

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**EVANDRO HEIMBECKER MARQUES
GUILHERME NOGUEIRA DOS SANTOS**

**ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: APLICAÇÃO DO SISTEMA EM
UMA *TINY HOUSE* (UM ESTUDO DE CASO)**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO 2

**CURITIBA
2020**

**EVANDRO HEIMBECKER MARQUES
GUILHERME NOGUEIRA DOS SANTOS**

**ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: APLICAÇÃO DO SISTEMA EM
UMA *TINY HOUSE* (UM ESTUDO DE CASO)**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do curso de Engenharia Civil do Departamento Acadêmico de Construção Civil (DACOC) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Dr. José Alberto Cerri
Co-Orientador: Prof. Dr. Eloy Fassi Casagrande Jr.

**CURITIBA
2020**

FOLHA DE APROVAÇÃO

ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: APLICAÇÃO DO SISTEMA EM UMA TINY HOUSE (UM ESTUDO DE CASO)

Por

EVANDRO HEIMBECKER MARQUES

GUILHERME NOGUEIRA DOS SANTOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, defendido e aprovado no dia 03 de Novembro de 2020, pela seguinte banca de avaliação presente:

Orientador – José Alberto Cerri, Dr.
UTFPR

Jair Urbanetz Jr., Dr.
UTFPR

Carlos Alberto da Costa, Dr.
UTFPR

“A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso”

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradecemos a Deus que nos concedeu Sua sabedoria e conhecimento, aos nossos familiares, cujo apoio e compreensão foram essenciais para tornar possível a realização deste trabalho de conclusão de curso.

Gostaríamos também de agradecer aos nossos amigos, que contribuíram, das mais diversas formas ao longo deste percurso.

Aproveitamos para versar nossa reverência aos professores: orientador Prof. Dr. José Alberto Cerri; co-orientador Prof. Dr. Eloy Fassi Casagrande Jr.; além de honroso agradecimento ao Prof. Dr. Jair Urbanetz Jr. pelas vossas orientações técnicas, atenção e disposição durante todas as etapas deste trabalho.

Por último e não menos importante, gostaríamos de prestar nosso profundo agradecimento a Universidade Tecnológica Federal do Paraná pela disposição de todo o acervo bibliográfico e estrutura necessária para obtermos o melhor aproveitamento possível na construção de nosso saber.

A todos, muito obrigado.

“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.” (José de Alencar)

RESUMO

Este trabalho apresenta aspectos de uma tendência de sustentabilidade em âmbito global primeiramente apresentando o conceito de *tiny house*, um movimento que atrai novos adeptos ao redor do mundo e que no Brasil o mesmo é ainda pouco popular. Dentro deste conceito de moradia, será apresentada uma solução de energia renovável, tendo como base o protótipo de *tiny house*, em execução na UTFPR-Ecoville, em Curitiba. Será dado maior destaque a um dos conceitos possíveis de uso sustentável de energia elétrica, para residências deste tipo, o sistema fotovoltaico. Após o dimensionamento e a obtenção dos custos relativos aos equipamentos do sistema fotovoltaico previsto, será feita uma análise de viabilidade econômica, para a determinação do tempo de retorno sobre o investimento, o *payback*. Dessa forma, será obtido um resultado de provável inviabilidade econômica para a recuperação de capital investido. Conquanto, não se limitando apenas aos aspectos econômicos, o estudo mostra a relevância para aspectos sócio ambientais, principalmente para localidades em que as redes de concessionária de energia ainda não tenham infraestrutura para atendê-las.

Palavras-chave: Sistema fotovoltaico, *Tiny House*, Energia Solar, *payback*, Sustentabilidade.

ABSTRACT

This paper aims to present aspects of a sustainability trend in a global concern, first presenting the concept of tiny house, a movement that attracts new followers around the world and that in Brazil it is still not popular. Within this housing concept, a renewable energy solution will be presented, based on the tiny house prototype, that has been built at UTFPR-Ecoville, in Curitiba. Greater emphasis will be placed on one of the possible concepts of sustainable use of electricity, for homes of this type, the photovoltaic system. After dimensioning and obtaining the costs related to the equipment of the planned photovoltaic system, an economic feasibility analysis will be carried out to determine the return on investment time, the payback. In this way, a result of probable economic unfeasibility will be obtained for the recovery of invested capital. Although, not limited to economic aspects, the study shows the relevance for socio-environmental aspects, mainly for locations where the energy concessionaire networks do not yet have the infrastructure to serve them.

Keywords: *Photovoltaic system, Tiny House, Solar Energy, payback Sustainability.*

LISTA DE SIGLAS

ABS	<i>Australian Bureau of Statistics</i>
ADSL	<i>Assymetrical Digital Subscriber Line</i>
$C_{TotalCargas}$	Consumo Total Diário (Wh/dia)
ca	Corrente Alternada
CB ₂₀	Capacidade do Banco de Bateria (Wh)
CBI ₂₀	Capacidade do Banco de Bateria (A)
CBI _{BAT}	Capacidade da Bateria Seleccionada (Ah)
cc	Corrente Contínua
C_i	Custo do Insumo (R\$)
ΔV	Queda de Tensão Admitida (%)
EV	Escritório Verde
FD	Fator de Demanda
FV	Fotovoltaico
HSP	Horas de Sol Pleno
I	Corrente
I_c	Corrente Máxima do Controlador de Cargas
I_{sc}	Corrente de curto-circuito (A)
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IMP	Corrente de Máxima Potência (A)
IST	Instituto Superior Técnico
l	Comprimento do Trecho dos Condutores Elétricos
J	Taxa de Juros Mensal
L	Energia Ativa

LCA	Energia Ativa em ca
MPPT	<i>Maximum Power Point Tracker</i> , Seguidor de Ponto de Máxima Potência
N	Número de Dias de Autonomia para o Banco de Baterias
η_{BAT}	Eficiência Global da bateria (%)
η_{Inv}	Eficiência do Inversor (%)
N_{BP}	Número de Baterias em Paralelo
N_{BS}	Número de Baterias em Série
NBR	Norma Regulamentadora Brasileira
N_{MS}	Número de Módulos FV em Série
N_{MP}	Número de Módulos FV em Paralelo
P	Potência (W) / Carga Instalada (W)
Pa	Valorização e Desvalorização por Mês
Pd	Profundidade de Descarga da Bateria (%)
PE	Ponto de Equilíbrio
P_M	Potência do Painel FV (Wp)
PMP	Ponto de Máxima Potência (Wp)
Pot	Potência dos equipamentos (W)
Q	Quantidade de Insumo Economizado por Mês
Red ₁	Fator de Redução 1
Red ₂	Fator de Redução 2
S_{cond}	Área da Seção Transversal dos Condutores (mm ²)
SFCR	Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede
SFD	Sistema Fotovoltaico Domiciliar
SFI	Sistema Fotovoltaico Isolado

t	Tempo
TH	<i>Tiny House</i>
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
V	Tensão
V _{BAT}	Tensão Nominal da Bateria Seleccionada (V)
V _{CA}	Tensão em Corrente Alternada (V)
V _{CC}	Tensão em Corrente Contínua (V)
V _{CMÁX}	Tensão Máxima de Operação do Controlador de Cargas (V)
V _{MP}	Tensão de Máxima Potência (V)
V _{OC}	Tensão de Circuito Aberto (V)
V _{OCM}	Tensão Circuito Aberto (V)
V _{SIST}	Tensão em cc do Sistema (V)

LISTA DE ACRÔNIMOS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CEPEL	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
COPEL	Companhia Paranaense de Energia Elétrica
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito
EUA	Estados Unidos da América
<i>LED</i>	<i>Light-Emitting Diode</i> , Diodo Emissor de Luz
ONU	Organização das Nações Unidas
SIGES	Sistema de Gestão para Edifícios Sustentáveis
Selic	Sistema Especial de Liquidação e Custódia

LISTA DE SÍMBOLOS

<i>[A]</i>	Ampère, unidade de corrente elétrica
<i>[Ah]</i>	Ampère-hora, relação unitária
<i>[°C]</i>	Grau Celsius, unidade de temperatura
<i>[h]</i>	Hora, unidade de tempo
<i>[Hz]</i>	Hertz, unidade de frequência
<i>[m; k]</i>	Mili; Quilo, grandeza unitária
<i>[m]</i>	Metro, unidade de comprimento
<i>[m²]</i>	Metro quadrado, unidade de área
<i>[R\$]</i>	Reais, unidade monetária
<i>[s]</i>	Segundo, unidade de tempo
<i>[V]</i>	Volt, unidade de tensão
<i>[W]</i>	Watt, unidade de potência
<i>[Wh]</i>	Watt-hora, relação unitária
<i>[Wh/m².dia]</i>	Watt-hora por metro quadrado-dia, relação unitária
<i>[W/m²]</i>	Watt por metro quadrado, relação unitária
<i>[Wp]</i>	Watt-pico, relação unitária
<i>[%]</i>	Porcentagem, relação percentual

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - <i>Vagabond's first tiny house</i>	20
Figura 2 - <i>Tiny Houses encouraged in Washington State for Affordable Housing in Eco-Villages WA</i>	21
Figura 3 – Hierarquia de um painel solar	25
Figura 4 – Componentes da radiação solar	25
Figura 5 - Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede	28
Figura 6 - Sistema Fotovoltaico Isolado	29
Figura 7 - Fornecimento de energia, exclusivamente em cc	30
Figura 8 - Fornecimento de energia, exclusivamente em ca	30
Figura 9 - Fornecimento de energia em cc e ca	31
Figura 10 – Exemplo de curva característica Ixv associada a uma curva PxV	32
Figura 11 – Curva característica I-V para variação de irradiação solar	33
Figura 12 – Curva característica IxV relativo à variação de temperatura.....	33
Figura 13 – Curvas I-V para 4 módulos em série	34
Figura 14 – Módulo Fotovoltaico e dados técnicos, modelo FG LONGI HALF MONO	35
Figura 15 – Bateria Estacionária e dados técnicos modelo 12MS234, da fabricante Moura	38
Figura 16 – Inversor onda senoidal modificada e dados técnicos, modelo Lucky Amazonia	40
Figura 17 – Controlador de Carga e dados técnicos, modelo 110A MPPT.....	41
Figura 18 - Planilha do SIGES para cálculo de tempo de retorno sobre investimento.....	50
Figura 19 – Paredes externas da <i>Tiny House</i> sendo colocadas sobre o radier	55
Figura 20 – Croqui do projeto arquitetônico da <i>tiny house</i> – UTFPR – Ecoville.....	55
Figura 21 – Disposição dos equipamentos e tomadas para as cargas elétricas.....	57
Figura 22 - Mapa de irradiação solar	57
Figura 23 - Gráfico de geração média diária de energia para cada mês do ano	58
Figura 24 – Projeto arquitetônico da <i>tiny house</i> – UTFPR - Ecoville	64
Figura 25 – Disposição do Painel Fotovoltaico.....	65
Figura 26 – Investimento x Economia Curitiba-PR.....	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Inflação nos últimos 3 anos.....	52
Tabela 2 – Selic média dos últimos 3 anos	52
Tabela 3 – Características das cargas elétricas da <i>tiny house</i>	56
Tabela 4 – Dados da irradiação solar captada para um plano inclinado, Curitiba-PR	59
Tabela 5 – Valor ajustado para uma inclinação de 40° do painel fotovoltaico	59
Tabela 6 – Consumo de cargas elétricas para o Cenário 1a, Curitiba-PR.....	61
Tabela 7 – Consumo de cargas elétricas para o Cenário 1b, Curitiba-PR.....	62
Tabela 8 – Resumo do dimensionamento do Painel Fotovoltaico nos cenários 1a e 1b	64
Tabela 9 – Resumo do dimensionamento do Banco de Baterias nos cenários 1a, 1b e 2 ...	67
Tabela 10 – Resumo do dimensionamento do Controlador de Cargas para os cenários 1a e 1b	69
Tabela 11 – Resumo do dimensionamento do Inversor de frequência para os cenários 1a e 1b	69
Tabela 12 – Resumo dos equipamentos e custos iniciais	70
Tabela 13 – Resumo do dimensionamento do Condutores para os cenários 1a e 1b	72
Tabela 14 - Custos do sistema	73
Tabela 15 – Reajuste anual da tarifa	73
Tabela 16 - Impostos incidentes	73
Tabela 17 - Valores incidentes da tarifa de energia	74
Tabela 18 - Planilha de Viabilidade para cálculo de payback.....	74
Tabela 19 - Ponto de equilíbrio valor inicial.....	75
Tabela 20 - Ponto de equilíbrio Final	75
Tabela 21 - Retorno no fim da vida útil	76

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	TEMA E DELIMITAÇÃO DE PESQUISA	15
1.2	OBJETIVOS	17
1.2.1	Objetivo Geral	17
1.2.2	Objetivos Específicos	17
1.3	JUSTIFICATIVA	17
2	REVISÃO DA LITERATURA	19
2.1	<i>TINY HOUSE</i>	19
2.1.1	Características das <i>Tiny House's</i>	19
2.1.2	O problema com o Tamanho das Residências	22
2.2	SISTEMAS ELÉTRICOS FOTOVOLTAICOS	23
2.2.1	Energia Solar Fotovoltaica	24
2.2.1.1	Componentes da radiação solar	25
2.2.2	Sistemas Fotovoltaicos	27
2.2.2.1	Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFCR)	27
2.2.2.2	Sistemas Fotovoltaicos Isolados (SFI)	28
2.2.3	Principais Componentes do Sistema Fotovoltaico Isolado	31
2.2.3.1	Módulos fotovoltaicos	31
2.2.3.2	Acumuladores de energia	36
2.2.3.3	Inversores CC-CA	38
2.2.3.4	Controladores de carga	40
2.2.3.5	Demais componentes	42
2.3	MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DOS COMPONENTES DO SFI	42
2.3.1	Consumo Médio Diário de Energia Elétrica	43
2.3.2	Método Para Dimensionamento do Pannel Fotovoltaico	43
2.3.3	Método Para Dimensionamento do Banco de Baterias	46
2.3.4	Método para Dimensionamento do Controlador de Carga	47
2.3.5	Método para Dimensionamento do Inversor	48
2.3.6	Método Para Dimensionamento dos Condutores	48
2.4	VIABILIDADE ECONÔMICA	49

2.4.1	Retorno Sobre Investimento (<i>Payback</i>)	49
2.4.1.1	Tipos de <i>payback</i>	49
2.4.2	Método de Cálculo do Retorno Sobre o Investimento (<i>Payback</i>).....	50
3	METODOLOGIA	54
3.1	O PROTÓTIPO DE <i>TINY HOUSE</i> DA UTFPR-ECOVILLE.....	54
3.2	AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS E DE UTILIZAÇÃO DO PROTÓTIPO	56
3.3	NÍVEIS DE RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTES DA REGIÃO.....	57
4	DIMENSIONAMENTOS E RESULTADOS	61
4.1	DETERMINAÇÃO DO CONSUMO DE CARGA ELÉTRICA NA <i>TINY HOUSE</i>	61
4.1.1	Consumo das Cargas Elétricas.....	61
4.2	DIMENSIONAMENTO DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS.....	63
4.3	DIMENSIONAMENTO DO BANCO DE BATERIAS.....	66
4.4	DIMENSIONAMENTO DO CONTROLADOR DE CARGAS.....	68
4.5	DIMENSIONAMENTO DO INVERSOR	69
4.6	RESUMO DO DIMENSIONAMENTO	70
4.7	DIMENSIONAMENTO DOS CONDUTORES.....	71
4.8	CÁLCULO DO RETORNO SOBRE O INVESTIMENTO (<i>PAYBACK</i>)	72
4.8.1	<i>Payback</i> Para o Sistema Fotovoltaico	73
5	CONCLUSÕES.....	77
	REFERÊNCIAS	79

1 INTRODUÇÃO

O capítulo introdutório deste trabalho é composto pelo tema, contextualização do assunto, justificativa e delimitação de pesquisa, apresentando também os problemas e premissas evidenciadas, seguidos dos objetivos estabelecidos, os quais são subdivididos em objetivos geral e específicos além das justificativas.

1.1 TEMA E DELIMITAÇÃO DE PESQUISA

Historicamente, a evolução social e tecnológica da humanidade foi acompanhada por um relacionamento conflitante em relação à natureza, aliado a ausência do uso consciente dos recursos naturais que por sua vez acarretam prejuízos irreparáveis ao meio ambiente (VEIGA, 2010).

A compreensão das pessoas, ao redor do mundo, se mostrou mais significativo somente após a Segunda Guerra Mundial, em razão de reuniões dos representantes dos países que compõem a Organização das Nações Unidas (ONU). Esses encontros tiveram o propósito de modificar o até então atual modelo insustentável de crescimento econômico, norteando, portanto, para a renovação e proteção dos recursos naturais (NAÇÕES UNIDAS BRASIL, 2019).

A partir desses marcos das discussões ambientais, diversos foram os segmentos da indústria que deram maior atenção para o desenvolvimento responsável. Podendo-se destacar, entre tantos, dois grandes setores: o da construção civil e o da energia, que juntos são responsáveis por grandes impactos na natureza.

Desta maneira, especialmente relacionados à área de construções imobiliárias, esses setores vêm permeando caminhos alternativos às técnicas construtivas convencionais (CONSUMO SUSTENTÁVEL, 2015). Um exemplo são as construções que tem como principal foco a eficiência energética, fazendo uso de elementos enxutos, renováveis, leves, com boa iluminação e ventilação, de forma a obter um produto o mais eficiente e sustentável possível, almejando o mínimo de desgaste do meio ambiente. (MINISTERIO DO MEIO AMBIENTE, 2015; CONSUMO

SUSTENTÁVEL, 2015). Nesse contexto se insere um novo movimento ou modelo de construção, a *Tiny House* (TH), a qual será referida como base para o protótipo do estudo de caso.

De acordo com Mingoya (2015), as TH's fazem parte de um movimento que é diretamente relacionado a um grupo preocupado com a sustentabilidade ambiental, os quais pertencem às classes sociais média e média-alta. Essa ainda pequena população é composta por jovens adultos, estudantes, aposentados, idosos e interessados em pequenas comunidades domésticas (MUTTER, 2013).

No entanto, tendo em vista o tamanho, a simplicidade desse modelo construtivo e a inspiração para um modo de vida minimalista, aliado ao bom uso da eficiência energética, permitem ganhos com redução de custos posteriores, podendo atender, inclusive, a uma série de outras rendas sociais (MINGOYA, 2015).

Adicionalmente, pode-se citar como vantagens a capacidade de redução da taxa de ocupação das regiões urbanas, permitindo assim maiores espaços permeáveis para um melhor escoamento de água de chuvas sob o solo.

Outro ponto positivo é a obtenção de um gasto energético menor ao se utilizar a energia solar, priorizando, sempre que possível, a luz natural nos ambientes, além do aproveitamento para geração de energia elétrica ou ainda aquecimento de água.

Uma destas tecnologias alternativas, disponíveis no mercado e que tem sido amplamente utilizada ao redor do mundo, é a energia solar fotovoltaica, a qual se origina da conversão da radiação eletromagnética proveniente do Sol, incidente sobre dispositivos semicondutores, que produz uma corrente elétrica quando expostos à luz (SEGUEL, 2009).

Em virtude do que foi exposto, propõe-se neste trabalho uma pesquisa e avaliação, pautada em estudo de caso da viabilidade financeira da implantação de sistema fotovoltaico como fonte alternativa de geração de energia elétrica, para um projeto de um protótipo de residência específico.

Esse protótipo utiliza o conceito construtivo de *Tiny House*, que está em fase de desenvolvimento na UTFPR, sede Ecoville, na cidade de Curitiba-PR.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a viabilidade econômica versus benefício de implantação de um sistema de painéis fotovoltaicos, protótipo de casa do tipo *Tiny House*, quando aplicado de forma isolada da rede de distribuição de energia elétrica.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Obter o dimensionamento prévio das cargas elétricas, bem como previsão de consumo elétrico, de acordo com as características de uso pré-estabelecidas;
- Dimensionar e especificar os equipamentos complementares ao painel FV, tais como, baterias, inversores cc-ca e controladores de carga;
- Verificar se atende à demanda de consumo elétrico da residência;
- Comparar o custo de implantação x economia possível de ser gerada frente ao consumo pelo sistema da rede de distribuição fornecida pela concessionária;

1.3 JUSTIFICATIVA

Os fundamentos para discorrer sobre o estudo proposto neste trabalho encontra respaldo nos problemas sociais e ambientais decorrentes do crescimento populacional e a urbanização sem que haja um bom planejamento na ampliação das cidades. Segundo as Nações Unidas, em 2014, mais de 54% da população mundial residia em áreas urbanas, projetando-se aumento para 66%, até 2050 (MURPHY, 2014).

Embora as pequenas habitações não sejam uma novidade no mundo, um novo movimento, descrito como *Tiny House (TH) Movement*, ganhou força significativa, a partir do ano de 2002, com o surgimento das pioneiras do setor: a *Tumbleweed Tiny House Company* e *Small House Society*. Desde então, estas empresas se juntaram a outras nos Estados Unidos e, posteriormente, em todo o mundo, provocando um movimento internacional que visava manter um padrão de qualidade de vida alto enquanto os proprietários, intencionalmente, reduziam o tamanho das residências (MUTTER, 2013).

Outro aspecto que este modelo construtivo acompanha, segundo Dahlstrom (2011), é o intitulado *marketing verde*, configurando-se por ações e estratégias comerciais que as empresas vêm implementando para a preservação e a boa educação ambiental. Isto embute um fator de grande importância nas relações com os consumidores e provoca nesses uma visão positiva de responsabilidade dessas entidades para a sociedade e ao meio ambiente.

Como uma consequência natural do interesse crescente nas tecnologias sustentáveis, ocorreram significativos avanços também para os equipamentos de sistemas solares, inclusive com melhoras importantes no custo e na eficiência dos sistemas fotovoltaicos, principalmente ao longo desta última década. Portanto, a integração de geradores FV à arquitetura dessas *THs*, pode ser vista como um bom aliado para a geração elétrica nesse tipo de residência sendo ainda que possuem potencial para serem deslocadas de uma região para outra.

Assim, salienta-se que além de ser destacada a parte econômica de uma possível substituição da energia fornecida pela rede de distribuição elétrica para o uso de painéis fotovoltaicos, igualmente, deve-se conceder plena importância que se explore também o marketing verde associado a esse sistema.

Para o contexto econômico atual, evidencia-se uma rígida postura da população e dos consumidores, os quais se têm inclinado a interagir muito mais com empresas ou pessoas que sejam éticas e com boa imagem no mercado e que atuem de forma ecologicamente responsável. E são vistas com ressalvas, aquelas que não estejam comprometidas com esses aspectos mencionados, representando, dessa forma, possíveis perdas comerciais no futuro.

Não obstante, tecnicamente, a realização de um estudo como o proposto contribui para a consolidação dessa tecnologia de geração distribuída de energia elétrica a partir de módulos fotovoltaicos em residências focadas na eficiência energética. Essa tecnologia conta ainda com a positiva vocação natural do país, conferindo, uma disponibilidade de radiação solar cerca de 40% maior do que os valores obtidos por países europeus, que são referências no uso desta tecnologia, como por exemplo, a Alemanha (OLIVEIRA, J. S. *et al.*, 2013).

Do ponto de vista acadêmico, o estudo de implantação de módulos fotovoltaicos em sistemas isolados da rede de distribuição de energia, traz contribuições para a disseminação desse conhecimento para outros interessados no assunto.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo apresenta uma revisão teórica para identificar e conceituar as *Tiny House's*, necessário para melhor entendimento das características físicas bem como do conceito de sustentabilidade intrínseco à proposta de uso. Será apresentada também alguma consequência relativa ao crescimento populacional em grandes centros urbanos e a apresentação do protótipo de *TH*, da UTFPR, o qual será o objeto de estudo do sistema fotovoltaico.

A composição do capítulo também é formada pela apresentação das principais características dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede e isolados.

Serão detalhados os principais componentes básicos destes sistemas: módulos fotovoltaicos, inversores cc-ca, controladores de carga e acumuladores de energia.

Por fim, será descrito um método que avalia o tempo de retorno sobre o investimento no sistema fotovoltaico, conhecido como *payback*, o qual fará parte da análise de viabilidade econômica deste estudo.

2.1 TINY HOUSE

2.1.1 Características das *Tiny House's*

Uma *Tiny House*, ou *TH*, é citada na literatura com área aproximada de 18 m² e pode variar em complexidade e custo, incluindo as áreas necessárias para dormir, tomar banho, armazenar e cozinhar, encontradas em casas usuais. As fundações da maioria destas casas são construídas em leitos pré-fabricados ou em plataformas móveis elevadas, que têm regulamentações específicas de tamanho máximo ao invés de ter uma estrutura com uma fundação verdadeira, limitada pelo tamanho mínimo (MINGOYA, 2015).

Um estudo Elaborado por Mutter (2013) identificou que o estilo de vida em uma TH é muito diferente daquele encontrado em residências extensas, dado que os moradores estão interessados em levar uma vida mais simples, afastando-se da cultura do consumismo norte-americano (MUTTER, 2013).

A planta arquitetônica reduzida tende a diminuir a pegada de carbono destas casas, no entanto, alguns proprietários citam a sustentabilidade e os impactos ambientais como a principal motivação. Tomam medidas para incorporar materiais reciclados, fontes alternativas de energia e sistemas de coleta de água da chuva.

Para muitos proprietários de *TH* nos EUA, o custo foi um fator importante na decisão de reduzir o tamanho, uma vez que seria a única maneira de possuírem uma residência (MUTTER, 2013).

Esse determinado modelo de moradia possui algumas peculiaridades, principalmente no movimento pelos EUA, onde boa parte destas residências é concebida sobre trailer, como é possível verificar na Figura 1, permitindo que as famílias possam se deslocar para diversos lugares, como em locais que possam encontrar trabalho e maior qualidade de vida.

Figura 1 - *Vagabond's first tiny house*



Fonte: Thomas Grenier/Vagabond Tiny Homes, 2019

Embora nem todas as casas desse modelo sejam concebidas desta forma, alguns proprietários de *TH's*, sobre trailer, consideram a alta flexibilidade e a liberdade de não estar fixada a um local como uma alta prioridade (MUTTER, 2013). Por outro lado, a Figura 2 apresenta uma *TH* fixa, modelo que será utilizado nesse estudo de caso.

Figura 2 - *Tiny Houses encouraged in Washington State for Affordable Housing in Eco-Villages WA*



Fonte: Ecohome, 2019

É possível inclusive identificar nesta imagem, ao fundo, anexado a residência um sistema (vertical) de painel fotovoltaico, sistema de geração de energia elétrica que será foco deste trabalho.

Atualmente não existem no Brasil estudos sobre estas *Tiny Houses*, as quais estão ligadas diretamente a um estilo de vida na grande maioria das vezes alternativo, de pessoas que não possuem um poder econômico relativamente elevado e querem buscar a independência, tais como universitários, recém-formados e solteiros (BOECKERMANN et al, 2018).

A maior parte da literatura referente às *TH's* são estrangeiras, por conta disso algumas estatísticas citadas nesse trabalho podem não retratar exatamente a realidade da situação quanto ao espaço no Brasil, todavia, serve como parâmetro base para o estudo.

2.1.2 O problema com o Tamanho das Residências

Hoje, a habitação na Austrália, por exemplo, é classificada como inacessível e insustentável. No entanto, o custo da moradia não é o único aspecto impactante nesta classificação. Cerca de 80% dos australianos vivem em casas, geralmente maiores e com mais quartos do que outros tipos de moradia existentes, tendo em média de três ou quatro quartos (ABS, 2017).

O tamanho médio das famílias diminuiu de 3,1 pessoas em 1976 para 2,6 pessoas entre 2015 e 2016. No mesmo período, a proporção de residências com quatro ou mais quartos aumentou de 17% para 31% e o número médio de quartos por habitação aumentou de 2,8 para 3,2. Assim, a casa australiana média tem mais espaço e quartos que o necessário, e por consequência disso, requer uma quantidade proporcionalmente maior de material e energia para mantê-las. (ABS, 2017).

O problema do tamanho excessivo das casas é, em parte, consequência natural dos estágios do ciclo de vida (MCKINLAY et al, 2016) em que, após os filhos se mudarem das casas dos pais, acabam ficando com cômodos em excesso. Embora quartos extras indiquem uma capacidade de acomodar mais pessoas com conforto razoável, raramente é utilizado desta maneira. Às vezes, as famílias

modificam esses quartos para usos alternativos, como quarto de estudo, escritório, academia ou armazém (*AUSTRALIAN BUREAU OF STATISTICS, 2012*).

Esses aspectos citados, que em parte também se conectam com a realidade de diversas famílias brasileiras, devido ao aumento da densidade demográfica nas grandes metrópoles como São Paulo, Rio de Janeiro, Curitiba etc. (IBGE, 2014), mostram que a discussão apresentada neste trabalho tem uma grande relevância para a população brasileira no geral. Aliado a isso, o elevado custo para se morar nesses grandes centros urbanos, pois o custo de um terreno é muito alto nessas regiões, faz com que as *TH's* sejam uma excelente solução, além de mais sustentável, de menor impacto ambiental e com um custo inferior se comparado às residências maiores.

Em estudos similares ao deste trabalho, os professores da Universidade Tecnológica do Paraná (UTFPR), Eloy Fassi Casagrande Jr., juntamente com a colaboração do professor, Jair Urbanetz Jr., desenvolveram, com auxílio de parcerias público-privada, o Escritório Verde (EV) da UTFPR, em Curitiba, o qual foi pioneiro na utilização da energia solar conectada diretamente à rede de distribuição elétrica.

Em artigo apresentado no Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, os autores informaram que em dezembro de 2011, foi inaugurado o Escritório Verde, uma proposta única no Brasil, de uma edificação sustentável modelo de 150 m². Adotou-se diversas estratégias de sustentabilidade em parceria com mais de sessenta empresas, visando verificar o desempenho destas estratégias, entre elas, a máxima eficiência energética (URBANETZ, JR. *et al.*, 2016).

Além da iluminação natural e do uso de lâmpadas LED, o projeto também optou por um sistema de geração fotovoltaica (FV), como linha mestra para prover energia à edificação, em conjunto com o sistema elétrico da concessionária. (Escritório Verde, 2013).

2.2 SISTEMAS ELÉTRICOS FOTOVOLTAICOS

Este tópico apresenta uma revisão teórica dos aspectos inerentes à tecnologia envolvida na geração de energia elétrica por sistemas fotovoltaicos além

das aplicações, as quais serão necessárias para uma melhor compreensão do tema deste trabalho.

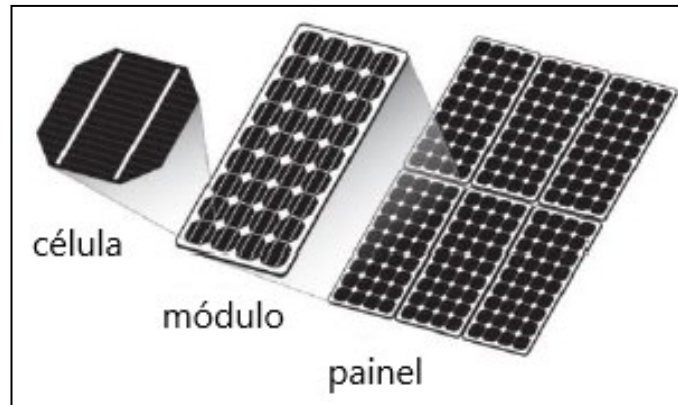
São destacadas as características dos sistemas fotovoltaicos, dando maior ênfase àqueles isolados da rede de distribuição (*off-grid*), bem como os componentes básicos que integram o sistema: módulos fotovoltaicos, baterias, inversores cc-ca e controladores de carga. Serão detalhados os aspectos técnicos e de funcionamento destes componentes, já que os dimensionamentos e especificações serão apresentados em capítulos posteriores.

2.2.1 Energia Solar Fotovoltaica

O fenômeno da energia solar primeiramente foi relatado por Edmond Becquerel, em 1839, quando nos extremos de uma estrutura semicondutora surge o aparecimento de uma diferença de potencial elétrico, quando há a incidência direta de luz. Chegou-se à conclusão, posteriormente, que o efeito de conversão da radiação solar em energia elétrica decorre da excitação dos elétrons desses materiais semicondutores, em particular o óxido de silício, na presença de fótons (efeito fotovoltaico) (PINHO, J. T.; GALDINO, M. A., 2014).

O sistema FV é utilizado há muitos anos em estações espaciais, pela propagação, sem obstáculos (no vácuo), das ondas eletromagnéticas, provenientes do Sol, até incidir nos painéis solares, gerando energia elétrica de forma contínua. Estas ondas, ao atingirem a atmosfera terrestre ocorrem alguns fenômenos de dispersão desses raios solares: a reflexão, além da refração e absorção de parte desta radiação (PEREIRA *et al.*, 2006). Sendo a irradiação solar (medida em Wh/m²), a energia que engloba a radiação proveniente diretamente do Sol acrescida da radiação difundida pelos gases da atmosfera (camada de ozônio, nuvens e vapores d'água, por exemplo). Uma composição destas diferentes formas de irradiação é absorvida pelos painéis solares existentes na superfície da Terra, dependendo do ângulo de inclinação em relação aos raios do Sol, transformando-os em energia elétrica intermitente.

Um conjunto de módulos formam o painel (ou arranjo) fotovoltaico, conforme Figura 3.

Figura 3 – Hierarquia de um painel solar

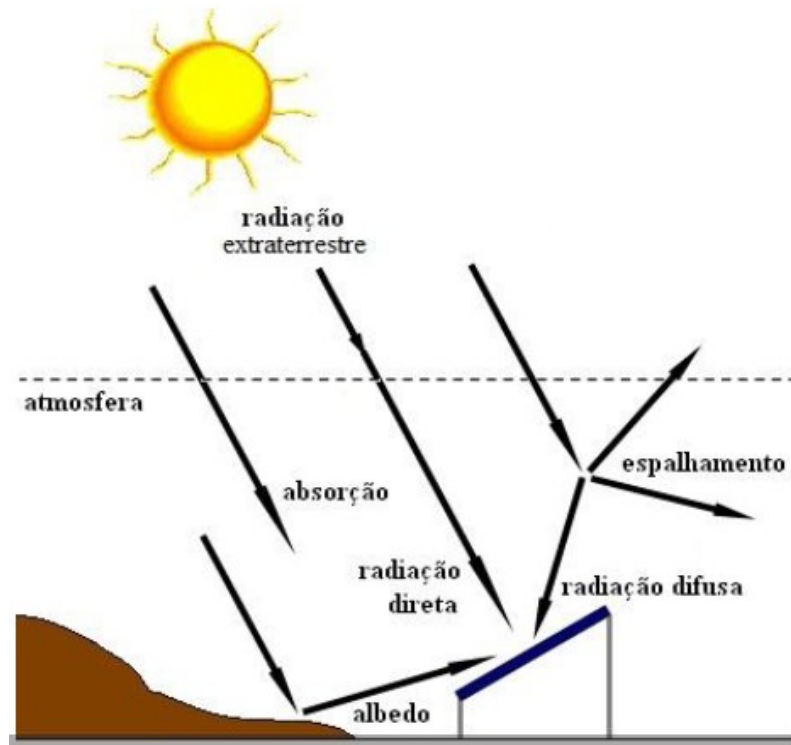
Fonte: Adaptado de AFROUZI *et al*, 2013

Ao se conectar esses módulos em série, amplia-se a tensão de geração do conjunto, e em paralelo, aumenta-se a corrente. Na sequência são utilizados outros equipamentos conectados àqueles necessários para a correta captação, armazenamento, conversão e distribuição desta energia, resultando no que se denomina de sistema fotovoltaico, mais bem exposto em tópico posterior.

2.2.1.1 Componentes da radiação solar

Do total de radiação solar que entra na atmosfera, apenas uma parcela atinge a superfície terrestre. Nesse caminho, ocorrem alguns fenômenos conhecidos por reflexão, difusão, entre outros, em que uma parcela é reduzida e outra é somada a quantidade de energia absorvida por estas superfícies, como pode ser observado na Figura 4.

Figura 4 – Componentes da radiação solar



Fonte: PINHO, J. T. e GALDINO, M. A., 2014

Na imagem é possível notar que na superfície do módulo fotovoltaico, há absorção de uma soma das parcelas de radiação refletida em meios materiais (solo, árvore, edifícios, etc), com parcelas da radiação difusa - originalmente proveniente de uma direção e que, por entrar em meios de diferentes densidades atmosféricas (vapores d'água, por exemplo), é desviada para outra direção, e por fim, a radiação direta. Assim, a soma destas frações que atingem o painel solar deve ser considerada nos dimensionamentos de painel fotovoltaico.

Um importante parâmetro mostrado na Figura 6, que deve ser considerado na implantação de um sistema fotovoltaico é a inclinação do painel em relação ao plano terrestre. Dependendo do ângulo de incidência da radiação solar na terra, a radiação pode variar de acordo com a posição geográfica (latitude e longitude). De acordo com Vera (2009), a eficiência de um módulo fotovoltaico com inclinação zenital igual à latitude do local de instalação é maior em relação a módulos que permanecem instalados no plano horizontal.

Ainda deverá ser considerado que, para sistemas isolados da rede, deve-se dar prevalência para o pior caso, ou seja, meses com a mais baixa irradiação solar, o que ocorre nos meses de inverno. A partir dessa informação, a inclinação terá um

ajuste que considerará um fator de correção ou fator de ajuste para essa nova inclinação.

2.2.2 Sistemas Fotovoltaicos

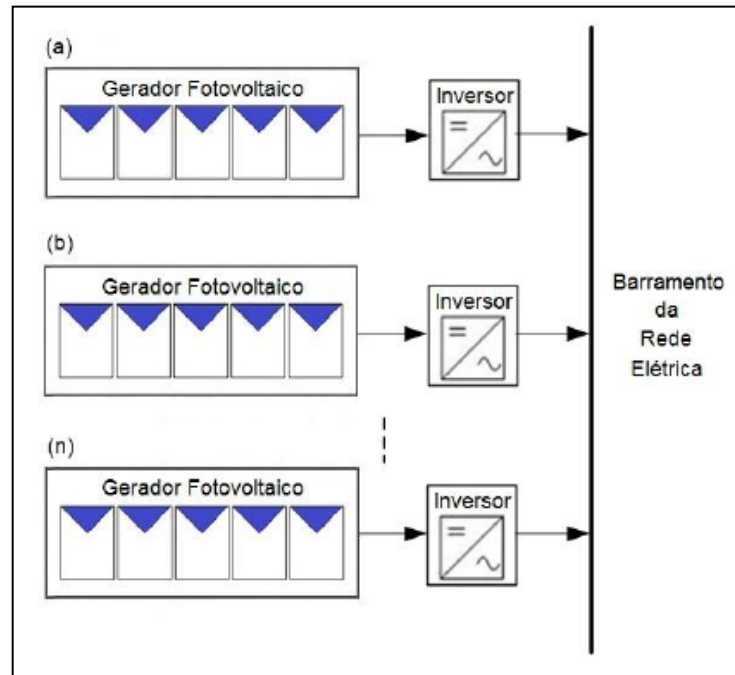
Segundo Pinho e Galdino (2014), existem duas categorias de sistemas fotovoltaicos: Sistemas Conectados à Rede Elétrica (SFCR) e Sistemas Autônomos, também denominados de *off-grid*, isolados, ou ainda de *stand-alone*. Ambos podem operar utilizando apenas a fonte fotovoltaica ou ainda combinada com outras fontes de geração de energia, nestes casos, denominados de sistemas híbridos.

O sistema *off-grid*, será considerado de maior relevância para o desenvolvimento deste estudo, devido às características dos possíveis locais de implantação propostos para a *Tiny House*, podendo ser uma construção aplicável tanto em centros urbanos como em áreas remotas.

2.2.2.1 Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFCR)

O SFCR é utilizado em locais que já possuem rede de distribuição convencional interligado ao sistema elétrico. Atualmente, a energia gerada por esse sistema tem a finalidade de ser consumida diretamente pela carga local, ou como exportação para o sistema elétrico. Nesse caso, o envio do excedente de energia gerada para a rede, em relação ao consumido no momento da geração, é utilizado pela concessionária para fornecer a outros consumidores. Posteriormente, esse excedente é compensado em valor de créditos de energia para até 60 meses subsequentes, a ser utilizado na unidade geradora ou a uma outra unidade que seja de propriedade do gerador, reduzindo dessa forma, consideravelmente o custo com energia elétrica (VILLALVA, 2012). Nesse caso, segundo o mesmo autor, é indispensável o uso de inversores que satisfaçam às exigências de qualidade e segurança da energia entregue pelo gerador fotovoltaico ao sistema elétrico integrado à rede, conforme Figura 5.

Figura 5 - Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede



Fonte: PINHO, J. T. e GALDINO, M. A., 2014

De acordo com a Figura 7, os diversos SFCRs dispensam o uso de acumuladores, pois não há intermitência de fornecimento de energia elétrica em relação à falta de sol, isto ocorre mesmo durante o período noturno, ou devido a dias com baixa irradiação solar em função do clima ou estações do ano. Isto ocorre porque este tipo de sistema é associado ao fornecimento de energia da rede elétrica, ou seja, obtém-se fornecimento de energia de forma contínua e não intermitente.

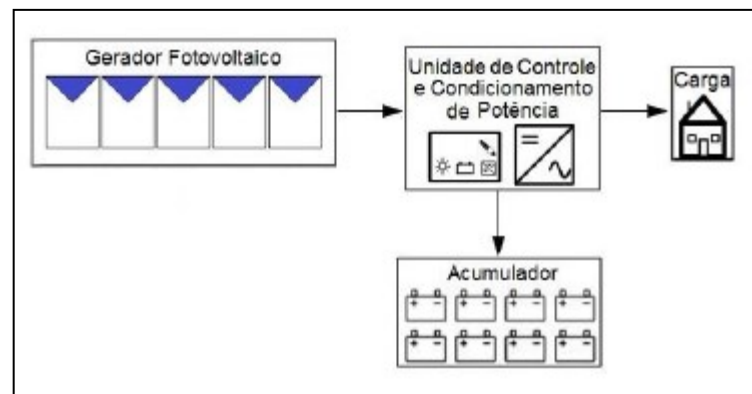
2.2.2.2 Sistemas Fotovoltaicos Isolados (SFI)

Diferentemente do sistema apresentado anteriormente, para Pinho e Galdino (2014), o SFI é utilizado comumente como Sistemas Fotovoltaicos Domiciliares (SFD), principalmente em regiões onde a rede de distribuição integrada de energia não foi instalada, devido a distâncias dos centros urbanos. Acompanhando esta afirmação, Shayani (2006), indica que este sistema tem como característica a necessidade de um dispositivo acumulador de energia, para que seja possível a

continuidade de fornecimento, especialmente a partir do momento em que o Sol se põe e por consequência, é interrompida a geração de energia.

O acúmulo de energia mencionado pode ser feito por diferentes meios, dependendo de qual a necessidade de consumo noturno do usuário. Assim, é possível fazer o acúmulo de energia gravitacional com água acumulada em reservatório superior, acúmulo de ar comprimido, e outros; já, para uso de equipamentos elétricos, o mais utilizado e recomendado é o banco de baterias, conforme Figura 6.

Figura 6 - Sistema Fotovoltaico Isolado



Fonte: PINHO, J. T. e GALDINO, M. A., 2014

Portanto, será necessário considerar espaço físico no protótipo para as baterias de armazenamento da energia elétrica.

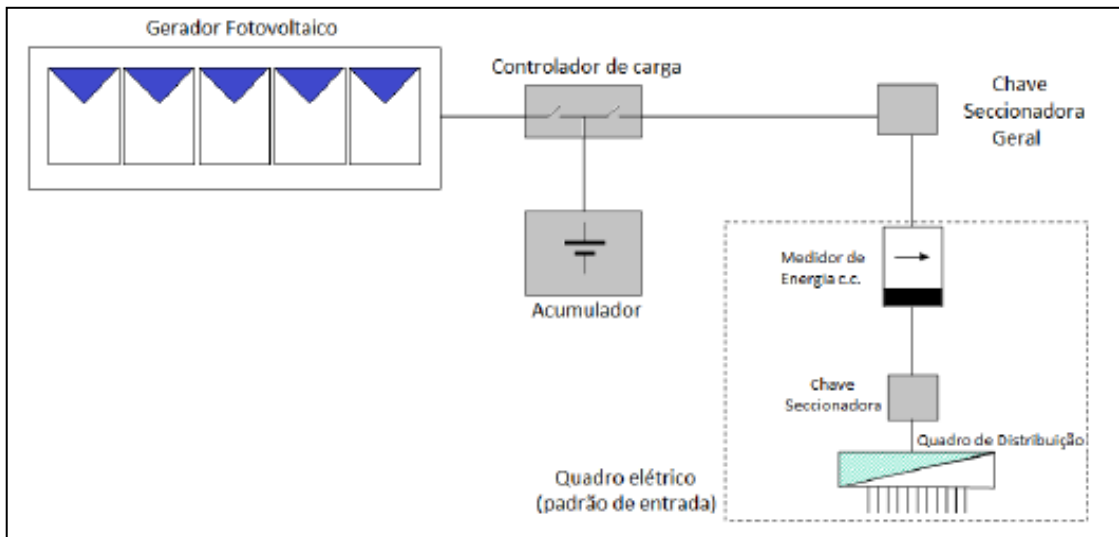
O SFI é dividido em sistemas individuais ou minirredes. Conforme “Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos”, o primeiro é destinado a geração exclusiva para uma única unidade consumidora, enquanto no segundo caso, a geração é compartilhada entre mais de uma unidade consumidora, geralmente localizadas próximas umas das outras para maior aproveitamento do sistema.

Ainda, no sistema isolado, são possíveis outras três formas de fornecimento de energia: apenas em corrente contínua (cc), Figura 7.

Segundo apresentado neste mesmo manual, o sistema que possui um melhor aproveitamento de eficiência e qualidade, além de possibilitar diâmetros de cabeamento elétrico menores e acesso a equipamentos de uso final com maior disponibilidade no mercado, é aquele com fornecimento integralmente em ca. Assim,

será levado em conta esse entendimento para o desenvolvimento deste trabalho, adotando-se o sistema isolado e com fornecimento exclusivamente em corrente alternada.

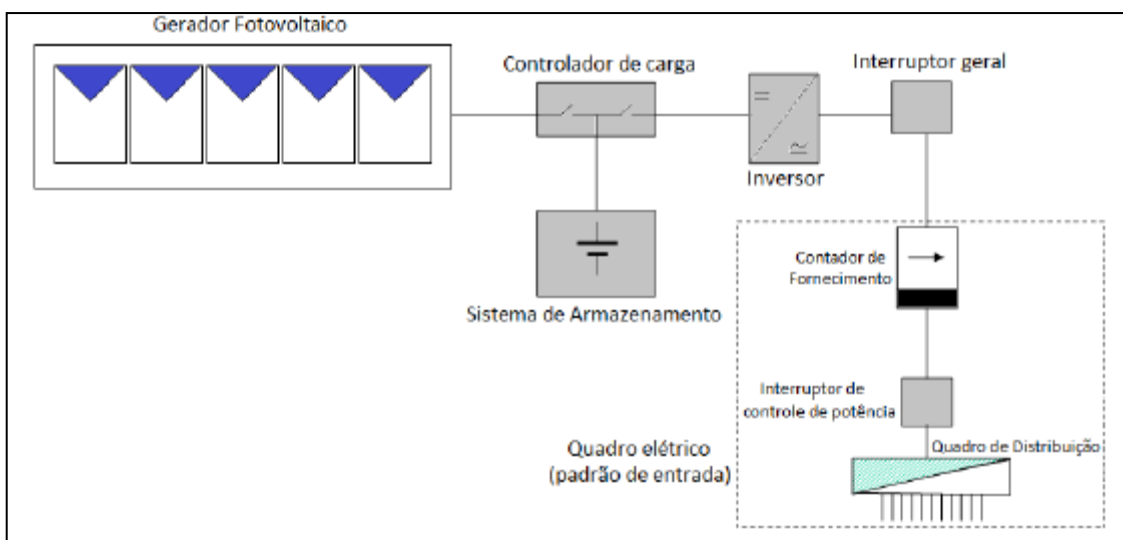
Figura 7 - Fornecimento de energia, exclusivamente em cc



Fonte: PINHO, J. T. e GALDINO, M. A., 2014

Em corrente alternada (ca), Figura 8.

Figura 8 - Fornecimento de energia, exclusivamente em ca

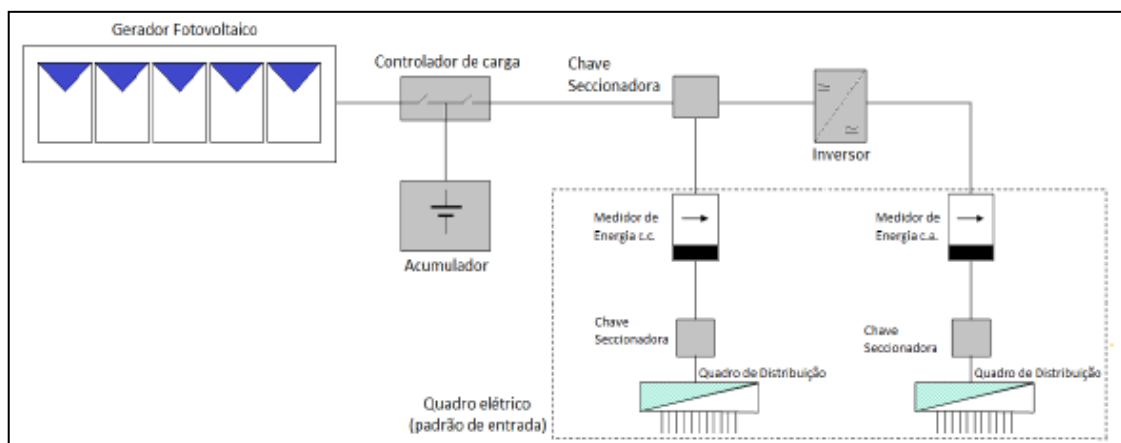


Fonte: PINHO, J. T. e GALDINO, M. A., 2014

Ainda, é necessário o controle e condicionamento de potência, realizados por meio do uso de controlador de carga e inversor, para então ser utilizado no ponto de consumo.

Em ambas cc e ca, Figura 9.

Figura 9 - Fornecimento de energia em cc e ca



Fonte: PINHO, J. T. e GALDINO, M. A., 2014

2.2.3 Principais Componentes do Sistema Fotovoltaico Isolado

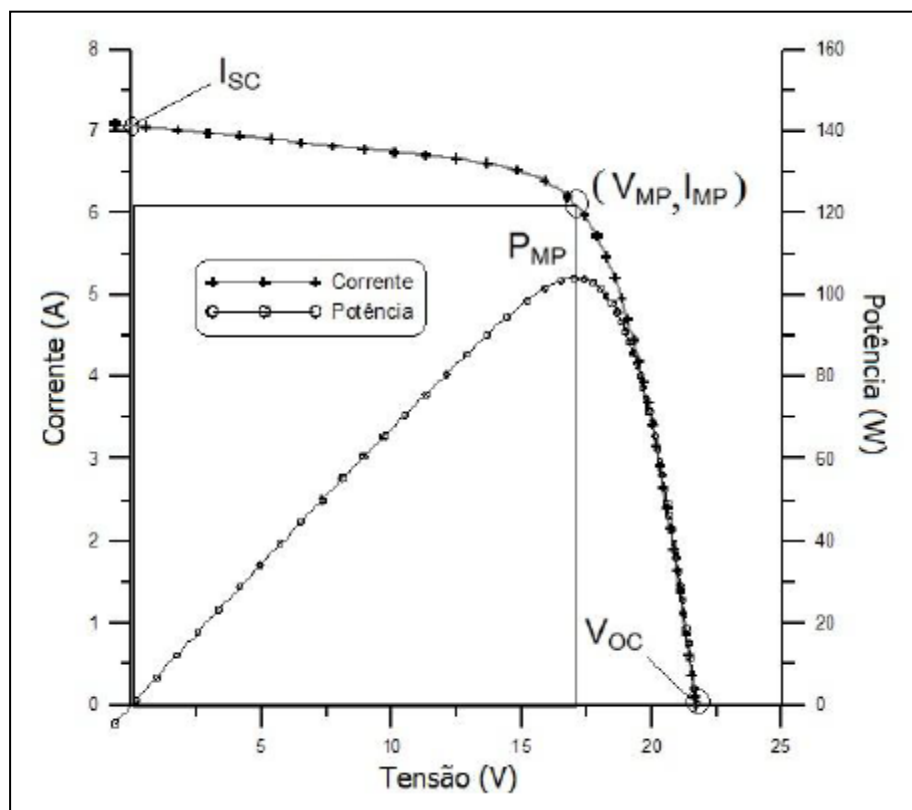
O SFI é composto por três partes principais, a geração (painel fotovoltaico), o condicionamento e controle de potência, o qual fazem parte o controlador de cargas, o inversor, além de outros dispositivos de supervisão e controle, e finalmente, o armazenamento constituído pelo banco de baterias.

2.2.3.1 Módulos fotovoltaicos

Como mencionado, o módulo fotovoltaico, em relação ao painel, é um componente unitário do bloco de geração. A partir das características de fabricação, esse dispositivo poderá apresentar diferentes níveis de tensão e de corrente nominal. A Figura 10, expõe o traçado de uma curva característica corrente-tensão (I-V), associada a uma curva P-V, de um módulo FV com potência nominal de 100 *Watt*-pico (Wp). Nele são registrados, por meio de ensaios em laboratório, utilizando

uma fonte de tensão variável para coletar pares de dados de tensão e de corrente, no qual é possível observar os valores desde a tensão com o módulo desconectado, chamado de tensão de circuito aberto (V_{oc}), variando-a até o ponto de corrente de curto-circuito (I_{sc}), ao utilizar um amperímetro nos terminais desse módulo.

Figura 10 - Exemplo de curva característica I_{xv} associada a uma curva P_{xV}



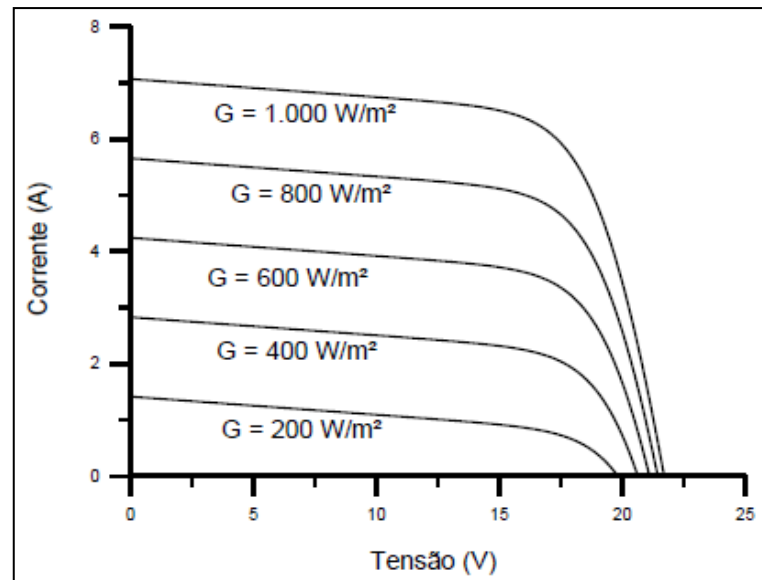
Fonte: PINHO, J. T. e GALDINO, M. A., 2014

É possível também verificar no gráfico, a curva P-V, a qual é traçada pelo produto entre a tensão e a corrente elétrica, atingindo o valor máximo no ponto de máxima potência (P_{MP}) ou potência de pico. Para esse ponto é correlacionada a curva característica I-V com os pontos de máxima tensão (V_{MP}) e corrente de máxima potência (I_{MP}); sendo esse ponto ótimo (P_{MP}) de difícil permanência prolongada na prática. Isso ocorre, pois esses parâmetros citados compõem as

características do painel solar utilizado, ensaiadas em laboratório e sob determinadas condições de 1kW/m^2 e temperatura (25°C) (CEPEL, 2014).

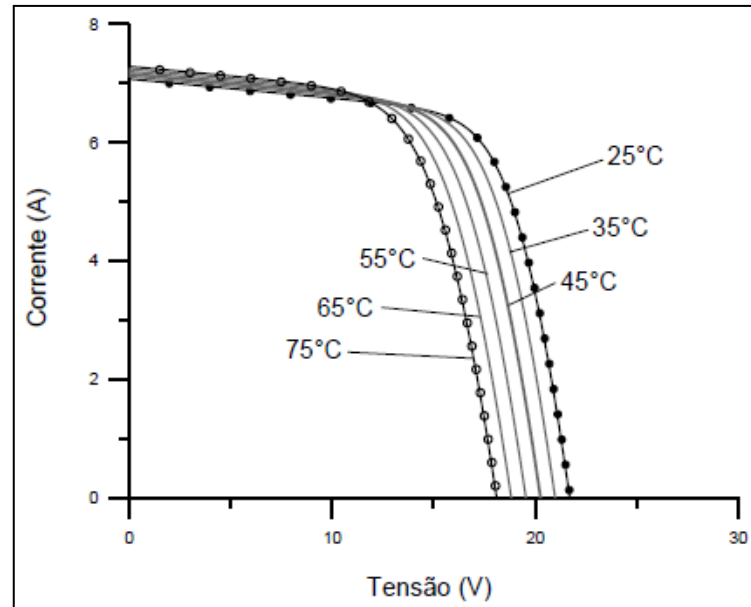
Esta afirmação corresponde ao apresentado por Shayani (2006), o qual declara que para uma aplicação real a temperatura de trabalho, para esta irradiância padronizada de ensaio, é bem mais elevada, implicando em não atingimento das especificações do mesmo, assim como ocorre com a radiação solar, que ao variar ao longo do dia, altera-se I e V , conforme pode ser notado na Figura 11 e 12.

Figura 11 - Curva característica I-V para variação de irradiação solar



Fonte: PINHO e GALDINO, 2014

Figura 12 – Curva característica IxV relativo à variação de temperatura

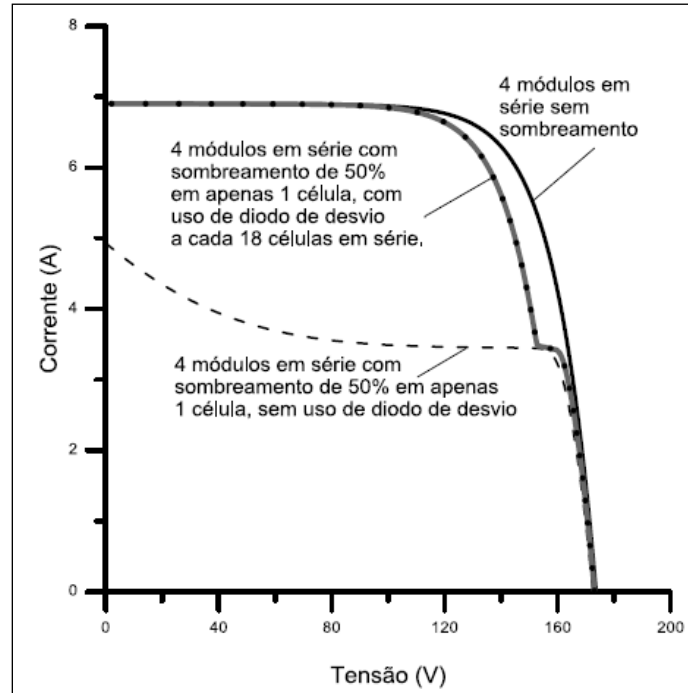


Fonte: PINHO e GALDINO, 2014

Acompanhando o observado, IST (2004) manifesta que a redução do ponto P_{MP} do módulo, provoca uma perda de eficiência do mesmo, apontando que a maior eficiência ocorre em baixas temperaturas.

CEPEL/CRECESB (2014) atesta ainda que, a corrente nominal do sistema FV ligado em série é afetada diretamente pelo sombreamento de células, Figura 13, que compõem um módulo fotovoltaico, limitando a corrente do módulo pela da célula sombreada.

Figura 13 – Curvas I-V para 4 módulos em série



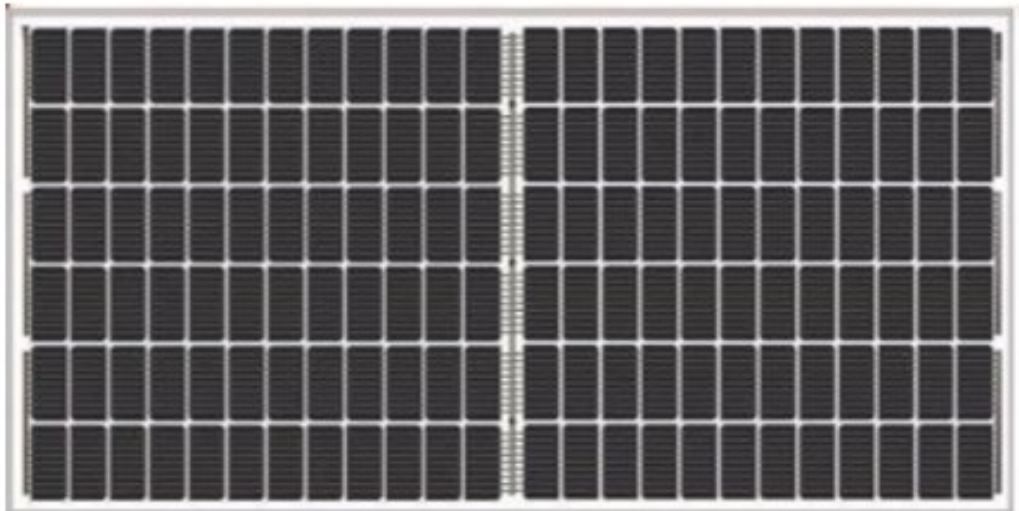
Fonte: PINHO e GALDINO, 2014

Atestando os dados apresentados, afirma-se que na prática os módulos possuem diferentes respostas quanto ao sombreamento, dependendo das características de fabricação, dado que já possuem diodos de derivação, os quais induzem a corrente a desviar da célula sombreada, evitando-se assim prejudicar a eficiência de todo o conjunto de células ou módulo.

A partir dos principais aspectos que envolvem o componente de geração elétrica do sistema FV, a Figura 14, apresenta as características do módulo fotovoltaico selecionado, que irá servir de base para o dimensionamento do painel solar da *tiny house* em construção.

Definido o modelo dos módulos que serão utilizados nesse estudo, no capítulo de metodologia será determinado o procedimento de cálculo da carga disponível para ser consumida na *Tiny House* e que permitirá ser suprida pelo sistema FV.

Figura 14 – Módulo Fotovoltaico e dados técnicos, modelo FG LONGI HALF MONO



Dados Técnicos do Módulo Fotovoltaico	
Características Elétricas	
Fabricante	Longi Solar
Modelo	FG LONGI HALF MONO
Tipo de Célula	Silício Monocristalino
Máxima Potência [Wp]	435
Tensão de Máxima Potência [V]	40,9
Tensão de Circuito Aberto [V]	48,7
Corrente de Máxima Potência [A]	10,64
Corrente de Curto-Circuito [A]	11,39
Dimensões	
Largura [mm]	1038
Altura [mm]	35
Comprimento [mm]	2094
Peso [kg]	22,8
Preço [R\$]	1.080,00

Fonte: ENERGIA TOTAL, 2020

Então, pelo método exposto no Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos, do Pinho e Galdino (2014), será apresentado o cálculo para determinar o número de módulos possíveis e necessários, para suprir a demanda, e os outros elementos constituintes.

2.2.3.2 Acumuladores de energia

Segundo IST (2004), a função dos acumuladores nos sistemas SFI é a de armazenar a energia produzida pelo gerador fotovoltaico e entregá-la à carga nos

momentos em que há impossibilidade de geração: durante a noite ou baixa incidência solar em dias nublados.

As principais características que devem ser consideradas na escolha da bateria são: menor custo, reduzida manutenção e autodescarga, além de maior eficiência energética e tempo de vida útil (MARIANO e URBANETZ, 2018). Para melhor compreensão, alguns termos mais relevantes utilizados neste estudo e presentes no “Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos” (PINHO e GALDINO, 2014) serão apresentados:

i) ciclo: é a sequência carga-descarga de uma dada bateria até certa profundidade de descarga;

ii) descarga: é a remoção da corrente elétrica da bateria mediante a conversão de potencial eletroquímico em energia elétrica. Já o processo de auto descarga ocorre, espontaneamente, quando a bateria não está em uso;

iii) profundidade de Descarga: significa quanto da capacidade nominal da bateria, percentualmente, foi retirado a partir do estado de carga plena;

iv) temperatura de operação: as baterias são projetadas para trabalharem a 25°C. Portanto, temperaturas mais baixas reduzem significativamente a capacidade, implicando na redução do número de ciclos devido ao acréscimo na perda de água durante a vida útil da bateria e,

v) vida útil: é o período ou o número de ciclos que a bateria suporta até manifestar as primeiras falhas.

Outra importante característica das baterias se refere a serem ou não recarregáveis, que por óbvio, as recarregáveis são as utilizadas em sistemas fotovoltaicos.

Podem ainda ser classificadas como: de tração ou estacionária, sendo esta última projetada para ciclos diários leves com taxas de descarga reduzidas e podem suportar eventualmente descargas profundas, quando não houver geração, e são as mais indicadas para a aplicação em sistemas FV.

A Figura 15, apresenta os detalhes e dados técnicos da bateria estacionária de 12V / 200Ah, da fabricante Mora, que será utilizada para estudo no sistema fotovoltaico do protótipo.

Figura 15 – Bateria Estacionária e dados técnicos modelo 12MS234, da fabricante Moura



Dados Técnicos do Acumulador de Energia	
Características Elétricas	
Fabricante	Moura
Modelo	12MS234
Tensão Nominal [V]	12
Capacidade Nominal (20h) [Ah]	220
Tensão de Carga [V]	14,4
Dimensões	
Largura [mm]	246
Altura [mm]	272
Comprimento [mm]	517
Peso [kg]	57
Preço [R\$]	1.399,00

Fonte: NEOSOLAR, 2020

Assim, essas informações técnicas servirão de base para o dimensionamento do banco de baterias.

A metodologia de dimensionamento é a apresentada por Pinho e Galdino (2014).

2.2.3.3 Inversores CC-CA

Conforme CEPEL/CRECESB (2014), o inversor é o dispositivo que tem por função principal converter a energia elétrica de corrente contínua (cc) para corrente

alternada (ca), podendo ainda ser genericamente chamado de conversor cc-ca. Em um sistema fotovoltaico isolado da rede, as correntes em cc são originadas dos painéis fotovoltaicos e/ou das baterias, e então, esse equipamento fornecerá adequada amplitude, frequência e harmônico na tensão de saída, compatíveis com as cargas a serem alimentadas.

Basicamente, são divididos em inversores SFI (sistemas FV isolados) e inversores SFCR (sistemas FV conectados à rede). A principal diferença entre ambos é que o SFCR necessita obter características específicas de controle de qualidade e segurança, exigidos pelas concessionárias de distribuição de energia, antes de injetar na rede. Inversores monofásicos são geralmente adequados para aplicações de baixa potência, com até 5 kWp e acima de 5kWp os inversores trifásicos são mais adequados (CEPEL/CRESESB, 2014).

Os inversores usualmente operam com tensões de entrada de 12, 24 e 48 V_{CC} (*Volts* em corrente contínua), que são convertidos em 120 ou 240 V_{CA} (*Volts* em corrente alternada), na frequência de 60 ou 50 Hertz. Para selecionar o inversor ideal para o sistema FV, é necessário considerar tanto a tensão de entrada cc quanto a tensão de saída ca, considerando além da potência, também a variação de tensão, frequência e forma de onda.

Algumas características que devem ser consideradas na especificação de um inversor, de acordo como o CEPEL/CRESESB (2004), são:

i) eficiência: é a relação entre a potência de saída e a de entrada do inversor;

ii) tensão de entrada: deve ser compatível com os requisitos de entrada do inversor. Caso ocorra descarregamento da bateria, reduzindo a tensão abaixo da tensão mínima especificada, a maioria dos inversores se desligará automaticamente;

iii) tensão de saída: a tensão de saída da maioria dos inversores é regulada para atender as características das cargas que serão alimentadas;

iv) registro de dados operacionais: a maioria dos fabricantes oferece funções de aquisição e de registro de dados, integrados nos próprios dispositivos ou fornecidos em separado. Os dados podem ser lidos através de painéis de visualização e o registro de dados cobre, geralmente, os valores de tensão e corrente, de entrada e saída, e tempo de operação.

No estudo proposto neste trabalho, será dimensionado utilizando-se o método apresentado pelo Manual de Engenharia de Pinho e Galdino (2014) e será considerado o inversor de onda senoidal, apresentado na Figura 16.

Figura 16 – Inversor onda senoidal modificada e dados técnicos, modelo Lucky Amazonia



Dados Técnicos do Inversor CC-CA	
Características Elétricas	
Fabricante	Lucky Amazonia
Modelo	4000W
Potência Nominal de Saída [W]	4000
Tensão de Entrada CC [V]	12-24
Tensão de Saída CA [V]	110-220
Frequência [Hz]	60
Eficiência [%]	90
Dimensões	
Largura [mm]	200
Altura [mm]	76
Comprimento [mm]	320
Preço [R\$]	979,00

Fonte: MERCADO LIVRE – 1, 2020

Por fim, será apresentado o equipamento de controle de tensões geradas pelo painel fotovoltaico.

2.2.3.4 Controladores de carga

Conforme o “Manual sobre Tecnologias, Projeto e Instalação” referente à energia fotovoltaica, publicado pelo Instituto Superior Técnico, IST (2004), a tensão nominal do módulo fotovoltaico deve ser superior à tensão de carga dos armazenadores de energia. Assim, para temperaturas maiores que as padrão, esta tensão seja satisfatoriamente elevada a fim de que possibilite o completo carregamento dos acumuladores, dado que ocorrem perdas de tensão no sistema, normalmente, restrita a cerca de até 2%. Baixas temperaturas proporcionam tensão de saída mais elevada, podendo-se exceder o limite máximo da tensão de carga da bateria. Por este motivo, o controlador de carga mede a tensão da bateria e a protege contra eventuais sobrecargas que possam ocorrer.

A Figura 17 apresenta o dispositivo controlador de carga, de 12V / 24V e 100A, adquirido por esta universidade com o propósito de utilização no sistema FV da *Tiny House* em estudo.

Figura 17 – Controlador de Carga e dados técnicos, modelo 110A MPPT



Dados Técnicos do Controlador de Carga	
Características Elétricas	
Fabricante	MPPT SOLAR
Modelo	110A MPPT
Potência Máxima em 12V [W]	1200
Potência Máxima em 24V [W]	2400
Tensão Nominal CC [V]	12/24
Corrente de Carga CC [A]	100
Tensão Máxima do B. Baterias 12V [V]	18
Frequência [Hz]	60
Eficiência [%]	99
Dimensões	
Largura [mm]	95
Altura [mm]	40
Comprimento [mm]	170
Preço [R\$]	290,00

Fonte: MERCADO LIVRE – 2, 2020

Além da proteção contra sobrecargas, outras tarefas executadas por esses dispositivos incluem a prevenção de descargas indesejáveis além de fornecer informações sobre o estado da carga.

Quando é ultrapassada a tensão máxima de carga, o controlador de cargas faz a desativação do módulo fotovoltaico, de duas principais formas: estabelecendo um curto-circuito no módulo fotovoltaico por meio de um controlador *shunt*; ou a partir do ajuste da tensão por meio de um controlador em série. Este equipamento será dimensionado também utilizando a metodologia exposta no Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos, de Pinho e Galdino (2014).

2.2.3.5 Demais componentes

Outros componentes que geralmente fazem parte do sistema fotovoltaico, como por exemplo, cabos elétricos, estrutura de fixação, proteção entre outros.

A parte executiva da estrutura de fixação do painel fotovoltaico não será estudada em detalhes, sendo apenas citada, dado que não faz parte do objetivo principal desse estudo.

Para esta parte do dimensionamento, utilizar-se-á a metodologia apresentada nas notas de aula da pós graduação em Sistemas Fotovoltaicos, da UTFPR, ministrado pelo Prof. Jair Urbanetz Jr.

2.3 MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DOS COMPONENTES DO SFI

Será aqui apresentado o método de dimensionamento de sistemas fotovoltaicos isolados da rede elétrica, que servirá de base para a determinação do sistema a ser utilizado para a *tiny house*.

Dá-se início ao dimensionamento desse sistema com a determinação de consumo das cargas elétricas, cuja metodologia de dimensionamento será apresentada neste capítulo e em seguida a metodologia também dos principais equipamentos.

2.3.1 Consumo Médio Diário de Energia Elétrica

A previsão de consumo médio diário de energia é necessária para estabelecer o quanto de carga elétrica é consumida no uso dos equipamentos, levando em conta o tempo de utilização deles. Portanto, é imprescindível, nesse caso específico, que os habitantes utilizem de forma bastante racional, considerando-se um modo de vida minimalista.

Há também que se considerar que em Curitiba, ocorrem diferentes consumos em meses frios e meses quentes, que serão melhor especificados adiante no trabalho.

Para esses cenários, o método de cálculo, apresentado por Pinho e Galdino (2014), do consumo de energia elétrica segue o mesmo procedimento. Assim, a seguinte equação será utilizada para calcular o consumo dos equipamentos em questão:

$$C_{\text{TotalCargas}} [Wh / dia] = Pot [W] \times t [h / dia] \times FD \quad (1),$$

em que:

$C_{\text{TotalCargas}}$ é o consumo de energia total diário, em W.h/dia, somando-se o consumo relativo diário, de 2^a feira a 6^a feira, e o consumo relativo aos sábados e domingos. Dividindo-se por 7 para se chegar ao consumo médio diário;

Pot, a potência do equipamento em *Watts*;

t, o tempo estimado para utilização diária dos equipamentos, em horas;

F.D, este fator multiplica o resultado obtido do consumo do equipamento, pela simultaneidade, mas para esse trabalho será sempre 1, dado que será levado em conta o consumo estimado como o real da casa.

2.3.2 Método Para Dimensionamento do Painel Fotovoltaico

Preliminarmente, é necessário que se apure o consumo das cargas elétricas para todos os cenários de consumo possível. Determina-se

corretamente o tempo de uso dos equipamentos ao longo de uma semana e obtém-se a média diária posteriormente.

Após obtido esse valor para cada equipamento isoladamente, é necessário que se some todos os consumos individuais, de modo que se obtenha o Consumo Médio Diário Total, em W.h/dia. Além disso, deve-se somar as potências totais de cada equipamento instalado no local do dimensionamento, pois este resultado será útil no dimensionamento do inversor, posteriormente.

Para determinar a energia ativa necessária diariamente, considera-se o tipo de carga, que nesse caso, serão somadas todas as cargas provenientes de corrente alternada, segundo a seguinte equação (2):

$$L [Wh/dia] = \frac{L_{CA} [Wh/dia]}{\eta_{Bat} \times \eta_{Inv}} \quad (2),$$

em que:

L é a energia ativa necessária;

L_{CA} , a energia ativa necessária especificamente para cargas em corrente alternada (em Wh/dia);

η_{Bat} , a eficiência global da bateria (%);

η_{Inv} , a eficiência do inversor (%).

Esta operação deverá ser calculada mensalmente, de acordo com o modo de consumo para cada mês. Após a obtenção da quantidade de energia consumida diariamente, em cada mês, deve-se calcular o valor da potência do painel fotovoltaico (em WP), de acordo com a equação (3):

$$P_m [Wp] = \max_{i=1}^{12} \left(\frac{L_i [Wh/dia]}{HSP_i \times Red_1 \times Red_2} \right) \quad (3),$$

em que:

P_m é a potência do painel FV (em Wp);

L_i é a quantidade diária de energia consumida no mês i (em Wh/dia);

HSP_i é a quantidade de hora de sol pleno no mês i (em h);

Red_1 fator de redução 1 do painel fotovoltaico, relativo à degradação ao longo do tempo, sujeiras, perdas por temperatura etc. (valor 0,75);

Red_2 fator de redução 2, relativo ao restante do sistema, como fiação, controlador, diodos etc. (valor 0,9).

Após esse cálculo para todos os 12 meses de um ano, seleciona-se o maior dos valores resultantes, como o valor de P_m . O mês que dá retorno a esse valor, chama-se de mês crítico, nome dado a esse método de dimensionamento.

Determina-se também a tensão para o sistema, podendo ser escolhido 12V, 24V ou 48V. Esta escolha influenciará a quantidade de módulos fotovoltaicos em série, quantidade de baterias em série, seção transversal dos condutores, entre outros.

Para a determinação da quantidade de número de módulo em série, portanto, deve-se utilizar a equação (4), que segue:

$$N_{MS}[Wp] = \frac{1,2 \times V_{SIST}}{V_{MP}} \quad (4),$$

em que:

N_{MS} é o número de módulos fotovoltaicos, em série;

V_{SIST} é a tensão, em corrente contínua, do sistema (em V);

V_{MP} é a tensão de máxima potência do módulo fotovoltaico, em altas temperaturas (em V).

Para determinar a quantidade de módulos em paralelo, deve-se utilizar a equação (5), também descrita no Manual de Engenharia de Sistemas Fotovoltaicos, o qual apresenta que:

$$N_{MP}[Wp] = \frac{P_M}{V_{SIST} \times I_{MP}} \quad (5),$$

em que:

P_M é a potência do painel visto na equação (3);

N_{MP} é o número de módulos fotovoltaicos, em paralelo;

I_{MP} é a corrente do módulo fotovoltaico, no ponto de máxima potência (em A).

2.3.3 Método Para Dimensionamento do Banco de Baterias

Considerando-se a energia requerida pelo sistema, corrigida pelos rendimentos do banco de baterias e do inversor, que foi determinado no dimensionamento do painel fotovoltaico, pela equação (2).

Em posse do maior valor obtido, em relação aos diferentes consumos das cargas ao longo do ano, calcula-se então, a capacidade do banco de baterias, em Wh, para o regime de descarga em 20 horas (CB_{C20}) e CBI_{C20} , em Ah. Esses dois cálculos são feitos por meio das equações (6) e (7), a seguir:

$$CB_{C20}[Wh] = \frac{L_m \times N}{P_d} \quad (6),$$

$$CBI_{C20}[Ah] = \frac{CB_{C20}}{V_{sist}} \quad (7),$$

em que:

L_m é a energia máxima requerida, equação (2), entre os diversos cenários de uso de carga para o mesmo local, ou seja, o pior caso;

N é o número de dias de autonomia;

P_d é a profundidade de descarga da bateria, considerando a autonomia (50% a 80%);

V_{SIST} é a tensão, em corrente contínua, do sistema, utilizado também para o dimensionamento dos módulos fotovoltaicos (em V).

Em seguida, enfim é calculado o número de baterias em paralelo (NBP) e em série (NBS), pelas equações (8) e (9), a seguir:

$$N_{BP} = \frac{CBI}{CBI_{BAT}} \quad (8),$$

$$N_{BS} = \frac{V_{SIST}}{V_{BAT}} \quad (9),$$

em que:

CBI_{BAT} é a capacidade da bateria selecionada, em Ah, no mesmo regime selecionado para CBIC20;

V_{BAT} é a tensão nominal da bateria selecionada (em V).

2.3.4 Método para Dimensionamento do Controlador de Carga

Dimensiona-se então o controlador de cargas. Inicialmente, determina-se qual é a corrente máxima do controlador (I_C), tomando por base a corrente de curto-circuito do painel fotovoltaico, que é a mesma do módulo fotovoltaico (I_{sc}).

Portanto, para a determinação da corrente do controlador (I_C), pela equação (10), leva-se em conta uma margem de segurança de 25%, para sobrecargas, como segue a equação a seguir:

$$I_C = (1 + 25\%) \times N_{MP} \times I_{sc} \quad (10)$$

Considerando-se ao número de controladores em paralelo, pela equação (11), atendendo sempre a máxima tensão de operação do controlador de carga, $V_{Cmáx}$ pela equação (12), a seguir:

$$N_{CP} = \frac{I_C}{I_{CTL}} \quad (11),$$

Se $V_{cmáx} > N_{MS} \times V_{OCM}$ (12), então ok!!

em que:

V_{OCM} é a tensão de circuito aberto (*open-circuit*) do módulo fotovoltaico (em V).

2.3.5 Método para Dimensionamento do Inversor

Por último, o inversor deve ser dimensionado levando-se em conta a potência instalada do sistema, se estas cargas possuírem uma boa chance de serem todas utilizadas simultaneamente. No caso, a capacidade do inversor deverá superar esse valor.

2.3.6 Método Para Dimensionamento dos Condutores

Finalizado os dimensionamentos dos equipamentos principais que compõem o sistema fotovoltaico, ainda se faz necessário o dimensionamento dos condutores.

Esses serão responsáveis por conduzir a energia gerada, em corrente contínua, do painel fotovoltaico ao controlador de carga, bem como ao banco de baterias até o inversor. A partir do inversor, os condutores de energia encaminharão a corrente, já transformada em corrente alternada, para as cargas de consumo.

Determina-se, portanto, a área de seção transversal dos condutores S_{cond} (em mm^2), por meio da equação (12) que se segue:

$$S_{\text{cond}} = 2 \frac{l \times P \times 0,0178}{V^2 \times \Delta V} \quad (12),$$

em que:

l é a comprimento (em m) do trecho calculado: Trecho 1 (Painel FV – Controlador de Cargas – Banco de Baterias), Trecho 2 (Banco de Baterias – Inversor) e Trecho 3 (Inversor – Cargas);

P é a carga instalada (em W) no sistema elétrico em dimensionamento;

V é a tensão de operação, em V, do trecho do sistema (cc) ou (ca);
 ΔV é a queda de tensão admitida para o sistema (em %).

2.4 VIABILIDADE ECONÔMICA

2.4.1 Retorno Sobre Investimento (*Payback*)

O *payback* é uma ferramenta amplamente utilizada no mundo dos negócios para auxiliar nas tomadas de decisões, por conta do fácil entendimento e aplicabilidade.

Segundo Bruni e Famá (2003), o tempo necessário para recuperar o investimento é geralmente medido pelo retorno sobre investimento, ou *payback* é definido por Gitman (2002) como o período necessário para recuperar o capital investido, ou seja, é o tempo necessário para que os lucros de um investimento consigam cobrir o capital empregado.

Para que um investimento seja considerado como viável, é necessário que o *payback* calculado esteja abaixo do tempo de vida útil desse projeto.

2.4.1.1 Tipos de *payback*

Kuhner e Bauer (1996) afirmam que o melhor plano de investimento é aquele que apresenta o menor tempo de retorno do valor investido. Na análise de investimentos existem dois tipos de *payback*, o simples e o descontado. O simples identifica o número de período em que há retorno do investimento, subtraindo do capital inicial o caixa de “n” períodos, até a liquidação do capital investido.

O *payback* descontado calcula o tempo necessário para recuperar os investimentos, aplicando a taxa mínima de atratividade para descontar o fluxo de caixa gerado pelo projeto.

De forma similar ao *payback* simples, como critério de aceitação de novos projetos, basta ser igual ou menor que o prazo máximo aceito de recuperação do capital investido.

Bruni e Famá (2003) consideram as principais vantagens e desvantagens do *payback* descontado, sendo que as vantagens são:

(A) considera o custo do dinheiro no tempo (onde há a ação da inflação);

(B) o valor pode ser interpretado como o prazo de recuperação do investimento remunerado de acordo com o custo de oportunidade, valores situados além da data do *payback* descontado contribuirão com lucros extras, e

(C) também pode ser interpretado como um ponto de equilíbrio.

As desvantagens intrínsecas ao uso do *payback* descontado são:

(A) não considera todos os capitais do fluxo de caixa, com isso existe a tendência de recusa de projetos mais longos e rentáveis;

(B) não é uma medida de rentabilidade, mede apenas o prazo de retorno sobre o investimento.

O fato de somente analisar o prazo de recuperação do investimento, torna o *payback* uma solução incompleta para Bruni e Famá (2003), já que possui um alcance limitado dos valores financeiros, não sendo capaz de distinguir os números em prazos maiores.

Assunto esse pertinente e necessário para a análise de viabilidade econômica para a aplicação do sistema fotovoltaico a ser apresentado mais detalhadamente no capítulo que se segue.

2.4.2 Método de Cálculo do Retorno Sobre o Investimento (Payback)

Para fins de cálculo do tempo de retorno do investimento e verificação da viabilidade, foi utilizado o *payback* descontado da planilha de *payback* da SIGES do senado federal conforme Figura 18.

Figura 18 - Planilha do SIGES para cálculo de tempo de retorno sobre investimento



Dados de Entrada	
C = Custo total de implantação e manutenção em Reais	
C_i = Custo do insumo - Taxa Inicial	
Q = Quantidade do insumo economizado ao mês ⁽¹⁾	
Pa = Valorização/Desvalorização anual ⁽²⁾	
Pa mensal	
J = Taxa Juros Mensal	

Cálculo do Ponto de Equilíbrio	
Mês do ponto de equilíbrio	
Mês para cálculo do PE	
Valor no Ponto de Equilíbrio	

(1) - Quantidade de insumo economizada por mês, na unidade pela qual o mesmo é taxado, ou seja, kwh para energia, m ³ para água, etc.
(2) - Valores positivos para insumos que possuem tendência de valorização e valores negativos para insumos que possuem tendência de desvalorização.

Projeto: Tiny House
Sistema Sustentável analisado: GERAÇÃO DE ENERGIA ATRAVÉS DE PAINEL SOLAR

Fonte: Os autores, 2020

Nessa Figura 18, estão os dados de entrada e o cálculo do ponto de equilíbrio do investimento, em que:

[C] = é o custo total do investimento ao longo da vida útil;

[C_i] = custo do insumo, ou a economia mensal gerada, usualmente na unidade de R\$/ unidade de consumo;

[Q] = é a economia mensal que é gerada pelo sistema;

[Pa] = é a valorização ou desvalorização do valor de custo do insumo, para fins de cálculo do payback é considerado o valor mensal;

[J] = é a taxa de juros a ser considerada, aplicando o investimento inicial em renda fixa;

[Mês do PE] = calculado pelas iterações do Software;

[Valor no PE] = calculado automaticamente pela planilha.

Para tais cálculos foram considerados no Custo Total do Investimento, a reposição de 4 ciclos da bateria, com o valor reajustado pela inflação, em torno de 3,7%, valor esse ,pouco acima da média anual quando levado em

consideração a variação dela nos últimos 3 anos, considerando a inflação prevista do presente ano até o momento, conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Inflação nos últimos 3 anos

ANO	INFLAÇÃO
2018	3,75%
2019	4,31%
2020	3,01%
MÉDIA	3,69%

Fonte: IBGE, modificado pelos autores, 2020

Para a valorização de custo do insumo “Pa”, foi considerado a média de atualização dos valores nos últimos 5 anos, de 2019 inclusive, a 2015.

Para a Taxa de Juros “J”, considerou-se um investimento em tesouro Selic, e tomado como a média dele nos últimos 3 anos, período em que houve mudança de governo, e se mantém expectativas de juros baixos conforme Tabela 2.

Tabela 2 – Selic média dos últimos 3 anos

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOT
2018	0,58%	0,47%	0,53%	0,52%	0,52%	0,52%	0,54%	0,57%	0,47%	0,54%	0,49%	0,49%	6,24%
2019	0,54%	0,49%	0,47%	0,52%	0,54%	0,47%	0,57%	0,50%	0,46%	0,48%	0,38%	0,37%	5,79%
2020	0,38%	0,29%	0,34%	0,28%	0,24%	0,21%	0,19%	0,16%	0,16%	0,16%	0,16%	0,16%	2,73%
	MÉDIA												4,92%

Fonte: Os autores, 2020

A planilha trabalha com o cálculo do mês do PE, por meio da interação da fórmula de valor futuro com aportes mensais, descontado o valor do investimento inicial ao longo do tempo com uma taxa de juros constante, a equação para o cálculo do tempo de retorno sobre o investimento é resolvida de maneira iterativa, por meio da equação (13):

$$C(1+j)^t = \frac{C_0 \cdot Q \cdot [(1+Pa)^t - 1] \cdot (1+Pa)}{Pa} \quad (13),$$

A Equação 14, não pode ser resolvida de maneira analítica pelos métodos tradicionais, sendo assim, inicialmente se calcula um tempo de retorno inicial “Ri”, utilizando a Equação (14):

$$Ri = \frac{c}{c_0 \cdot Q} \quad (14)$$

Após isso, verifica-se, caso o valor da segunda parte da Equação 14, for maior que a primeira parte, o tempo deve ser reduzido, lembrando que, ao mês do PE deve ser sempre menor ou igual ao tempo de vida útil do sistema implantado, caso contrário o mesmo se torna inviável economicamente.

Para a análise de resultados, foi considerado um tempo de vida útil do sistema de 25 anos, e com 4 reposições do conjunto de baterias ao longo desse tempo.

3 METODOLOGIA

Devido a pandemia do Covid-19 (Sars-CoV-2), esse trabalho que seria prático e envolveria a construção da TH e a montagem e instalação do sistema FV disponível, não foi possível, portanto houve a necessidade de mudança para um estudo teórico, considerando o projeto original da TH, sendo assim, foram feitas alterações que inicialmente não estavam previstas por conta dos materiais que se tinha disponível para o trabalho.

Este capítulo apresenta as características do protótipo, os equipamentos elétricos idealizados para o mesmo e o possível consumo médio diário. Será apresentado também as características da radiação solar para a região, além do procedimento e metodologia para o dimensionamento dos componentes básicos do sistema fotovoltaico e por fim, a metodologia de cálculo do retorno sobre o investimento (*payback*).

3.1 O PROTÓTIPO DE *TINY HOUSE* DA UTFPR-ECOVILLE

Com base nas soluções observadas no Escritório Verde da UTFPR, foi proposto o desenvolvimento de um protótipo de um modelo de residência do tipo *TH* (Figura 19), na disciplina optativa de Construções Sustentáveis, do curso de Engenharia Civil.

Este protótipo foi projetado com uma área aproximada de 15m² (4,80m x 3,24m), com espaço necessário para que um casal pudesse habitá-lo. Na cobertura, será avaliada nesse estudo, a viabilidade de aplicação de sistema de geração de energia elétrica com o objetivo de suprir a demanda da casa.

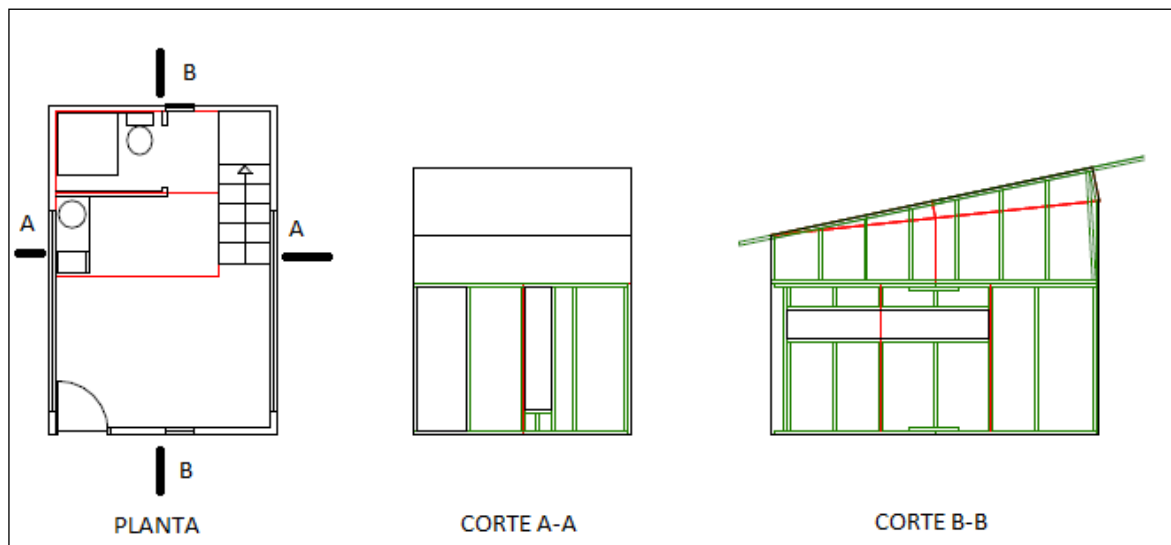
Como já discutido, o modelo de casas do tipo *tiny house* deve possuir um tamanho reduzido (Figura 20), com o objetivo de utilizar o mínimo possível de material na construção, bem como um uso o mais equilibrado possível entre o que a natureza produz e o consumo dos usuários da residência.

Figura 19 – Paredes externas da *Tiny House* sendo colocadas sobre o radier



Fonte: Os Autores, 2019

Figura 20 – Croqui do projeto arquitetônico da *tiny house* – UTFPR – Ecoville



Fonte: Os autores, 2020

Pensando nesses aspectos objetivou-se para o estudo do protótipo apresentado, o uso específico para um casal que passassem boa parte do dia fora de casa (estudando ou trabalhando), retornando para a residência após o

expediente. E, a partir dessas diretrizes, será estudada a composição de cargas da casa.

3.2 AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS E DE UTILIZAÇÃO DO PROTÓTIPO

Para dimensionamento de consumo de energia elétrica desta residência, serão considerados como cargas instaladas, os seguintes equipamentos organizados na Tabela 3.

Tabela 3 - Características das cargas elétricas da *tiny house*

Equipamentos	Qtde (un.)		Potência Unitária (W)		Potência (W)
Lâmpadas LED 10W	4	x	10	=	40
Notebook	2	x	30	=	60
Modem ADSL output ma:	1	x	8	=	8
Carregamento Celular	2	x	3,5	=	7
Ventilador	1	x	73	=	73
Chuveiro Elétrico	1	x	3000	=	3000
Frigobar**	1	x	1/3cv		
Potência Total (W)					3.500,0

Fonte: Autoria própria, 2020

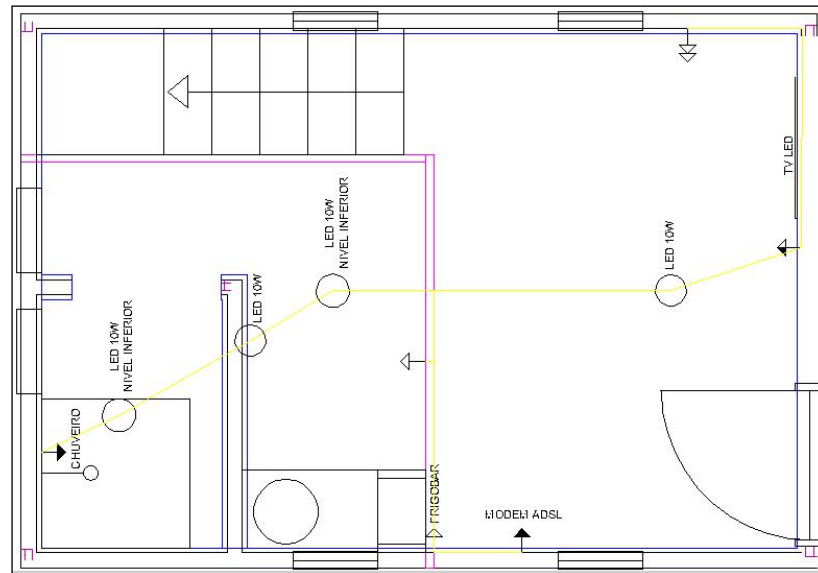
Cabe observar, além dos outros equipamentos previstos, o equipamento identificado como Frigobar, o qual a especificação técnica permite identificar uma potência de 1/3 cv e consumo médio mensal de 18,72 kWh, o qual será determinado por meio desse valor, o consumo médio diário, apenas dividindo-se esse valor, por 30 dias.

A potência total, estimada será de 3.500 W, valor esse necessário para o dimensionamento do inversor e condutores.

Ainda, observa-se que esses equipamentos estarão posicionados na *tiny house* conforme Figura 21.

A partir dos equipamentos relacionados, os mesmos servirão de base na determinação do consumo de energia elétrica para o protótipo.

Figura 21 - Disposição dos equipamentos e tomadas para as cargas elétricas



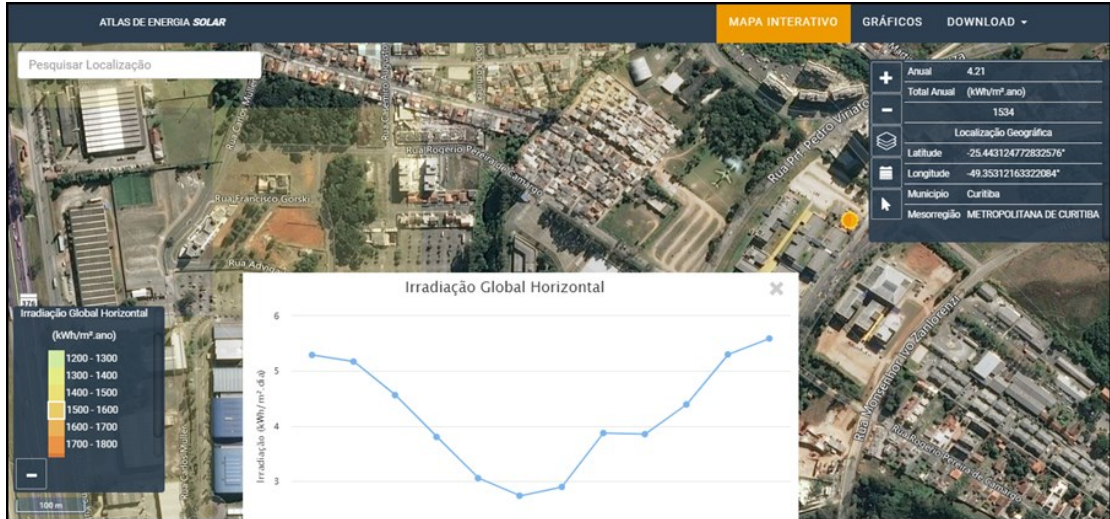
Fonte: Os autores, 2020

3.3 NÍVEIS DE RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTES DA REGIÃO

Para mensurar os níveis de radiação solar incidentes na localidade prevista para o estudo, considerou-se utilizar o programa para cálculo do potencial solar, SUNDATA versão 3.0, disponibilizado no portal do CRESESB.

Utilizou-se o Atlas de Energia Solar, para precisar a irradiação do local da UTFPR-Ecoville, onde está efetivamente o protótipo, conforme apresentado na Figura 22.

Figura 22 - Mapa de irradiação solar

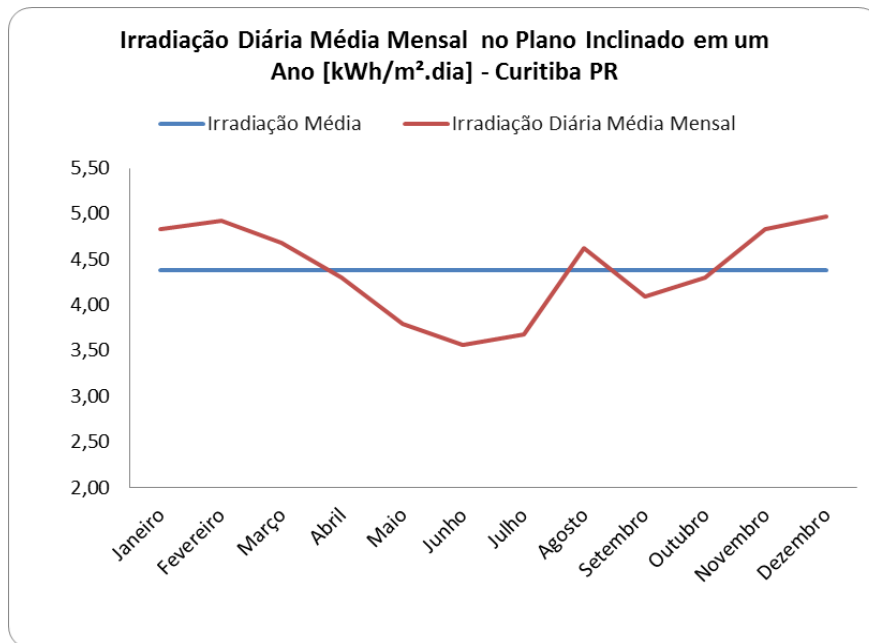


Fonte: Atlas Solar do Paraná, 2019

Visualmente é possível perceber, que em Curitiba, há uma importante variação de irradiação solar, isso se deve a vários fatores, desde a proximidade aos trópicos, altas incidências de nuvens devido à proximidade com a Serra do Mar, entre outros fatores que representam grande importância no irradiação média mensal desta região.

A Figura 23, apresenta a média diária por mês, de geração de energia por m², a uma dada inclinação igual a latitude de Curitiba.

Figura 23 - Gráfico de geração média diária de energia para cada mês do ano



Fonte:

Autoria própria, com dados extraídos do SUNDATA, 2020

Como pode ser visualizado, há uma variação de 2,86kWh/m².dia, do mês de maior valor de irradiação para o de menor valor e conforme Tabela 4, uma média diária de 4,38kWh/m².dia

Tabela 4 - Dados da irradiação solar captada para um plano inclinado, Curitiba-PR

Curitiba - PR		Irradiação Diária Média Mensal no Plano Inclinado - 25°N ([kWh/m ² .dia])												
Latitude	Longitude	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
25.5° S	49.349° W	4,83	4,92	4,68	4,3	3,79	3,57	3,68	4,62	4,1	4,3	4,83	4,97	4,38

Fonte: Autoria própria, dados do SUNDATA, 2020

Portanto, é razoável compreender a necessidade de se considerar uma análise ao longo do ano, pelo menos segmentada em duas partes, para a cidade de Curitiba; período de 6 meses - Outubro a Março (será considerado período fora do inverno) e outro período de 6 meses – Abril a Setembro (considerado período inverno).

Ainda, a partir desses valores, considerou-se a adoção de um fator de ajuste de 90%, para levar em conta uma inclinação dos painéis que atendam preferencialmente ao pior caso, que ocorre nos meses de inverno, quando o sol está mais inclinado em relação ao azimute e, portanto, necessita de uma inclinação maior que a latitude, estipulado de acordo com ábacos de irradiação solar da região, obtido pelo *software* Radiasol. Dessa forma, aproveitando-se melhor o sol nesses meses com irradiação menor.

Considerando-se esse ajuste nos valores obtidos, e equivalendo-os posteriormente, às horas de sol pleno (HSP), que é um valor numericamente equivalente em horas, de geração de 1kW por metro quadrado, por dia, conforme Tabela 5, o qual será necessário para o dimensionamento do painel solar.

Tabela 5 - Valor ajustado para uma inclinação de 40° do painel fotovoltaico

Curitiba - PR		Irradiação Diária Média Mensal no Plano Inclinado - 40° ([kWh/m ² .dia])											
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
90%	HSP (h/dia)	4,35	4,43	4,21	4,3	4,21	3,97	4,09	4,62	4,56	4,78	4,35	4,47

Fonte: Autoria própria, 2020

Assim, os valores apresentados serão utilizados posteriormente nos cálculos de dimensionamento do sistema fotovoltaico.

4 DIMENSIONAMENTOS E RESULTADOS

Este capítulo é composto pelo resultado dos cálculos preliminares, dos cálculos de dimensionamento dos principais componentes do sistema fotovoltaico escolhido, bem como, os resultados dos cálculos de retorno sobre o investimento pelo método SIGES de *payback*.

4.1 DETERMINAÇÃO DO CONSUMO DE CARGA ELÉTRICA NA *TINY HOUSE*

Como determinado nos itens 3.1, 3.2 e 3.3 da Metodologia, a maneira de utilização das cargas que seriam compatíveis ao modo de vida previsto para a *tiny house*, e dentro da delimitação de climas da região apresentada (Curitiba-PR), será apresentada para os diversos cenários.

4.1.1 Consumo das Cargas Elétricas

A capital paranaense, Curitiba, possui um clima consideravelmente quente e com boa insolação nos períodos de primavera e verão (aproximadamente entre os meses de outubro e março). No outono e inverno, período que se estende entre os meses de abril a setembro, apresenta como características baixas temperaturas e elevada nebulosidade, o que implica em baixa irradiação solar na superfície. Assim, é considerado um consumo de cargas específico para cada período pré-determinado.

Desta maneira, convencionou-se que o primeiro período, apresentado de outubro a março, seria o “Cenário 1a” (Tabela 6):

Tabela 6 - Consumo de cargas elétricas para o Cenário 1a, Curitiba-PR

Cenário 1a - UTFPR - Ecoville - Curitiba PR (fora do INVERNO)									
Equipamentos	Qtde (un.)	Potência Unitária (W)	Potência (W)	Tempo em Operação Dias Úteis (h)	Consumo Dias Úteis (Wh)	Tempo em Operação Finais de Semana (h)	Consumo Fins de Semana (Wh)	Consumo Diário Médio (Wh)	
Equipamentos em CA - 127 V									
Lâmpadas LED 10W	4	x 10	= 40	x 6	= 240	x 5	= 240	x 2	÷ 7 = 240
Notebook	2	x 30	= 60	x 5	= 300,0	x 5	= 120,0	x 2	÷ 7 = 248,6
Modem ADSL output ma:	1	x 8	= 8	x 8	= 64,0	x 5	= 64,0	x 2	÷ 7 = 64,0
Carregamento Celular	2	x 3,5	= 7	x 8	= 56,0	x 5	= 56,0	x 2	÷ 7 = 56,0
Ventilador	1	x 73	= 73	x 13	= 949,0	x 5	= 1.460,0	x 2	÷ 7 = 1.095,0
Chuveiro Elétrico	1	x 3000	= 3000	x 0,15	= 450,0	x 5	= 450,0	x 2	÷ 7 = 450,0
Frigobar**	1	x							= 624
Potência Total (W)			3.500,0	Consumo Médio Diário Total (Wh/dia)			2.777,6		

Fonte: Autoria própria, 2020

Conforme apresentado no primeiro cenário, e em decorrência do delineado no capítulo 3.1 deste trabalho, considerou-se a utilização das 4 lâmpadas durante a primeira hora da manhã (momento que os residentes da casa estão acordados e em casa ainda), e outras 5 horas de uso, das 19h às 23h, em média. E nos finais de semana, um uso moderado das lâmpadas, somando-se 6 horas de consumo no total.

Considerou-se o uso de 2 Notebook, por 5 horas após o retorno do expediente e de 2 horas no final de semana. O modem para internet, ligado uma média de 8 h por dia, e os celulares sendo carregados durante a noite, enquanto dormem.

Ainda, nesse período, pode-se considerar o maior consumo em ventilador e chuveiro, os quais corresponderão: 13 h de ventilador durante a semana e 20 h aos finais de semana e, para o chuveiro, um banho breve de água na temperatura quente de 0,15 h (9 minutos no total: 4,5 minutos cada), dado esse que chama a atenção, porém deve-se levar em conta a limitação da casa e o limitado fornecimento de energia que será posteriormente analisado.

Por fim, considerou-se o frigobar, ligado às 24 h ininterruptas. Assim, todos os equipamentos elétricos apresentados totalizam uma carga instalada estimada de 3,5 kW e um consumo médio diário de 2,778 kWh, conforme pode-se perceber na Tabela 6.

Para o Cenário 1b, durante os meses mais frios do ano (em média) o consumo das cargas previstos para a *tiny house*, são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Consumo de cargas elétricas para o Cenário 1b, Curitiba-PR

Cenário 1b - UTFPR - Ecoville - Curitiba PR (INVERNO)										
Equipamentos	Qtde (un.)	Potência Unitária (W)	Potência (W)	Tempo em Operação Dias Úteis (h)	Consumo Dias Úteis (Wh)	Tempo em Operação Finais de Semana (h)	Consumo Fins de Semana (Wh)	Consumo Diário Médio (Wh)		
Equipamentos em CA - 127 V										
Lâmpadas LED 10W	4	x 10	= 40	x 6	= 240	x 5	10	= 400	x 2 ÷ 7 =	286
Notebook	2	x 30	= 60	x 5	= 300,0	x 5	2	= 120,0	x 2 ÷ 7 =	248,6
Modem ADSL output ma:	1	x 8	= 8	x 8	= 64,0	x 5	8	= 64,0	x 2 ÷ 7 =	64,0
Carregamento Celular	2	x 3,5	= 7	x 8	= 56,0	x 5	8	= 56,0	x 2 ÷ 7 =	56,0
TV LED 100W	1	x 100	= 100	x 1	= 100,0	x 5	7	= 700,0	x 2 ÷ 7 =	271,4
Ventilador	0	x 73	= 0	x 0	= 0,0	x 5	0	= 0,0	x 2 ÷ 7 =	0,0
Chuveiro Elétrico	1	x 3000	= 3000	x 0,32	= 960,0	x 5	0,32	= 960,0	x 2 ÷ 7 =	960,0
Frigobar**	1	x								624
Potência Total (W)			3.600,0	Consumo Médio Diário Total (Wh/dia)			2.509,7			

Fonte: Autoria própria, 2020

O cenário apresentado para os meses mais frios de Curitiba propõe um uso maior na quantidade de horas de iluminação da casa para os finais de semana, visto que os residentes ficarão por mais tempo dentro de casa; havendo a eliminação do uso do ventilador, por óbvio.

Com a redução no uso do ventilador, cria-se a opção pelo uso de uma televisão em LED, com uso de 1 hora em dias úteis e 7 horas em finais de semana. Provavelmente irá ocorrer um aumento do consumo do chuveiro elétrico para o período (tempo médio de uso de 9,6 minutos por morador ou de 0,32 horas no total por dia).

Totalizando para esse segundo cenário, uma carga instalada estimada de 3,6kW e consumo médio diário de 2,509kWh, conforme pode-se analisar na Tabela 7.

4.2 DIMENSIONAMENTO DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

Após a determinação dos cenários de consumo energético e da irradiação solar para as duas regiões apresentadas é possível dar início ao dimensionamento do sistema fotovoltaico, a começar pelo painel.

Assim, será utilizado o procedimento apresentado no capítulo de Metodologia, com o uso da Equação (2), para determinar a energia requerida para o sistema. Assim, o Cenário 1-a, tem-se que:

$$L [Wh / dia] = \frac{2.777,6 [Wh / dia]}{86\% \times 85\%} = 3.799,7 [Wh / dia] \quad (2)$$

Em posse desse resultado e aliado ao valor de horas de sol pleno (HSP) apresentado na Tabela 3 (para os meses relativos ao Cenário 1-a), deverá ser calculado o valor de P_m , em Watt-pico (Wp), para cada um dos meses envolvidos. Em seguida, será selecionado o P_m de maior valor.

No caso do Cenário 1-a, obteve-se o maior valor para o mês de outubro, o qual será apresentado o cálculo a seguir:

$$P_m [Wp] = \frac{3.799,7 [Wh / dia]}{3,97 \times 75\% \times 90\%} = 1.336,5 Wp \quad (3)$$

Esta é, portanto, a potência requerida para o sistema, o qual dividido pela máxima potência do módulo selecionado (435Wp), obtém-se o número de módulos que serão instalados em paralelo, equivalente a 3 módulos fotovoltaicos.

Dimensionada a quantidade de módulos necessários para atender a demanda do Cenário 1-a, deve-se calcular o número de módulos FV para o Cenário 1-b, os quais estarão resumidos na Tabela 8.

Tabela 8 - Resumo do dimensionamento do Painel Fotovoltaico nos cenários 1a e 1b

Dimensionamento - Painel Fotovoltaico													
Método de Dimensionamento	Cenários	Consumo Médio Diário Total (Wh)	η_{Bat} (%)	η_{Inv} (%)	L (Wh/dia)	Red1 (%)	Red2 (%)	Pm (Wp)	NMód Série	Nmód Série	Im (Acc)	Nmód Paralelo	Nmód Paralelo
CEPEL/CRESESB	1a	2777,6	86	85	3799,7	75	90	1336,5	0,70	1	32,7	3,07	3
	1b	2509,7			3433,3			1282,3		0,70	1	31,4	2,95

Fonte: Autoria própria, 2020

Portanto, determinou-se que seria necessários 3 módulos fotovoltaicos para atender os cenários de consumo da *tiny house*. Determinado o tamanho do painel fotovoltaico, é então posicionado de forma que a composição esteja em conformidade com as dimensões limitantes da cobertura do protótipo de TH. Cada módulo, como visto na Figura 24, de características do módulo escolhido, possui dimensão de 1.004 mm de largura, por 2.024 mm de comprimento.

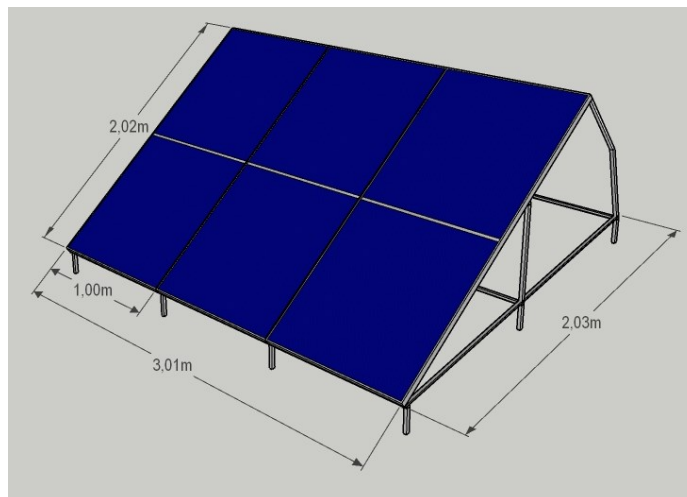
Figura 24 - Projeto arquitetônico da *tiny house* - UTFPR / Ecoville



Fonte: Os autores

Então, a escolha sugerida, e que adequa eficientemente o espaço necessário ao espaço disponível para instalação na cobertura da *tiny house*, é apresentado na Figura 25.

Figura 25 - Disposição do Painel Fotovoltaico



Fonte: Os autores

Pode-se observar que os módulos foram posicionados de tal modo que se aproveitasse o máximo possível do espaço da cobertura, sem fazer sobreamento um ao outro.

Com esta etapa concluída, dimensiona-se a parte que terá a maior influência no custo ao longo da vida útil (25 anos) do painel fotovoltaico, que é o banco de baterias.

4.3 DIMENSIONAMENTO DO BANCO DE BATERIAS

A acumulação de energia, necessária para sistemas FV isolados, tem o objetivo de atender a falta de energia elétrica proveniente dos módulos, em períodos com insuficiência ou ausência de irradiação solar. O banco de baterias a ser dimensionado será composto por um conjunto de baterias, do modelo especificado na Figura 15, cuja vida útil considerada é de 5 anos, portanto sendo necessário a substituição neste período.

Assim, será apresentado o desenvolvimento dos cálculos considerando o cenário 1-a, e empregando-se a equação (6) para o cálculo da capacidade do banco de baterias para um regime de descarga de 20h. Para tanto, utiliza-se o consumo calculado na equação (2), além de considerar uma autonomia (N) necessária para atender a demanda de consumo das cargas elétricas por 2 dias consecutivos com falta de irradiação solar, considerando ainda uma profundidade de descarga (Pd) de 80%, tem-se que:

$$CB_{C20}[Wh] = \frac{3.799,7[Wh/dia] \times [2dias]}{80\%} = 9.499,2Wh \quad (6)$$

Ao dividir o resultado da Equação (6) pela tensão do Sistema (24V), conforme a Equação (7), obtêm-se a capacidade do banco de baterias, em Ah:

$$CBI_{C20}[Ah] = \frac{9.499,2[Wh]}{24[V]} = 395,8Ah \quad (7)$$

Por fim, divide-se o resultado obtido na Equação (7) pela capacidade de corrente da bateria escolhida, conforme Equação (8), auferindo-se a número de baterias em paralelo N_{BP} , que atenda o consumo de carga a ser exigido.

$$N_{BP} = \frac{395,8[Ah]}{220[Ah]} = 1,799 \approx 2 \quad (8)$$

Novamente, ajusta-se o resultado para o próximo número inteiro, de modo a determinar a quantidade de baterias. Para obter o número de baterias em série (N_{BS}), após utilizar a Equação (9), divide-se a tensão do sistema pela tensão nominal do modelo de bateria escolhida.

$$N_{BS} = \frac{24[V]}{12[V]} = 2 \quad (9)$$

Em resumo, são necessárias 2 baterias em série e 2 em paralelo, para atender a demanda da *tiny house*, no cenário 1-a, e na Tabela 9 são apresentados os números e resultados do cenário 1b também.

Tabela 9 - Resumo do dimensionamento do Banco de Baterias nos cenários 1a, 1b e 2

Dimensionamento - Banco de Baterias								
Método de Dimensionamento	Cenários	Lm (Wh/dia)	Dias Autonomia N (dias)	Pd (%)	Capacidade da Bat. CBC20 (Wh)	CBC20 (Ah)	Nbat Paralelo	Nbat Série
CEPEL/CRESESB	1a	3799,7	2	80	9499,2	395,8	2	2
	1b	3799,7	2	80	9499,2	395,8	2	2

Fonte: Autoria própria, 2020

Algumas observações pertinentes em relação aos resultados da Tabela 7, fazendo um paralelo com a Tabela 6 e as tabelas referentes aos consumos de carga, são necessárias.

Como pode ser observado, o consumo das cargas para os diversos cenários, foi ajustado de tal forma que proporcionasse a melhor utilização tanto do uso do painel solar, como do banco de baterias.

Conforme a tabela, o número de baterias em paralelo calculado foi de 1,799, para todos os cenários, ou seja, um valor muito próximo do número 2, inteiro superior, o que representa o melhor aproveitamento possível das 2 baterias, em série, dimensionadas.

Portanto, nesse caso, limitou-se em apenas 2, o número de acumuladores em paralelo que compõem o banco de baterias.

Foi dada essa importância a esta quantidade de equipamento, para avaliar a viabilidade econômica do sistema, dado que este equipamento possui uma vida útil relativamente curta em comparação com a dos módulos.

Assim, o custo global do banco de baterias, para o sistema como um todo, tem uma representatividade muito grande (considerando uma compra inicial e outras quatro recompras necessárias até o fim da vida útil de 25 anos do sistema FV) em relação ao custo do restante do sistema fotovoltaico como um todo.

Outro ponto importante é o número de 3 módulos fotovoltaicos adotados cobrindo a área de cobertura da *tiny house* disponível para o painel. Já, para o Cenário 1-b, estudou-se um consumo de cargas que pudesse utilizar os mesmos 3 módulos fotovoltaicos estipulados; o que se pode observar no número de módulos em paralelo requisitados pelo sistema elétrico deste cenário, de 2,95, que é um valor muito próximo do número 3, inteiro superior, o que representa o excelente aproveitamento dos 3 módulos fotovoltaicos adotados em paralelo.

Em posse desses dimensionamentos feitos até agora, parte-se para a determinação dos equipamentos de controle de cargas e de inversão de tensão cc para ca.

4.4 DIMENSIONAMENTO DO CONTROLADOR DE CARGAS

Seguindo o método apresentado no Capítulo 3, o dimensionamento do controlador de cargas segue os cálculos expresso pela Equação (10), com ajuste para o próximo número inteiro, Equação (11) e Equação (12), considerando-se a corrente de curto circuito do módulo FV (I_{sc}), corrente de carga cc (I_{CTL}) do controlador e a tensão de circuito aberto do módulo FV (V_{OCM}).

$$I_C = (1 + 25\%) \times 3 \times 11,39[A] = 42,71[A] \quad (10)$$

$$N_{CP} = \frac{42,7[A]}{100[A]} = 0,43 \approx 1 \quad (11)$$

Conferindo que a máxima tensão de operação do controlador seja maior do que a tensão máxima de saída do painel fotovoltaico, de acordo com a equação (12).

$$V_{cm\acute{a}x} > 1 \times 48,7[V] > 48,7[V] \approx 50,0V \quad (12)$$

Para visualizar todos os dimensionamentos dos cenários calculados, é apresentada a Tabela 10.

Tabela 10 – Resumo do dimensionamento do Controlador de Cargas para os cenários 1a e 1b

Dimensionamento - Controlador de Cargas									
Método de Dimensionamento	Cenários	NmódFV Paralelo	IscFV	FS	Ic (A)	IctI (A)	NctIParalelo	VctImáx (V)	NctISérie
CEPEL/CRESESB	1a	3,0	11	25	42,7	100	1,0	50	1,0
	1b	3,0			42,7		1,0		1,0

Fonte: Autoria própria, 2020

Observa-se que o número de controladores de carga é igual para todos os cenários estudados.

4.5 DIMENSIONAMENTO DO INVERSOR

Para a determinação do inversor adequado ao sistema, foi considerada a carga instalada para o Cenário 1-a, sendo que a potência total determinada foi de 3.500 W, sendo necessário selecionar um inversor que tenha capacidade acima deste valor. No caso deste estudo, foi selecionado um inversor com potência nominal de saída de 4.000 W, conforme Tabela 11.

Tabela 11 - Resumo do dimensionamento do Inversor de frequência para os cenários 1a e 1b

Dimensionamento - Inversor			
Método de Dimensionamento	Cenários	Potência Carga Instalada (W)	Potência Inversor
CEPEL/CRESESB	1a	3500,0	4000
	1b	3600,0	

Fonte: Autoria própria, 2020

Como visto, para todos os cenários, o inversor com capacidade para 4.000W será utilizado.

4.6 RESUMO DO DIMENSIONAMENTO

Com os principais equipamentos dimensionados tem-se, portanto um resumo dos mesmos na Tabela 12.

Assim, percebe-se um somatório de equipamentos como investimento inicial de R\$ 10.105,00.

Tabela 12 - Resumo dos equipamentos e custos iniciais

Dados gerais dos equipamentos do SFI da <i>tiny house</i>					
Equipamento	Fabricante	Modelo do Equipamento	Quantidade do Equipamento	Peso Unitário [kg]	Custo Total do Equipamento
Painel Fotovoltaico	Longi Solar	FG LONGI HALF MONO	3	22,8	R\$ 3.240,00
Banco de Bateria	Moura	12MS234	4	57,0	R\$ 5.596,00
Controlador de Carga	MPPT SOLAR	110A MPPT	1	4,0	R\$ 290,00
Inversor (CC-CA)	LUCKY AMAZONIA	4000W	1	4,0	R\$ 979,00
Total					R\$ 10.105,00

Fonte: Autoria própria, 2020

4.7 DIMENSIONAMENTO DOS CONDUTORES

Após delimitar todos os equipamentos principais que compõem o sistema FV, foram determinadas as seções transversais dos condutores de eletricidade que levarão a energia gerada dos módulos fotovoltaicos passando pelo controlador de cargas, banco de baterias, inversor e chegando finalmente no ponto de consumo de energia.

Nesta sequência, considerando o cenário 1-a, foi calculado primeiramente o Trecho 1, em corrente contínua, relativo aos condutores que conectam os módulos fotovoltaicos, passando pelo controlador de cargas, até o banco de baterias, pela equação (13).

$$S_{\text{cond}} = 2 \frac{5[m] \times 1.336,5[W] \times 0,0178}{24[V]^2 \times 4[\%]} = 10,33\text{mm}^2 \approx 16\text{mm}^2 \quad (13)$$

Chega-se no Trecho 1, com 5 metros de comprimento, condutores de 16mm² de seção transversal, considerando-se ainda 2 condutores para cada pólo (+ e -) e um condutor de proteção terra, com a mesma seção transversal, totalizando 15 m de condutores de seção 16 mm².

Ainda no circuito de corrente contínua, o Trecho 2 que engloba os condutores que devem partir do banco de baterias ao inversor, com percurso aproximado de 2 m, é calculado, utilizando-se a Equação (14).

$$S_{\text{cond}} = 2 \frac{2[m] \times 4.000[W] \times 0,0178}{24[V]^2 \times 4\%} = 12,36\text{mm}^2 \approx 16\text{mm}^2 \quad (14)$$

Da mesma forma que o Trecho 1, para o Trecho 2, são previstos 3 condutores (2 pólos e 1 terra), totalizando 6 m de condutores de seção 16 mm².

Por fim, para dimensionar os condutores elétricos do Trecho 3, que conduz a energia já transformada em corrente alternada, da saída do inversor até o ponto de consumo final, estipulou-se uma distância aproximada de 10 m, além

de ser considerada a tensão de operação em 127 V. Para calcular a seção transversal dos condutores em corrente alternada, utilizou-se a Equação (15).

$$S_{\text{cond}} = 2 \frac{10[m] \times 4.000[W] \times 0,0178}{127[V]^2 \times 4\%} = 2,2\text{mm}^2 \approx 2,5\text{mm}^2 \quad (15)$$

Como se pode observar, para o trecho em corrente alternada os condutores necessários exigem bitolas menores, entendendo-se que é importante considerar uma maior proximidade dos equipamentos que envolvem a corrente contínua uns dos outros, reduzindo esta necessidade para o trecho em corrente alternada.

O estudo da seção transversal dos condutores para os outros cenários é apresentado na Tabela 13.

Tabela 13 - Resumo do dimensionamento do Condutores para os cenários 1a e 1b

Dimensionamento - Condutores CC e CA									
Método de Dimensionamento	Cenários	Potência Carga Instalada (Wp)	Comprimento do Condutor (m)	Tensão do Barramento (m)	Queda de Tensão Admitida (%)	Área da Seção do Condutor (mm ²)	Seção do Condutor Escolhida (mm ²)	Quantitativo de Condutores (R\$)	
Barramento CC - Trecho 1 (Painel FV - Controlador de Cargas - Banco de Baterias)									
Jair Urbanetz	1a	1309,1	5,0	24,0	4,0	10,11	16,0	9,5	142,35
	1b	1424,7				11,01	16,0	9,5	142,35
Método de Dimensionamento	Cenários	Potência do Inversor (W)	Comprimento do Condutor (m)	Tensão do Barramento (m)	Queda de Tensão Admitida (%)	Área da Seção do Condutor (mm ²)	Seção do Condutor Escolhida (mm ²)	Quantitativo de Condutores (R\$)	
Barramento CC - Trecho 2 (Banco de Baterias - Inversor)									
Jair Urbanetz	1a	4000	2,0	24,0	4,0	12,36	16,00	9,5	56,94
	1b								
Barramento CA - Trecho 3 (Inversor - Cargas)									
Jair Urbanetz	1a	4000	10,0	127,0	4,0	2,2	2,5	1,3	37,80
	1b								

Fonte: Autoria própria, 2020

Concluindo o dimensionamento do sistema FV, de modo que se possa determinar os custos e, por fim, a análise da viabilidade econômica da implantação nos cenários.

Devido ao pequeno tamanho da residência, os custos serão aproximados em R\$ 250,00 para o consumo de fiação e R\$ 1.000,00 para a estrutura de fixação dos módulos fotovoltaicos.

4.8 CÁLCULO DO RETORNO SOBRE O INVESTIMENTO (PAYBACK)

Os custos de investimento e manutenção para inserção na planilha somam um total de R\$ 47.769,75, conforme Tabela 14, levando em consideração as trocas de

bateria a cada 5 anos de vida útil do sistema e com o valor atualizado pela inflação média dos últimos 3 anos, período de mudança de governo.

Tabela 14 - Custos do sistema

Custos do Sistema		
Equipamentos	R\$	11.355,00
Mão de obra	R\$	2.838,75
Reposição de bateria (x4)*	R\$	32.736,60
Total	R\$	46.930,35

Fonte: Os autores, 2020

* Considerando a inflação média conforme Tabela 4

4.8.1 Payback Para o Sistema Fotovoltaico

A taxa de valorização anual, foi obtida pela média dos últimos 5 anos da tarifa cobrada pela companhia responsável pelo fornecimento de energia elétrica na cidade de Curitiba, conforme dados da Tabela 15.

Tabela 15 - Reajuste anual da tarifa

Vigência	Variação Percentual
24/06/2019	3,41%
24/06/2018	15,99%
24/06/2017	5,85%
24/06/2016	-12,87%
24/06/2015	15,32%
02/03/2015	36,79%

Fonte: Os autores, 2020

Obteve-se o valor de reajuste médio de 12,90% a.a ou 1,075% a.m. para fins de cálculo.

O Custo do insumo foi calculado considerando todas as taxas e impostos que são cobradas (Tabela 16) nas tarifas de energia para consumidores residenciais em baixa tensão.

Tabela 16 - Impostos incidentes

Impostos Incidentes	Alíquota
PIS*	1,11%

COFINS*	5,09%
CIP**	R\$ 4,05
ICMS	29%

Fonte: Copel S.A , 2020
*** Referente ao mês 01/2020**
**** Custo de Iluminação Publica**

Resultando em um valor conforme Tabela 17:

Tabela 17 - Valores incidentes da tarifa de energia

Vfix	*Vvar	VSI	VT c/ Imp.
R\$ 0,5176	R\$ 0,0500	R\$ 0,5676	R\$ 0,9249

Fonte: Os autores, 2020

*** Média dos valores das bandeiras**

A quantidade média de consumo mensal da residência foi obtida multiplicando o consumo diário nos meses de verão e de inverno, ponderados pelos meses que perduram, por 365 dias e dividindo por 12 meses, sendo que para o caso deste estudo, o esse valor foi de aproximadamente 82,64 kWh/mês.

Obtendo-se as seguintes métricas para o cálculo, conforme Tabela 18.

Tabela 18 - Planilha de Viabilidade para cálculo de payback

Dados de Entrada	
C = Custo total de implantação e manutenção em Reais	R\$ 46.930,35
C_i = Custo do insumo - Taxa Inicial	R\$ 0,92
Q = Quantidade do insumo economizado ao mês	82,64
Pa = Valorização/Desvalorização anual	12,8980000%
Pa mensal	1,0748333%
J = Taxa Juros Mensal	0,4100000%

Fonte: SIGES

A planilha por sua vez, por meio de métodos numéricos, utiliza como base inicial para encontrar o ponto de equilíbrio do projeto, a equação (15):

$$R_i = \frac{R\$ 46.930,35}{0,9249 R\$/kWh * 82,64 kWh/mês} = 613,96 \text{ meses} \quad (15)$$

Inserindo o valor do tempo, da Equação (15) na Equação (14):

$$46.930,35(1 + 0,0041)^{613,96} - \frac{0,9249.82,64.[(1+0,0107483)^{613,96} - 1].(1+0,0107483)}{0,0107483} \quad (14)$$

$$R\$ 578.687,47 - R\$ 5.089.178,13 = -R\$ 4.510.490,66$$

Resultando em um valor negativo, esse por sua vez significa que já está acima do ponto de *payback*, conforme Tabela 19.

Tabela 19 - Ponto de equilíbrio valor inicial

Cálculo do Ponto de Equilíbrio	
Mês do ponto de equilíbrio	614
Mês para cálculo do PE	613,96
Valor no Ponto de Equilíbrio	-R\$ 4.510.490,66

Fonte: SIGES

Como a diferença entre os valores é negativa, o ponto de equilíbrio é um valor de tempo menor que o obtido na primeira iteração. Realizando as iterações posteriores, obtém-se igualdade quando $t = 291,197$ meses.

Inserindo o valor do tempo na equação (14):

$$46.930,35(1 + 0,0041)^{291,197} - \frac{0,9249.82,64. [(1 + 0,0107483)^{291,197} - 1]. (1 + 0,0107483)}{0,0107483}$$

$$R\$ 154.490,39 - R\$ 154.490,39 = 0$$

Assim o ponto de equilíbrio na Tabela 20 é encontrado.

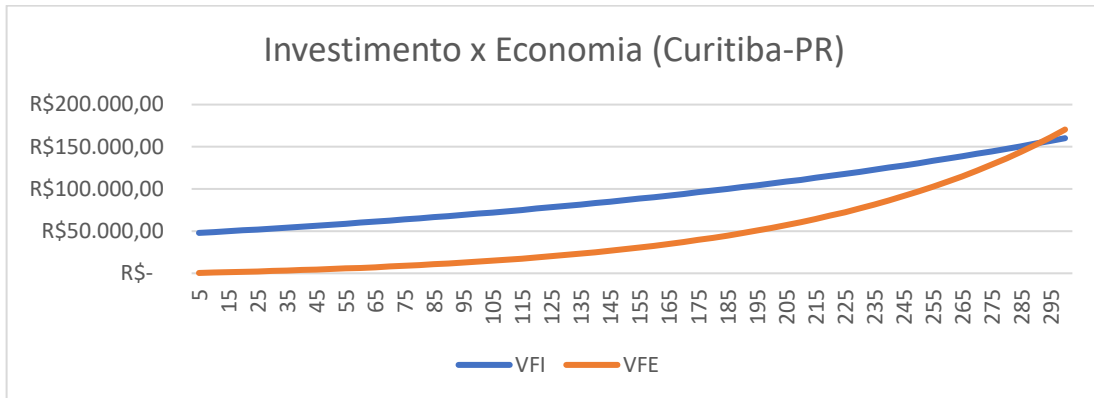
Tabela 20 - Ponto de equilíbrio Final

Cálculo do Ponto de Equilíbrio	
Mês do ponto de equilíbrio	292
Mês para cálculo do PE	291,20
Valor no Ponto de Equilíbrio	R\$ 0,00

Fonte: SIGES

A Figura 26 mostra a evolução do investimento x economia gerada para cada cidade, considerando o reajuste médio de cada concessionária de energia em estudo e a inflação média dos últimos anos, onde o VFI é o valor futuro do investimento e o VFE é o valor futuro de economia.

Figura 26 - Investimento x Economia Curitiba-PR



Fonte: Os autores, 2020

Sendo esse valor de aproximadamente 292 meses, inferior ao tempo de vida útil do sistema que é de 300 meses (Tabela 21).

Tabela 21 - Retorno no fim da vida útil

Cálculo do Ponto de Equilíbrio	
Mês do ponto de equilíbrio	300
Mês para cálculo do PE	300,00
Valor no Ponto de Equilíbrio	-R\$ 10.288,93

Fonte: Os autores, 2020

Conforme mostrado na Tabela 21, há uma economia gerada no fim do período de funcionamento no valor de R\$ 10.288,93.

5 CONCLUSÕES

O custo para a implantação e manutenção do sistema fotovoltaico na *Tiny House*, para esse estudo de viabilidade é de R\$ 46.930,35, e levando em conta o consumo energético limitado, a qual a residência se permite obter, principalmente por conta de toda a arquitetura projetada para aproveitar ao máximo dos recursos naturais, como entrada de luz e circulação de ar, segundo dimensionamento, obteve-se um consumo de 82,64 kWh/ mês para a cidade de Curitiba-PR.

O caso analisado para cidade de Curitiba, teve o tempo de *payback* abaixo da vida útil do sistema que é de 300 meses, ou 25 anos. A instalação deste sistema na cidade de Curitiba teve tempo de retorno menor em ambos os métodos de análise utilizados, isto se deve principalmente devido ao reajuste médio anual na tarifa, o qual pode não retratar o que acontecerá nos próximos anos.

Quanto ao aspecto da viabilidade, o sistema estudado é considerado viável, com ressalvas, de acordo com a métrica utilizada nesse estudo, sendo que o retorno financeiro (economia) ao final do ciclo de vida foi de R\$ 10.288,93. Todavia devido à vida útil de 25 anos, esta previsão de retorno pode até mesmo não ocorrer, ou ser antecipada dependendo de diversos fatores econômicos que interferem nessa análise, como a inflação e a atualização dos preços cobrados pelas concessionárias de energia.

O sistema se torna cada vez mais viável quando o consumo é maior, pois a economia gerada aumenta, um item que pesa muito nesse sistema é o banco de baterias que tem que ser trocado a cada 5 anos. Uma tecnologia que tornasse essas baterias mais baratas ou até mesmo prolongasse o tempo de vida útil contribuiria na redução deste custo. Outra consideração é a de que no futuro existam painéis com eficiência superior ao que foi utilizado, reduzindo ainda mais o custo e por consequência, o *payback*.

Portanto, com os dados acima analisados concluímos que a utilização da energia solar fotovoltaica, além de no médio e longo prazo ter um retorno por conta do investimento inicial, também ajuda de maneira sustentável a diminuição da emissão de gases do efeito estufa, isso principalmente levando em consideração que a matriz energética brasileira, apesar de ser em grande maioria hídrica, ainda

possui usinas termelétricas, que emitem considerável quantidade de CO₂ para a atmosfera.

Outro ponto positivo desse sistema é que ele possibilita a implantação em locais onde não há energia disponível pela rede, necessitando apenas de área para a instalação dos painéis e um local para armazenar o banco de baterias.

Como ponto negativo a esse sistema *off grid* se deve ao fato de o banco de baterias encarecer esse sistema, tornando a viabilidade do mesmo extremamente limitada por conta desse custo elevado, e o curto período de tempo da vida útil das baterias. Assim, devido à tecnologia estar em desenvolvimento, novos materiais e compósitos podem futuramente tornar este aproveitamento maior.

Como recomendação para trabalhos futuros, seria ainda mais interessante comparar o custo desse sistema *off-grid* com outros sistemas *off-grid*, como através de geradores elétricos a diesel que costumam ser muito utilizados em algumas regiões do Brasil como solução para falta de energia, apesar de poluente e não renovável. Bem como um estudo com consumo energético maior para sistema fotovoltaico conectado à rede (SFCD) de distribuição da concessionária, o qual independe do uso de banco de baterias.

REFERÊNCIAS

ABS *Australian Bureau of Statistics. Housing Occupancy and Costs 2015–16. Australian Bureau of Statistics. Australian Government.*, 2017. Disponível em: [https://www.abs.gov.au/ausstats/abs@.nsf/Lookup/by% 20Subject/4130.0~2015-16~Main%20Features~Housing %20Occupancy%20and%20Utilisation~4](https://www.abs.gov.au/ausstats/abs@.nsf/Lookup/by%20Subject/4130.0~2015-16~Main%20Features~Housing%20Occupancy%20and%20Utilisation~4). Acessado em 1 de nov. 2019.

AFROUZI, H. N.; MASHAK, S. V.; MALEK, Z. A.; MEHRANZAMIR, K. and SALIMI, B. Solar array and battery sizing for a photovoltaic building in Malaysia. **Journal Teknologie (Sciences & Engineering)**. Malásia, jul. 2013.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL) - Resolução Normativa nº482, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT), **NBR 5410 - Instalações Elétricas de Baixa Tensão**. 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE REFRIGERAÇÃO, AR CONDICIONADO, VENTILAÇÃO E AQUECIMENTO (ABRAVA) – **Manual de capacitação em projetos de sistemas de aquecimento solar**. – Edição abr. 2008. Disponível em: <<https://www.docsity.com/pt/manual2008-abrava/4776913/>>. Acessado em nov de 2019.

ATLAS SOLAR DO PARANÁ. **Portal do Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná**. Disponível em: <<http://atlassolarparana.com/map.jsessionid=805428E7CCF10893C5B76CA13C5F600A>>. Acessado em: 04 dez. 2019.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Portal do Governo Federal do Brasil**. Disponível em: <<https://www.bcb.gov.br/publicacoes/focus>>. Acessado em: 25 out. 2020.

BOECKERMANN, L. M., KACZYNSKI, A. T., KING, S. B., **Dreaming big and living small: examining motivations and satisfaction in tiny house living**. Springer Science+Business Media B.V., part of Springer Nature 2018.

BRUNI, A. L; RUBENS, F. **As Decisões de Investimentos - Com aplicações na HP12C e Excel**. São Paulo: Atlas, 2003.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (CEPEL/CRESESB) – Rio de Janeiro: Editora, 2014. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf>. Acessado em: jul. 2020.

CONSUMO SUSTENTÁVEL. **Construções Sustentáveis**. Disponível em: <http://www.consumosustentavel.gov.br/1_ciclo/construcoes-sustentaveis/>. Acessado em 27 de out. 2019

DAHLSTROM, Robert. **Green Marketing Management**. University of Kentucky. Ed. South-Western Cengage Learning, 2011.

ECYCLE. **Energia solar residencial: tipos de sistema de energia, vantagens e como fazer acontecer**. Disponível em: <<https://www.ecycle.com.br/component/content/article/69-energia/3336-energia-solar-residencial-como-funciona-fazer-origem-termica-captacao-radiacao-luz-sol-conversao-calor-transformacao-eletricidade-eletrica-fonte-limpa-renovavel-painel-placa-paineis-economia-vantagens-desvantagens-quanto-custa-preco.html>>. Acessado em 17 de nov. 2019.

ENERGIA TOTAL. **Portal da empresa de e-commerce Energia Total**. Disponível em: <<https://www.energiatotal.com.br/painel-solar-435w-144-c%C3%A9lulas-monocristalino-longi-half-mono-perc>>. Acessado em: 04 nov. 2020.

ESCRITÓRIO VERDE. Disponível em: <<http://www.utfpr.edu.br/noticias/curitiba/escritorio-verde-do-campus-curitiba-e-referencia-internacional>>. Acessado em 27 de out. 2019.

EWZ, **Cálculo de demanda para fornecimento trifásico**. Disponível em: <http://ew7.com.br/projetos-eletricos-no-autocad/index.php/dicas-sobre-projetos-eletricos-residenciais/128-calculo-de-demanda-para-fornecimento-trifasico>. Acessado em 17 de nov. 2019.

GITMAN, L. J. **Princípios de Administração Financeira**. 8ª edição. São Paulo: Harbra, 2002.

HAYONIK. **Portal da empresa HAYONIK** – conversor de onda senoidal 2.000 W, 12 Vdc, 127 V. Disponível em: <<https://www.hayonik.com/inversor-de-onda-senoidal-2000w-12vdc-127v-pw21-2-hayonik>>. Acessado em: 22 nov. 2019.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), **estimativas da população residente no Brasil e unidades da federação com data de referência em 1º de julho de 2014**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>. Acessado em 27 de out. 2019.

IST. Instituto Superior Técnico. Departamento de Engenharia Mecânica. **Energia fotovoltaica: manual sobre tecnologias, projeto e instalação**. Lisboa – Portugal, 2004. Disponível em: https://www.academia.edu/35316653/IST_guia_tecnico_manual_energia_fotovoltaica. Acessado em nov. 2019.

KUHNEN, O. L.; BAUER, U. R. **Matemática Financeira Aplicada e Análise de Investimentos**. 6ª edição. São Paulo: Ed. Atlas, 1996.

MARIANO, J. D´A.; URBANETZ, J. Jr. **Estado da Arte da Aplicação dos Sistemas de Armazenamento de Energia em Edifícios Fotovoltaicos**. In: **GREENBUILDING BRASIL – Conferência internacional e expo**. 2018 Anais...CIEI&EXPO. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

MCKINLAY, A.; BALDWIN, C.; and STEVENS, N. J. **“Influences on Dwelling Size in Australia.”** In **Proceedings 22nd Annual Pacific-Rim Real Estate Society Conference, Sunshine Coast**. 2016.

MERCADO LIVRE - 1. **Portal da empresa de e-commerce Mercado Livre**. Disponível em: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1572444489-inversor-4000w-24v-p-110v-lucky-amazonia-geladeira-_JM?matt_tool=79246729&matt_word=&gclid=Cj0KCQjwtsv7BRCmARIsANu-CQcd4M2jbsUt9QPnugDpsSeGjAo0ckT8RI5EWGHw_1XVdqsLDz7Lxx0aAv0bEALw_wcB. Acessado em: 28 set. 2020.

MERCADO LIVRE - 2. **Portal da empresa de e-commerce Mercado Livre**. Disponível em: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1610258292-controlador-de-carga-mppt-100a-_JM?matt_tool=79246729&matt_word=&gclid=Cj0KCQjwzbv7BRDIARIsAM-A6->. Acessado em: 28 set. 2020.

MINGOYA, C. Building together. Tiny house villages for the homeless: A comparative case study. **Massachusetts Institute of Technology**. Disponível em: https://dusp.mit.edu/sites/dusp.mit.edu/files/attachments/news/mingoya_2015.pdf. 2015. Acessado em 27 de out. 2019

MINHA CASA SOLAR. **Portal da empresa Minha Casa Solar**. Disponível em: <https://www.minhacasasolar.com.br/produto/controlador-de-carga-40a-12v-24v-pwm-sun21-ccs-p4024-79206?utm_source=GoogleShopping&utm_medium=&utm_campaign=GoogleShopping>. Acessado em: 22 nov. 2019.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Cadernos de consumo sustentável: construções**. Disponível em: <mma.gov.br/publicações>. Acessado em 27 de out. 2019.

MOURA. **Portal da empresa MOURA**. Disponível em: <<https://www.moura.com.br/produtos/estacionarias/moura-clean/>>. Acessado em: 22 nov. 2019.

MURPHY, M. **Tiny houses as appropriate technology**. *Communities*, 165 (Winter), 54–59, 2014.

MUTTER, A. **Growing tiny houses: Motivations and opportunities for expansion through niche markets**. *Lund University*. <http://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordId=4196241&fileId=4196242>. 2013, acessado em 27 de out. 2019.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **A ONU e o meio ambiente**. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/acao/meio-ambiente/>>. Acessado em: 08 jun. 2019.

NEOSOLAR. **Portal da empresa de e-commerce NeoSolar**. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/loja/bateria-estacionaria-moura-solar-12ms234-220ah.html?gclid=CjwKCAiAnIT9BRAmEiwANaoE1RsgH4Sza-t_Mg946a6kuS6jeSylAiCFZn2LD908RRP6zsNXHxY-ohoCAsUQAVD_BwE>. Acessado em: 04 nov. 2020.

OLIVEIRA, J. S.; BURIOL, G. A.; SWAROWSKY, A.; ESTEFANEL, V. **Disponibilidade de irradiância solar para geração de energia elétrica na Alemanha e no estado do Rio Grande do Sul**. *Disciplinarum Scientia. Série: Naturais e Tecnológicas*, v. 14, n. 2, p. 205-212, Santa Maria. 2013.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; ABREU, S. L. D.; RÜTHER, R. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**, São José dos Campos: 2006. Disponível em: <http://labren.ccst.inpe.br/atlas_2017.html>. Acessado em: jul. 2020.

PORTAL ENERGIA, **Vantagens e desvantagens dos painéis solares fotovoltaicos**. Disponível em: <https://www.portal-energia.com/vantagens-desvantagens-paineis-solares-fotovoltaicos/>, acessado em 17 de nov. 2019.

PORTAL SOLAR. **Célula fotovoltaica**. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/celula-fotovoltaica.html#:~:text=A%20efici%C3%Aancia%20da%20c%C3%A9lula%20fotovoltaica&text=Um%20exemplo%3A%20uma%20c%C3%A9lula%20fotovoltaica,Watts%2C%20e%20assim%20por%20diante.> Acessado em: 20 nov. 2019.

RÉRAT, P. Housing, the compact city and sustainable development: Some insights from recent urban trends in Switzerland. **International Journal of Housing Policy**, 115–136, vol. 12, 2012.

SEGUEL, J. I. L. **Projeto de um sistema fotovoltaico autônomo de suprimento de energia usando técnica MPPT e controle digital**. 2009. 206 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

SHAYANI, R. A.; de OLIVEIRA, M. A. G.; CAMARGO, I. M. de Toledo. **Comparação do Custo entre Energia Solar Fotovoltaica e Fontes Convencionais**. In: **Congresso Brasileiro de Planejamento Energético**. Edição: 5. 2006, Brasília. **Anais...** Brasília, 2006.

STA. **Portal da empresa STA - Sistemas e Tecnologia Aplicada**. Disponível em: [https://www.sta-eletronica.com.br/artigos/baterias-recarregaveis/baterias-de-chumbo/como-descarregar-uma-bateria-selada-de-chumbo-acido#:~:text=O%20n%C3%BAmero%20t%C3%ADpico%20de%20ciclos,profundidade%20de%20descarga%20\(descarga%20rasa\)>](https://www.sta-eletronica.com.br/artigos/baterias-recarregaveis/baterias-de-chumbo/como-descarregar-uma-bateria-selada-de-chumbo-acido#:~:text=O%20n%C3%BAmero%20t%C3%ADpico%20de%20ciclos,profundidade%20de%20descarga%20(descarga%20rasa)>). Acessado em: 24 out 2020.

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ. **Normas para elaboração de trabalhos acadêmicos**. Curitiba: Editora Reitoria, 2008. Disponível em: http://paginapessoal.utfpr.edu.br/amauriassef/tcc-engenharia/normas_trabalhos_utfpr.pdf/view>. Acessado em: out. 2020.

URBANETZ JR, J. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Redes de Distribuição Urbanas: Sua Influência na Qualidade da Energia Elétrica e Análise dos Parâmetros que Possam Afetar a Conectividade**, Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis, 2010.

URBANETZ, JR., TIEPOLO, G., CASAGRANDE, E., TONIN, F., MARIANO, J. **Geração Distribuída Fotovoltaica: O Caso dos Sistemas Fotovoltaicos da**

UTFPR em Curitiba. In: Congresso Brasileiro de Planejamento Energético.
Edição: 10. 2016, Gramado-RS. Anais... Gramado-RS.

VEIGA, J. E. da. **Sustentabilidade: a legitimação de um novo valor.** São Paulo.
Editora SENAC, 2010.

VERA, H. L. **Análise do comportamento de baterias em sistemas fotovoltaicos autônomos.** 269 f. Tese (Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações.** São Paulo: 1ª ed. Ed. Érica, 2012

WILSON, A., & BOEHLAND, J. **Small is beautiful: U.S. house size, resource use, and the environment,** ed. by Massachusetts Institute of Technology and Yale University. **Journal of Industrial Ecology**, v.9, n. 1-2, 277–287, 2005.

ZOMER, C. D. **Usina solar fotovoltaica integrada a uma edificação urbana: o maior gerador solar do hemisfério sul.** In: Eco Logicas: Concurso de Monografias sobre Energias Renováveis e Eficiência Energética, Santa Catarina: Instituto Ideal, 2008.