxP)	274x254x139mm				
Peso	6.0kg	6.0kg	6.0kg	6.2kg	6.2kg
Taxa de temperatura operacional	-25°C ... +60°C (>-45°C Derating)				
Emissão de ruído	≤25 dB(A)				
Altitude	4000m (13123ft)				
Consumo noturno	< 0.5 W				
Topologia	Sem transformador				
Resfriamento	Convecção natural				
Grau de proteção	IP65				
Humidade relativa	100%				
Características					
Conexões CC	HT/MC4				
Conexões CA	Conector				
Emissão	OLED				
Interfaces: RS485 / USB / W-Fi	Sim/Sim/Sim				
Garantia: 5 anos	Sim				
CEI0-21, VDE-AR-N 4105, VDE0126-1-1, UTE C 15-71 2-1, EN50549, IEC 60068, IEC61683, IEC62116, IEC61727 INMETRO, G98, C1 Q/C1, AS4777, AS/NZS 100, UNE217001, UNE206007, PO12.2					

APÊNDICE C – INVERSOR OFF-GRID JAY ENERGY
24VCC/220VCA 3000W

Inversor Jay Energy 3000W

Modified Sine Wave Inverter

Rated Power:	3000W	Frequency:	50Hz / 60Hz
Peak Power:	6000W	Unit Size:	442*210*95mm
Waveform:	Modified Sine Wave	Unit Weight / G.W.:	5800/7370g
DC Input Voltage:	12V / 24V / 48V	Box Size:	395*245*200mm
AC output Voltage:	110V / 220V	Quantity/CTN:	4PCS





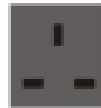
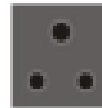




Technical parameters

Model	M-3000W-12V	M-3000W-24V	M-3000W-48V
Output Power	3000W		
Peak Power	6000W		
DC Input Voltage Range	DC12V(9.5V-15.5V)	DC24V(19V-31V)	DC48V(38V-62V)
AC Output Voltage (Single Choice)	100V/110V/120V/220V/230V/240V		
Unload Current	≤0.9A	≤0.5A	≤0.35A
Output Frequency	(50Hz±2Hz) or (60Hz±2Hz)		
Output Waveform	Modified sine wave		
Display	/		
USB Output Voltage / Current	5V 2A (Support QC3.0 fast charge up to 18W)		
Max. Output Efficiency	88%	90%	92%
Low Voltage Protection	Alarm "BI" with 2s interval +red and green lights flashing alternately / restart automatically when voltage recover		
Over Voltage Protection	Alarm "BIB" with 1s interval +red and green lights flashing alternately / restart automatically when voltage recover		
Over Load Protection	Alarm "BI" continuously +red light flashing / restart automatically when load power recover; If it is closed after twice recover, it need restart manually.		
Over Temp Protection	Alarm "BIBIB" with 1s interval +red and green lights flashing alternately / restart when temp recover		
Short Circuit Protection	yes		
DC Reverse Connection Protection	Fuse burnt		
Low Voltage Alarm Range	10.5v±0.5v	21v±0.5v	42v±0.5v
Low Voltage Protection Range	9.5v±0.5v	19v±0.5v	38v±0.5v
Low Voltage Recover Range	12v±0.5v	23v±0.5v	46v±0.5v
Over Voltage Protection Range	15.5v±0.5v	31v±0.5v	62v±0.5v
Over Voltage Recover Range	14v±0.5v	28v±0.5v	56v±0.5v
Working Temperature	-10℃~50℃		
Cooling Method	Fan cooling (Temperature control)		

Note: Our products update constantly. The technical parameter is for reference only. Please refer to our real product.

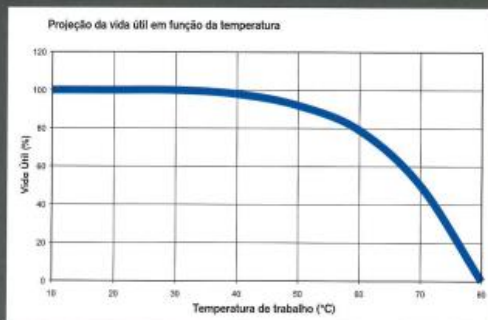
Select the model

							
USA	AUSTRALIA	UNIVERSAL	Europe+USA+Japan	UK	SOUTH AFRICA	FRANCE	GERMANY

APÊNDICE D – BATERIA ESTACIONÁRIA FREEDOM DF4100 240 AH

VIDA ÚTIL

As baterias estacionárias FREEDOM® by Heliar foram projetadas para uma vida útil superior a 4 anos (a uma temperatura de 25°C e profundidade de descarga de 20%).



CARACTERÍSTICAS *ELÉTRICAS*

Principais Características Elétricas

Modelos		DF300	DF500	DF700	DF1000	DF1500	DF2000	DF2500	DF3000	DF4000/ DF4001	DF4100
Capacidade @25°C (Ah)	10 h	24	30	41	54	76	94	130	156	200	200
	20 h	26	36	45	60	80	105	150	170	220	220
	100 h	30	40	50	70	93	115	165	185	240	240
Dimensões (mm)	Comprimento	175	175	210	244	330	330	511	511	518	525
	Largura	175	175	175	175	172	172	213	213	274	275
	Altura	175	175	175	175	240	240	230	230	242	250
Peso (Kg)		8,8	9,7	12,5	14,7	23,9	27,1	44,6	48,3	60	60,3
Torque	Mínimo	9 N.m	9 N.m	9 N.m	9 N.m	13,6 N.m	13,6 N.m	9 N.m	9 N.m	9 N.m	9 N.m
	Máximo	11 N.m	11 N.m	11 N.m	11 N.m	20,3 N.m	20,3 N.m	11 N.m	11 N.m	11 N.m	11 N.m
Tensão de Flutuação						de 13,2 a 13,8V @ 25°C					
Tensão de carga / equalização						de 14,4 a 15,5V @ 25°C					
Compensação de temperatura						Para cada 1°C acima de 25°C, subtrair 0,033V Para cada 1°C abaixo de 25°C, adicionar 0,033V					

Watts (W) a 25°C (tensão final 10,5V)

Modelo	HORAS															MINUTOS			
	100hs	20hs	10hs	9hs	8hs	7hs	6hs	5hs	4,5hs	4hs	3,5hs	3hs	2,5hs	2hs	1,5hs	1h	45'	30'	15'
Bateria	100hs	20hs	10hs	9hs	8hs	7hs	6hs	5hs	4,5hs	4hs	3,5hs	3hs	2,5hs	2hs	1,5hs	1h	45'	30'	15'
DF300	4	16	29	32	35	40	46	53	58	65	72	84	98	120	154	216	253	300	480
DF500	5	22	36	40	45	51	59	69	74	81	91	103	119	144	180	240	304	396	576
DF700	6	27	49	54	60	68	78	90	99	110	120	138	163	195	252	324	384	502	750
DF1000	8	36	65	69	77	88	98	118	126	138	150	174	204	228	302	420	459	594	907
DF1500	11	48	91	98	108	120	138	158	174	192	218	252	300	354	456	648	746	972	1404
DF2000	14	63	113	123	138	156	174	204	221	244	271	300	354	414	528	720	811	1037	1620
DF2500	20	90	156	173	194	216	240	276	300	336	372	408	480	564	696	972	1070	1404	2160
DF3000	22	102	187	204	228	257	296	336	360	396	432	492	576	684	864	1140	1210	1642	2497
DF4000 DF4001 DF4100	29	132	240	258	288	318	360	420	456	498	552	624	720	864	1080	1440	1567	2063	3110

Correntes de descarga (A) em diferentes regimes a 25°C (tensão final 10,5V)

Modelo	HORAS															MINUTOS			
	100hs	20hs	10hs	9hs	8hs	7hs	6hs	5hs	4,5hs	4hs	3,5hs	3hs	2,5hs	2hs	1,5hs	1h	45'	30'	15'
Bateria	100hs	20hs	10hs	9hs	8hs	7hs	6hs	5hs	4,5hs	4hs	3,5hs	3hs	2,5hs	2hs	1,5hs	1h	45'	30'	15'
DF300	0,3	1,3	2,4	2,6	2,9	3,3	3,8	4,4	4,9	5,4	6	7	8,2	10	12,8	18	21	25	40
DF500	0,4	1,8	3	3,3	3,7	4,2	4,9	5,8	6,2	6,8	7,6	8,6	9,9	12	15	20	25,3	33	52
DF700	0,5	2,3	4,1	4,5	5	5,6	6,5	7,5	8,2	9,2	10	11,5	13,6	16,3	21	27	32	43	65
DF1000	0,7	3	5,4	5,8	6,4	7,3	8,2	9,8	10,5	11,5	12,5	14,5	17	19	25,2	35	42,5	55	84
DF1500	0,93	4	7,6	8,2	9	10	11,5	13,2	14,5	16	18,2	21	25	29,5	38	54	69	90	130
DF2000	1,2	5,3	9,4	10,2	11,5	13	14,5	17	18,4	20,3	22,6	25	29,5	34,5	44	60	75	96	150
DF2500	1,7	7,5	13	14,4	16,2	18	20	23	25	28	31	34	40	47	58	81	99	130	200
DF3000	1,9	8,5	15,6	17	19	21,4	24,7	28	30	33	36	41	48	57	72	95	112	152	231
DF4000 DF4001 DF4100	2,4	11	20	21,5	24	26,5	30	35	38	41,5	46	52	60	72	90	120	145	191	290

Capacidade em ampère-hora (Ah) a 25°C em diferentes regimes de descarga (tensão final 10,5V)

Modelo	HORAS															MINUTOS			
	100hs	20hs	10hs	9hs	8hs	7hs	6hs	5hs	4,5hs	4hs	3,5hs	3hs	2,5hs	2hs	1,5hs	1h	45'	30'	15'
Bateria	100hs	20hs	10hs	9hs	8hs	7hs	6hs	5hs	4,5hs	4hs	3,5hs	3hs	2,5hs	2hs	1,5hs	1h	45'	30'	15'
DF300	30	26	24	23,8	23,5	23,1	22,8	22	21,9	21,6	21	21	20,5	20	19,2	18	15,8	12,5	10
DF500	40	36	30	29,9	29,8	29,7	29,4	28,8	27,7	27	26,6	25,8	24,8	24	22,5	20	19	16,5	13
DF700	50	45	41	40,5	40	39,5	39,2	37,5	37,1	36,8	35	34,5	34	32,5	31,5	27	24	21,5	16,3
DF1000	70	60	54	51,8	51,6	51,1	49,2	49	47,3	46	43,8	43,5	42,5	38	37,8	35	31,9	27,5	21
DF1500	93	80	76	73,8	72	70	69	66	65,3	64	63,7	63	62,5	59	57	54	51,8	45	32,5
DF2000	115	105	94	92	91,8	91	87	85	82,8	81,2	79,1	75	73,8	69	66	60	56,3	48	37,5
DF2500	165	150	130	129,8	129,6	126	120	115	112,5	112	108,5	102	100	94	87	81	74,3	65	50
DF3000	185	170	156	153	152	150	148,2	140	135	132	126	123	120	114	108	95	84	76	57,8
DF4000 DF4001 DF4100	240	220	200	193,5	192	185,5	180	175	171	166	161	156	150	144	135	120	108,8	95,5	72

APÊNDICE E – PAINEL SOLAR FOTOVOLTAICO RS6E-155M 155W RESUN



36 Cells
Mono-crystalline

155W
Power output

18.05%
The Highest Efficiency

0~+5W
Tolerance

0.5% Annual Degradation over 30 years

The graph plots "Guaranteed Power" on the y-axis (80% to 100%) against "Years" on the x-axis (0 to 30). It shows three lines: a top blue line for "Resun's Standard", a middle orange line for "Common module's Linear", and a bottom grey line for "Industry Standard". The area between the Resun and Common lines is shaded orange and labeled "Additional value from Resun's Linear Warranty". Data points for the Resun line are: 0% at year 0, -1.4% at year 10, -2.8% at year 20, -4.2% at year 25, and -5.6% at year 30.

LINEAR PERFORMANCE WARRANTY
12 year Product Warranty / 30 year Linear Power Warranty

RS6E-155M

RS6E-155M is a robust solar module with 36 solar cells. These modules can be used for on-grid solar applications. Our meticulous design and production techniques ensure a high-yield, long-term performance for every module produced. Our rigorous quality control and in-house testing facilities guarantee Resun Solar's modules meet the highest quality standards possible



High module conversion efficiency (up to 18.05%), through superior manufacturing technology



Guaranteed 0~+5W positive power output tolerance ensures high reliability



Anti-reflective, hydrophobic coating improves light absorption and reduces surface dust



Excellent performance under low light environments (mornings, evenings and cloudy days)



Suitable for harsh environments, such as coasts, deserts and lakes. Withstand high level of wind loads (2400pa) and snow loads (5400pa)

Full range of products and certification systems
ISO 9001 TUV PID-FREE CE IEC61215/61730/61701/62716



RS6E-155M



GLOBAL PROFESSIONAL PV PRODUCTS INTEGRATED SOLUTIONS SUPPLIER

ELECTRICAL DATA(STC)

Rated Power in Watts-Pmax(Wp)	155W
Open Circuit Voltage-Voc(V)	24.46V
Short Circuit Current-Isc(A)	8.31A
Maximum Power Voltage-Vmp(V)	20.64V
Maximum Power Current-Imp(A)	7.51A
Module Efficiency (%)	18.05%

STC: Irradiance 1000 W/m², Cell Temperature 25°C, Air Mass AM1.5 according to EN 60904-3.

ELECTRICAL DATA(NOCT)

Maximum Power-Pmax (Wp)	115.6W
Open Circuit Voltage-Voc (V)	22.94V
Short Circuit Current-Isc (A)	6.71A
Maximum Power Voltage-Vmp(V)	19.20V
Maximum Power Current-Imp(A)	6.02A

NOCT: Irradiance at 800 W/m², Ambient Temperature 20°C, Wind Speed 1 m/s.

MECHANICAL DATA

Solar cells	Mono-crystalline 157 x132mm
Cell configuration	36 cells(4x9)
Module dimensions	1270x676x30mm
Weight	11KGS
Front Cover	3.2mm Tempered Glass
Frame Material	Anodized Aluminum Alloy
J-BOX	IP65
Cable	4mm ² (IEC)/12AWG(UL),900 mm
Connectors	MC4 or MC4 Comparable
Standard Packaging	

TEMPERATURE & MAXIMUM RATINGS

Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	45°C ±2°C
Temperature Coefficient of Voc	-0.28%/°C
Temperature Coefficient of Isc	0.048%/°C
Temperature Coefficient of Pmax	-0.35%/°C
Operational Temperature	-40~+85°C
Maximum System Voltage	1000W(IEC)/1000v(UL)
Max Series Fuse Rating	15A
Limiting Reverse Current	15A

PACKAGING CONFIGURATION

Number of modules per container	
Package	
Package Weight	
Package Number	
Package Dimension	

Dimension of PV Modules Unit: mm

