UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA
LUCAS GOULART RIBEIRO

ANÁLISE DO CONSUMO SISTEMA FOTOVOLTAICO ISOLADO: LEVANTAMENTO E DIMENSSIONAMENTO.

Tubarão

2020

LUCAS GOULART RIBEIRO

ANÁLISE DO CONSUMO SISTEMA FOTOVOLTAICO ISOLADO: LEVANTAMENTO E DIMENSSIONAMENTO.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade do Sul de Santa Catarina como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Mes. Jorge Alberto Lewis Esswein Junior.

Tubarão

2020

LUCAS GOULART RIBEIRO

ANÁLISE DO CONSUMO SISTEMA FOTOVOLTAICO ISOLADO: LEVANTAMENTO E DIMENSSIONAMENTO.

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado à obtenção do título de Engenheiro Eletricista e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Elétrica da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Tubarão, (30) de (Outubro) de (2020).

Professor e orientador Mes. Jorge Alberto Lewis Esswein Junior.
Universidade do Sul de Santa Catarina

Professor Mes. Francisco Duarte de Oliveira.
Universidade do Sul de Santa Catarina

Professor Mes. Luís Fernando Ferreira de Campos
Universidade do Sul de Santa Catarina

“ Dedico primeiramente esse trabalho aos meus pais, pilares da minha formação como ser humano. Depois a todos os professores que me influenciaram professor Jorge, meu orientador, com quem compartilhei minhas dúvidas e angústias a respeito do tema. E por fim para todos aqueles que me apoiaram de forma direta ou indireta nessa trajetória. ”

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a aos professores Mes. Jorge Alberto Lewis Esswein Junior que foi o professor responsável por orientar o projeto, a prof. Lic. Adriana Salvador Zanini que coorientadora responsável na disciplina disponibilizada pela Unisul, e pôr fim a Reevisa Energia por apoiar e fornecer os equipamentos necessários para a realização dos trabalhos.

RESUMO

A presente pesquisa se enquadra no cenário de pesquisa e desenvolvimento, consiste em analisar unidades consumidoras com o objetivo de levantar dados sobre o consumo de equipamentos domésticos usuais para o levantamento do uso de energia em kWh de maneira precisa, objetivando uma necessidade do mercado fotovoltaico que está em constante crescimento conforme publicações constates da ABSOLAR, crescimento do mercado também estimula a novos nichos de atuação sistema que atendam a geração isoladas é uma das áreas de atuação do mercado solar que cresce junto com o setor.

O projeto destes sistemas sobre alguns dilemas principalmente em função do levantamento do consumo de energia de uma maneira precisa, e a pesquisa busca apresentar uma solução com base nos levantamento dos equipamentos mais usuais em unidades com estas características buscando como referência publicações de estudos de grandes atuadores do mercado de pesquisa energética como PROCEL, estudos de perfil de consumo de cada carga, e elaboração de uma tabela com os dados de consumo levantados através destas medições de campo com o objetivo de auxiliar na fidelidade de futuros projetos de engenharia que necessitem destes dados.

Palavras-chave: Sistemas isolados, geração solar e estudo de consumo.

ABSTRACT

The present research fits into the research and development scenario, it consists of analyzing consumer units with the objective of collecting data on the consumption of usual household equipment to survey the use of energy in kWh in a precise manner, aiming at a need of the photovoltaic market that it is constantly growing, according to publications published by ABSOLAR, market growth also stimulates new niches of activity that serve the isolated generation is one of the areas in which the solar market grows along with the sector.

The design of these systems on some dilemmas mainly due to the survey of energy consumption in a precise way, and the research seeks to present a solution based on the survey of the most common equipment in units with these characteristics, seeking as reference publications of studies of large actuators. of the energy research market such as PROCEL, studies of the consumption profile of each load, and the elaboration of a table with the consumption data collected through these field measurements in order to assist in the fidelity of future engineering projects that require these data.

Keywords: Isolated systems, solar generation and consumption study.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: PIB e oferta de energia..... 17
Figura 2: Recurso solar mundial..... 20
Figura 3: Movimento de rotação e translação. 21
Figura 4: Estrutura com controlador de carga. 22
Figura 5: diagrama UP3000..... 27
Figura 6: Inversor híbrido instalado. 30
Figura 7: Selo PROCEL. 35
Figura 8: Curva de consumo da energia nacional..... 36
Figura 9: Participação dos equipamentos no consumo residencial. 37
Figura 10: Curva de consumo no Sul do país..... 38
Figura 11: Medição de tensão e corrente da cafeteira. 42
Figura 12: Medições de tensão e corrente do secador de cabelo..... 43
Figura 13: Medições de Corrente com velocidade máxima, média e baixa do ventilador..... 44
Figura 14: FP Ventilador..... 44
Figura 15: Horário de utilização Televisor..... 46
Figura 16: Sala..... 48
Figura 17: Cabos e RE7000..... 48
Figura 18: Conexões RE7000..... 49
Figura 19: Curva de potência do Condicionador de ambiente. 49
Figura 20: Foto da geladeira..... 50
Figura 21: Curva de potência da geladeira. 51
Figura 22: Diagrama unifilar das proteções. 60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Parâmetros UP3000. 29
Tabela 2: Consumo. 52
Tabela 3: Consumo equipamentos refrigeradores. 52
Tabela 4: Calculo consumo em dois dias. 54

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 12
1.1 JUSTIFICATIVA 12
1.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA 14
1.3 OBJETIVOS 14
1.3.1 Objetivo Geral 14
1.3.2 Objetivos Específicos 15
1.4 DELIMITAÇÕES 15
1.5 METODOLOGIA 15
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO 15
2 CRESCIMENTO DO SETOR 17
3 RECURSO SOLAR 19
3.1 IRRADIAÇÃO 19
3.2 VARIAÇÕES DE IRRADIAÇÃO AO LONGO DO ANO 20
4 MODELO DE GERAÇÃO ISOLADO (*OFF-GRID*) 22
4.1 MODELO COM CONTROLADOR DE CARGA 22
4.2 MODELO COM INVERSORES HIBRIDOS 25
5 CRITÉRIOS DE DIMENSSIONAMENTO E COMISSIONAMENTO 31
5.1 DIMENSSIONAMENTO 31
5.2 COMISSIONAMENTO 33
6 DEFINIÇÃO DO CONSUMO 34
6.1 PROCEL 34
6.2 ESTUDO DE CONSUMO 40
7 CÁLCULO DA ENERGIA 53
8 CALCULO DOS MÓDULOS E DAS PROTEÇÕES 57
9 CONCLUSÃO 61
ANEXO A 62
REFERÊNCIAS 63

1 INTRODUÇÃO

O crescimento do setor de energia solar no Brasil é evidente, com todo o desenvolvimento do setor e maior atratividade novas soluções começam a aparecer, geração de energia em sistemas isolados é uma. O setor sofre com alguns problemas, diferentes dos modelos de geração distribuída conectados à rede dependência total do sistema sem a opção de buscar outras fontes de geração quando houver escassez de recurso, alta vulnerabilidade a fenômenos geográficos regionais que possam diminuir a eficiência, definição da energia que será consumida pela unidade sem ter histórico de consumo dos usuários.

Como conclusão da pesquisa uma solução referente a obtenção da energia necessária para a implementação do sistema será apresentada.

Sistemas isolados possuem características operacionais que devem ser enquadradas no perfil do usuário da planta, e para excelência do projeto de engenharia, deve ser dado atenção para o planejamento, organização e execução da obra. É na parte de planejamento que a pesquisa se enquadra buscando oferecer uma ferramenta para o dimensionamento do consumo adequada.

1.1 JUSTIFICATIVA

A área de Energia Solar vem crescendo muito nos últimos anos, de acordo com dados de 2019 da ABSOLAR (Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica) o setor dobrou a potência kW instalados nos últimos 3 anos.

O crescimento do setor significa maior investimento no mercado, popularização do modelo e assim maior confiabilidade dos investidores para serem ousados e entrarem no setor com projetos cada vez mais diferenciados.

ABSOLAR apresenta muitos dados sobre energia solar, mas enfatiza muito a potência instalada por unidades conectadas a rede *On-Grid* (tradução do inglês conectado à rede, esta expressão se refere a unidades que tem geração própria, mas ainda permanecem conectados à rede de uma concessionária).

A própria ABSOLAR aponta que o fator que mais influenciou o crescimento do setor é a viabilidade econômica, já que no ano de 2017 este mercado não apresentava grande retorno do investimento feito pelo proprietário, depois desta fase com novos equipamentos surgindo constantemente no mercado o barateamento de tecnologias mais obsoletas foi

inevitável e assim tornando os sistemas mais atrativos para importação e implementação em território Brasileiro.

Já no caso dos sistemas de geração isolados ou desconectados da rede *Off-Grid* (do inglês desconectados da rede, expressão utilizada para representar unidades que possuem geração, mas não tem vínculo com concessionária) é um mercado que possui algumas dificuldades no levantamento de números e dados de crescimento, já que os equipamentos instalados não precisam de nenhum vínculo com a concessionaria ou autorização do governo para o funcionar.

Observa-se que os dois pontos que impulsionaram o mercado de geração distribuída no Brasail mostram-se vantajosos também no mercado de geração em unidades isoladas do SIN (Sistema Interligado Nacional), o barateamento dos equipamentos e novas tecnologias atendendo novas necessidades, o que influenciam diretamente na área e torna viável o mercado para diferentes perfis de proprietários.

Podem ser citadas como algumas vantagens de sistemas *Off-Grid*, não pagar imposto sobre a energia utilizada, ter a possibilidade de aumentar o sistema gradativamente com total dependência do investidor, não depender de um ponto de conexão fixo e nem compromisso contratual com uma respectiva concessionária, abrangendo assim unidades consumidoras móveis, instalação de unidade consumidoras muito remotas onde não possui fornecimento de rede elétrica ou algum embargo governamental, instalação de unidades em locais onde a rede elétrica tem uma má disponibilidade com frequentes faltas de energia neste caso o sistema opera como uma redundância para os casos de necessidade.

Outra grande vantagem é a implementação de sistemas híbridos onde a geração também pode vir de outras fontes que não exclusivamente solar, assim o consumidor pode ter um gerador a combustão por exemplo garantindo redundância e flexibilidade, variando muito com o perfil do consumo e características do meio a ser instalado.

Neste perfil se enquadra muito bem as comunidade indígenas ou muito remotas que conforme descrito por documentos informativos do IEMA (Instituto de Energia e Meio Ambiente) no Amazonas comunidades muito isoladas utilizam apenas gerador a diesel e entre as principais dificuldades do modelo de geração é o racionamento do combustível, para este perfil o uso do gerador a diesel seria apenas para períodos muito prolongados de chuva que são comuns na região e para casos emergenciais de manutenção do sistema de geração solar, além é claro de diminuir o custo, logística gastos com o combustível e melhorar o ponto de vista ambiental dos modelos de geração implementados (IEMA, 2019).

Em contrapartida, entre algumas desvantagens do sistema *Off-Grid* estão a dependência de baterias para o armazenamento de energia, custo alto pra implementação dos sistemas dependendo do perfil da instalação, dificuldade de acesso e transporte de materiais até o local de instalação, considerando unidades remotas e de difícil acesso, limitação de espaço para unidade consumidoras móveis alta vulnerabilidade á fenômenos do meio natural extraordinários, como períodos chuvosos muito prolongados a exemplo do *El Niño* que afeta com frequência o litoral Brasileiro.

São poucas ou quase nenhuma as fontes bibliográficas sobre dimensionamento de sistemas isolados, as metodologias de sistemas conectados à rede elétrica não podem ser aplicadas para determinação da energia necessária em alguns casos ou não mostram muita confiabilidade e muita precisão.

Algumas dificuldades por exemplo para cálculo do consumo, é extrair informações do proprietário que na maioria dos casos é leigo e passa informação equivocadas do futuro consumo previsto ou equipamentos a serem instalados, outra dificuldade é mesmo sabendo os equipamentos a serem instalados determinar de maneira confiável e com redundância coerente a energia necessária dentro do perfil de consumo.

Visando facilitar e apresentar um método compatível com perfil residencial e dimensionamento coerente de sistemas isolados a presente pesquisa trata da elaboração de um método para o cenário proposto, tratando principalmente do perfil de consumo e dimensionamento de energia necessária.

1.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

A presente pesquisa trata do desenvolvimento de metodologia para identificação de perfis de consumo e elaboração de uma solução para dimensionamento do consumo de Unidades Isoladas. Como objetivo identificar e solucionar problemas do setor de geração isolados referente ao dimensionamento do consumo dos equipamentos.

1.2.1 Objetivo Geral

Obter dados em relação as características do consumo de unidades consumidoras de perfil residencial em relação aos equipamentos instalados com o objetivo de elaborar uma tabela para definição da energia consumida pelos equipamentos residenciais assim dimensionar os equipamentos de maneira correta.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Definir metodologia para quantificar perfil de consumo horário de energia elétrica em unidades consumidoras residenciais.
- Apresentar dados do consumo dos equipamentos.
- Realizar um estudo de consumo dos equipamentos, diferenciando a potência máxima que pode atingir e a potência usual de operação.
- Desenvolver ferramenta que apresente a curva de consumo de unidade consumidora residencial com base no perfil dos usuários do sistema.
- Definir horários de utilização com base no perfil de consumo regional.
- Especificar critérios para o cálculo do consumo de uma Unidade e identificar os valores que podem variar conforme o perfil de consumo, justificando os valores de consumo levados em consideração.
- Elaborar uma tabela de carga conforme os dados Coletados e equipamentos estudados.

1.3 DELIMITAÇÕES

A presente pesquisa tem o objetivo de elaborar um método para o dimensionamento do consumo de Unidades Isoladas.

1.4 METODOLOGIA

A metodologia é de natureza aplicada com atuação na área de desenvolvimento de um método coerente para dimensionamento do consumo Unidades Isoladas.

Buscando referência nas poucas literaturas que tratam do assunto e estudando e leva em consideração equipamentos residenciais que frequentemente são encontrados nas residências do sul do país para cálculo do consumo para cada um deles.

Medição do consumo de energia com diferentes critérios para os diferentes equipamentos definindo uma potência de utilização para cada um deles.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta pesquisa é dividida em duas etapas primeiramente a definição do consumo de equipamentos conforme referência de literaturas e medições de campo, esta etapa consiste em realizar estudos de equipamentos instalados para obter o consumo real do equipamento, este processo implica no estudo de perfis de consumo reais na medição de consumo médio de diferentes equipamentos na coleta, tratamento e interpretação dos dados, respectivas curvas de

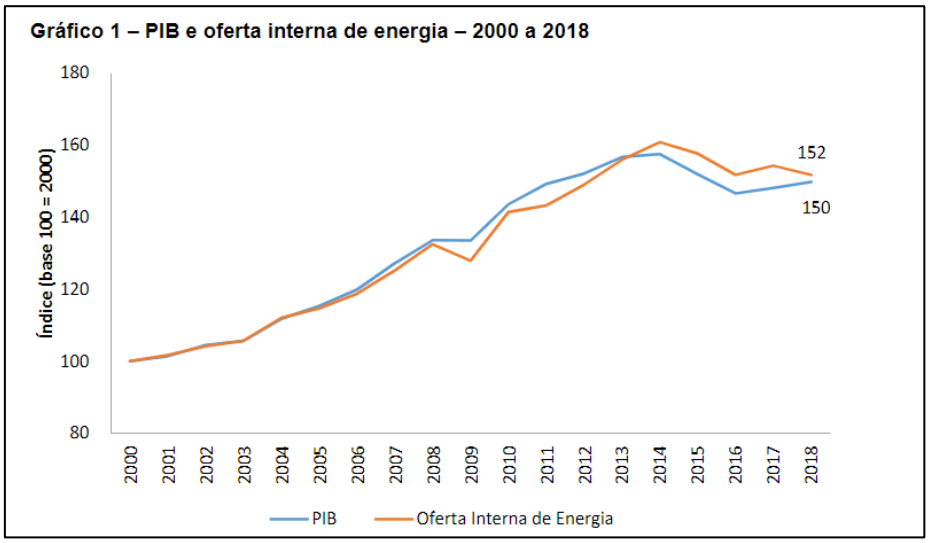
consumo para equipamentos que possuem grande variação na potência, e cálculo da média de energia consumida.

A segunda parte é o resultado da pesquisa com a consequente elaboração de uma tabela de dimensionamento de consumo de energia dos respectivos equipamentos listados, para uma Unidade simulada conforme o perfil comum do brasileiro da região sul do país.

2 CRESCIMENTO DO SETOR

O crescimento do setor de geração de energia no Brasil é evidente, de acordo com dados informativos publicados pela EPE (Empresa de Pesquisa e Energia) em parceria com AIE (Agência Internacional de Energia) em um estudo de eficiência energética nomeado como Atlas da Eficiência Energética do ano de 2019, o PIB tem uma relação direta com o a disponibilidade e necessidade energética conforme a figura 01.

Figura 1: PIB e oferta de energia.



Fonte: Adaptado de Atlas da Eficiência Energética do Brasil, EPE 2019.

O nicho de geração solar possui um papel importante neste cenário considerando que a matriz elétrica do Brasil tem uma fatia de 77% proveniente de fontes renováveis, conforme dados publicados pela EPE em 2016, o resto do mundo estava com a matriz elétrica renovável em torno de 14%, é um histórico que mostra o interesse em fontes limpas e cada vez mais baratas dentro do cenário de geração brasileiro.

Os números apontam que para o desenvolvimento o país também caminha em direção ao aumento de demanda energética, então para o desenvolvimento de comunidades mais isoladas a eletrificação é extremamente necessária.

Isso aponta para outro fator, que o país apresenta abundância em potencial de geração com relação a fontes renováveis, um grande exemplo é a geração hídrica que representa pouco mais de 65% do setor elétrico nacional, o recurso hídrico foi amplamente utilizado em larga escala no país a exemplo de grandes geradores como Itaipu, usina de geração que se encontra na divisa do país com o Paraguai, Outra grande solução como fonte de energia

renovável em larga escala que vem tomando proporções cada vez maiores é a eólica e a biomassa onde cada uma representa aproximadamente 8%.

O recurso hídrico no país é abundante porém nem sempre utilizável, existem muitos fatores envolvidos na implementação de PCH (Pequenas Centrais Hidroelétricas) alguns deles são ambientais, econômicos e logísticos, por exemplo existem fontes fluviais que podem ser utilizadas mas acabam se tornando inviáveis por necessidade da criação de um reservatório, isso pode significar um possível alagamento territorial, desapropriações que podem custar caro para um potencial investidor, isso é claro sem considerar o impacto ambiental da implementação de uma barragem.

O recuso energético solar se difere muito do hídrico principalmente na questão de disponibilidade de energia, o modelo de micro geração de sistema solar por exemplo implica em que os sistemas transmitam toda energia da rede conforme a disponibilidade do recurso, isso é um ponto negativo já que de noite por exemplo onde o recurso solar é zero a geração também é zero.

3 RECURSO SOLAR

A fonte primordial dos sistemas solares são os raios solares, para a implantação de sistema é importante o entendimento do recurso disponível, com o objetivo de avaliar a viabilidade técnica e financeira.

3.1 IRRADIAÇÃO

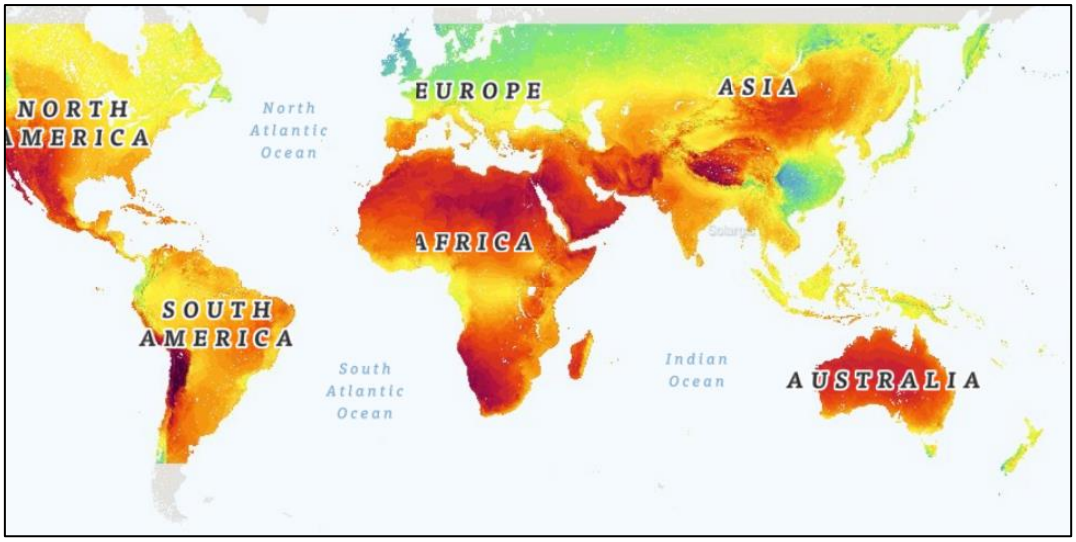
Referente a disponibilidade do recurso solar o Dr. Gerhard Knies fundador da TREC (Cooperação Trans Mediterrânea de Energias Renováveis do inglês *Trans-Mediterranean Renewable Energy Cooperation*) fez um levantamento no ano de 1986 e disse "Em apenas 6 horas os desertos da terra recebem energia suficiente para abastecer toda a humanidade por 1 ano" a frase mostra o poder da geração solar em escala mundial.

De acordo com a figura 2 o Brasil possui uma boa média de irradiação solar em todo território nacional tornando viável a implementação de sistemas desse perfil, outro ponto interessante é que apresenta irradiação 1526,4 kwh/m².ano nas proximidades da UNISUL em pontos de concentração populacional, isso significa uma maior facilidade de aproveitamento para micro geradores e redução de custo logístico para mini geradores, consequentemente uma atratividade maior para o mercado.

Em relação aos sistemas de geração solar isolados o recurso se mostra promissor já que se distribui de maneira homogênea em todo território nacional, isso permite tratar localidades diferentes de forma similar, o que facilita a instalação de sistema com bateria para o armazenamento de energia, a sazonalidade do recurso durante o ano também possui menos variação do que na Europa em locais com alta latitude.

De acordo com uma consulta realizada no site da CRESESB (Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito) na cidade de tubarão onde se encontra a UNISUL (Universidade do Sul de Santa Catarina) a média de irradiação por dia em dezembro de 2019 foi de 5,99 kWh/m².dia, isso mostra um potencial bem razoável de geração.

Figura 2: Recurso solar mundial.



Fonte: Adaptado de globalsolaratlas.info, 2010.

3.2 VARIAÇÕES DE IRRADIAÇÃO AO LONGO DO ANO

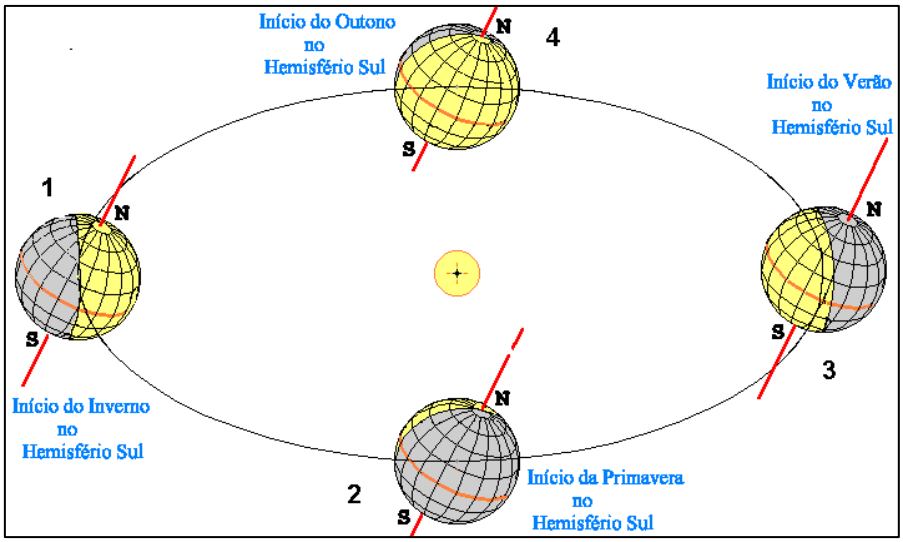
Existem alguns fatores que influenciam nos valores de irradiação, o principal e mais recorrente são os movimentos de rotação do planeta terra. Os respectivos movimentos de rotação e translação terrestres fazem com que o dia e noite, assim como as quatro estações do ano sejam percebidas de maneira distinta em localidades diferentes do globo.

O movimento de rotação tem relação com o período de iluminação do dia, e varia pouco o recurso disponível, o movimento de translação é responsável pelas 4 estações anuais, e proporciona variação do recurso solar durante o ano, esse é um fator que deve ser considerado no dimensionamento de todo os sistemas solares, no caso de sistemas isolados é importante avaliar o período com menor recurso disponível, e dimensionar o sistema em cima desses valores, com o objetivo de garantir disponibilidade de uso adequado do sistema em todos os períodos do ano.

O estado de Santa Catarina se encontra no hemisfério Sul, e os valores de irradiação considerados devem ser feitos considerando as características geográficas locais, de maneira geral no inverno a localidade se encontra a uma distância maior do sol, no verão a uma distância menor, essa distância faz com que os valores de irradiação sejam menores no inverno do que no verão.

No hemisfério sul o verão é no período do final do ano, enquanto no hemisfério norte o inverno é no período do final o ano, consequentemente na região sul do Brasil, devem ser considerados os valores menores de geração entre 21 de junho e 23 de setembro.

Figura 3: Movimento de rotação e translação.



Fonte: Adaptado de portalcienciaviva.blogspot.com, 2012.

A correta definição do recurso disponível necessita de uma análise caso a caso, existem muitos fatores locais que podem influenciar, sejam eles positivos ou negativos, nos casos de centros urbanos o fator de sombreamento devido a grandes construções é um determinante.

Construções locais podem influências devido a cor também, prédio brancos refletem muito a luz do sol e isso pode melhorar a eficiência do sistema, desde que a construção não provoque perdas por sombreamento.

Em localidades isoladas morros podem causar sombreamento, a vegetação local também pode influenciar, então para o dimensionamento de sistema que possuem fatores influenciadores locais é recomendado uma visita técnica e uma simulação de sombreamento via aplicativo especializado.

Alguns aspectos como nebulosidade também influenciam na irradiação média das localidades, mas os valores propostos pela CRESESB já levam em consideração esses fatores, alguns aspectos regionais também influenciam como temperatura média durante o ano, esses critérios tem que ser considerados no momento do dimensionamento.

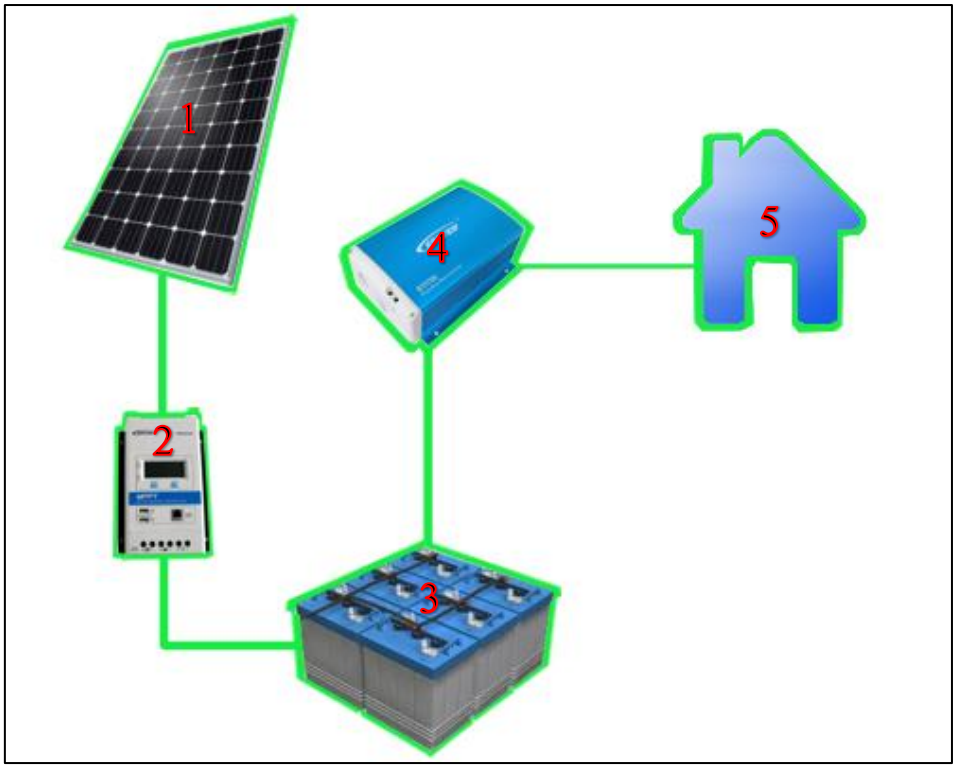
4 MODELO DE GERAÇÃO ISOLADO (*OFF-GRID*)

O foco do presente trabalho é nos modelos de geração solar isolados ou *Off-Grid*, estes modelos podem variar bastante conforme as tecnologias utilizadas, aqui serão apresentados dois principais modelos, um que necessita de controlador de carga separado, que é um sistema mais barato de manutenção e substituição de equipamentos mais fácil, e o outro modelo é um mais seguro e que pode abranger outras formas de geração que não exclusivamente a solar, com inversores híbridos.

4.1 MODELO COM CONTROLADOR DE CARGA

Cada configuração possui um uso específico, no caso da implementação com controladores de carga o sistema pode ser mais compacto devido ao tamanho dos equipamentos, esta configuração se encaixa melhor em unidades móveis, como motorhome, caminhões, barcos entre outros, nesta configuração os equipamentos utilizados são módulos solares, controlador de carga, baterias e inversor, são conectados conforme a figura 3.

Figura 4: Estrutura com controlador de carga.



Fonte: Acervo do autor 2020.

Na figura 4 o número 1 representa os módulos solares, que podem ser instalados em diferentes configurações conforme a necessidade, os respectivos equipamento e manuais apresentam as configurações mais recomendadas, para uma instalação eficiente é necessário o conhecimento das especificações técnicas e necessidades dos equipamentos, as duas principais variáveis são os níveis de tensão e corrente dos equipamentos que vão ditar principalmente a configuração e conexão dos módulos.

O número 2 representa o controlador, este equipamento pode ter várias funções e modelos diferente conforme fabricante, mas no geral tem um *display* informando aspectos técnicos como temperatura das baterias corrente e tensão dos módulos e a carga em porcentagem do banco de baterias, este equipamento pode possuir uma saída auxiliar para carga em 12V.

A saída 12 V CC (Corrente Contínua) do controlador de carga é um grande ponto do equipamento, principalmente para a instalação de iluminação, lâmpadas de LED (diodo emissor de luz do inglês, *light-emitting diode*) são historicamente mais eficientes que os outros modelos, e são facilmente encontradas no mercado na tensão de operação de 12V, para esses casos o controlador alimenta a carga prioritariamente com a energia gerada pelo sol, e em caso de falta de geração para a demanda da carga instala na saída 12V o controlador alimenta os equipamentos com a energia das baterias.

O controlador pode ser classificado principalmente em dois grupos, pelo menos nas instalações de baixo consumo, os controladores MPPT (Rastreador de Máxima Transferência de Potência do inglês, *Maximum Power Point Tracking*) e os PWM (Modulação por Largura de Pulso do inglês, *Pulse Width Modulation*), a tecnologia PWM para controladores está obsoleta no entanto é bem mais barata e em alguns casos pode se tornar interessante para o proprietário, o PWM não é muito eficiente porque ele possui um circuito interno que fatia a tensão aproveitando somente a tensão de operação em geral 12V.

No caso dos controladores MPPT o circuito interno procura o ponto de máxima transferência de potência reduzindo a tensão dos módulos e aumentado a corrente, até chegar em um limiar de aproveitamento máximo, é importante colocar que o aproveitamento varia conforme vários fatores externos como irradiação do sol, temperatura, sombreamento e inclinação do sol e dos módulos, então o equipamento tem que rastrear constantemente a melhor eficiência.

O número 3 representa o banco de baterias que pode ter sua configuração bem variável, aqui a conexão em série ou paralelo das baterias é determinada primordialmente pela tensão de operação do inversor e do controlador, geralmente inversores menores operam em

12, 24 e 48 V, no caso de 24V podem ser ligadas duas baterias de 12V em paralelo para satisfazer os requisitos do sistema. A vantagem de trabalhar com o banco de baterias em tensões maiores são a redução do custo e com cabos e proteções devido a menor corrente elétrica.

Novamente as especificações de conexão e maior eficiência variam conforme cada modelo e para garantir qualidade da instalação a configuração da conexão das baterias também deve ser estabelecida conforme o manual dos respectivos equipamentos.

Alguns inversores trabalham com mais eficiência quando o banco de baterias tem uma tensão maior, 24 V por exemplo, mas neste caso a conexão de um módulo de 18 V faria com que o controlador de carga perca eficiência, mesmo os inversores híbridos possuem esse equipamento internamente e fazer com que ele decresça a tensão de entrada pode resultar em baixa eficiência, então seria mais adequado instalar um controlador 12 V e um inversor 12 V.

No caso da tecnologia empregada nas baterias o mercado vem evoluindo, porém o valor agregado de novas tecnologias de armazenamento de energia ainda é muito alto, um breve comparativo as maiores populares do mercado, uma bateria automotiva de lítio comum e uma estacionária, considerando aqui o preço por Ah, uma estacionária de 220 Ah tem o valor de R$ 1.300,00 em média no mercado, resultando em 5,41 [R$/Ah], este equipamento possui uma vida útil de 5 anos conforme o fabricante e garantia de 2 anos, suporta 1000 ciclos para descargas de 60% comumente utilizada em sistemas isolados, já uma bateria de 220 Ah comum geralmente destinada a aplicação em caminhões e motor homes custa em média R$ 600,00 resultando em 2,4 [R$/Ah] garantia de 1 ano, informações sobre quantos ciclos este produto suporta são difíceis de encontrar inclusive o próprio manual não apresenta clareza nos dados a respeito, pois as mesmas não foram desenvolvidas para aplicações com descargas.

Existem algumas outras tecnologias disponíveis como OPzS (Placa Tubular Estacionária Especial do alemão (*Ortsfeste Panzerplate Spezial*) aplicada geralmente em telecomunicações e sistemas de iluminação emergencial de alta prioridade, VLRA (Chumbo-Ácido regulado por válvula do inglês (*Valve Regulated Lead Acid*) ainda com subdivisão em AGM (manta de fibra de vidro absorvente do inglês *Absorbent Glass Mat*) e Gel.

Um comparativo do preço por Ah em função da tecnologia estabelecido em função de grandes representantes no mercado Brasileiro, como NeoSolar e Moura, importante colocar que o preço por Ah pode aumentar muito conforme a capacidade dos bancos pesquisados, logo para fins de estabelecer uma referência os dados são válidos, mas não para comparativo comercial, OPzS – 32,54 [R$/Ah] e VLRA AGM – 70,83 [R$/Ah].

O número 4 representa o inversor, esses equipamentos isolados variam muito conforme marca, modelo e preço, os critérios que mais influência na escolha de um inversor

são a aplicação, o espaço disponível e o custo, inversores para aplicação residencial mais eficientes costumam operar em 12V até 48V, já equipamentos menores com aplicação para consumidores móveis a faixa de tensão é 12V.

Os equipamentos variam com a eficiência mas também variam conforma a onda de saída, por exemplo em uma aplicação onde são ligadas lâmpadas de LED, é necessário que se instale inversores de onda pura, esses inversores são bem mais caro, mas na aplicação sugerida se torna necessário porque os equipamentos ligados podem deixar de funcionar caso contrário ou diminuem significativamente sua vida útil. Já os modelos de onda modificada possuem uma onda de saída com ruídos de alta frequência e cortes na onda senoidal, isso pode gerar danos a equipamentos sensíveis.

O número 5 representa a carga a ser utilizada, como o foco da pesquisa são equipamentos de uso doméstico a representação foi de uma casa, daqui se extraem as informações para realizar o dimensionamento de um sistema, dentro de uma unidade consumidora pode existir equipamentos com características de ligação diferentes por exemplo alguns operam em 50 Hz outros em 60 Hz, alguns de tensão 110 V ou 127 V outros 220 V ou 230 V, essas características devem ser levadas em consideração pelo técnico antes de definir o equipamento.

Estes são os equipamentos necessários para a instalação deste modelo, porém em caso de uma execução efetiva ainda precisam ser analisados outros fatores como respectivas seções de cabos, proteções a serem instaladas, aterramento do sistema, estrutura de fixação dos geradores, local de instalação dos equipamentos e eficiência do sistema, a maioria destes tópicos não serão tratados muito profundamente pela pesquisa pois o foco é em determinar de maneira eficiente a energia necessária para a implementação de sistema.

4.2 MODELO COM INVERSORES HÍBRIDOS

Neste caso a implementação do sistema é muito parecida, o próprio inversor já possui um controlador de carga interno e uma entrada auxiliar de energia, os demais equipamentos continuam basicamente na mesma configuração.

Conforme a figura 5 mostra o inversor híbrido instalado na empresa Reevisa Energia, empresa que deu apoio a pesquisa e se colocou a disponibilidade de realizar estudos em plantas já operantes, para assim agregar mais confiabilidade a pesquisa.

O sistema está operando com um inversor de 3000W híbrido, e está sendo carregado por 6 módulos de 340 W ligados em série e paralelo, ainda está conectado na rede 220 V da concessionária para carregar as baterias caso necessário.

Neste caso a implementação tem uma destinação de suprir uma possível falta de energia mantendo os computadores, sistema de câmeras, alarmes e a internet funcionando com a energia das baterias carregadas, sempre está carregando e utilizando a energia das baterias e não opera em modo *by pass* (desviar do inglês *by-pass*, expressão utilizada para representar o momento em que os equipamentos elétricos trabalham em segundo plano), para o funcionamento correto a saída CA do inversor não pode entrar em contato com a rede da concessionária.

Como comentado anteriormente o sistema pode carregar as baterias com outras fontes de geração que não sejam exclusivamente solar, para isso a energia tem que chegar no inversor de maneira compatível com a entrada auxiliar, no caso é 110 ou 220V com frequência de 60 ou 50 Hz, estando dentro deste requisito qualquer fonte de geração é aceitável, alguns exemplos seriam geradores a combustão de biogás, fontes eólicas de baixa potência e geradores hidroelétricos, muito comum em locais remotos o uso de gerador a gasolina para esse uso como emergência.

Modelos como o apresentado tem um valor mais alto, porém são bem completos, possuem uma maior eficiência, e tem mais funções conforme o aumento da potência, exceto em caso de aplicação industrial que os equipamentos são muito menos intuitivos e muito mais técnicos.

A conexão da fonte auxiliar tem que ser feita exclusivamente no inversor, assim como os geradores fotovoltaicos, é importante ressaltar que mesmo tendo um gerador com uma potência maior do que a do inversor não existe restrição para a implementação, mas não é recomendado ligar mais de uma fonte auxiliar ao mesmo tempo, então no caso de mais de uma fonte alternativa, teria que ser implementada uma automação que garantisse que apenas uma estaria em operação alimentando o inversor.

Podemos citar como as marcas mais presentes no mercado na região Sul do Brasil Kstar, Serrana, WEG e Epever, estão são marcas amplamente aplicadas em sistemas regionais e comumente encontradas com referência em plantas operantes.

A principal característica do equipamento que deve ser levada em consideração é a potência de saída CA, que define a potência total de equipamentos que ele consegue alimentar, mas para critérios de planejamento é necessário avaliar os parâmetros de entrada PV

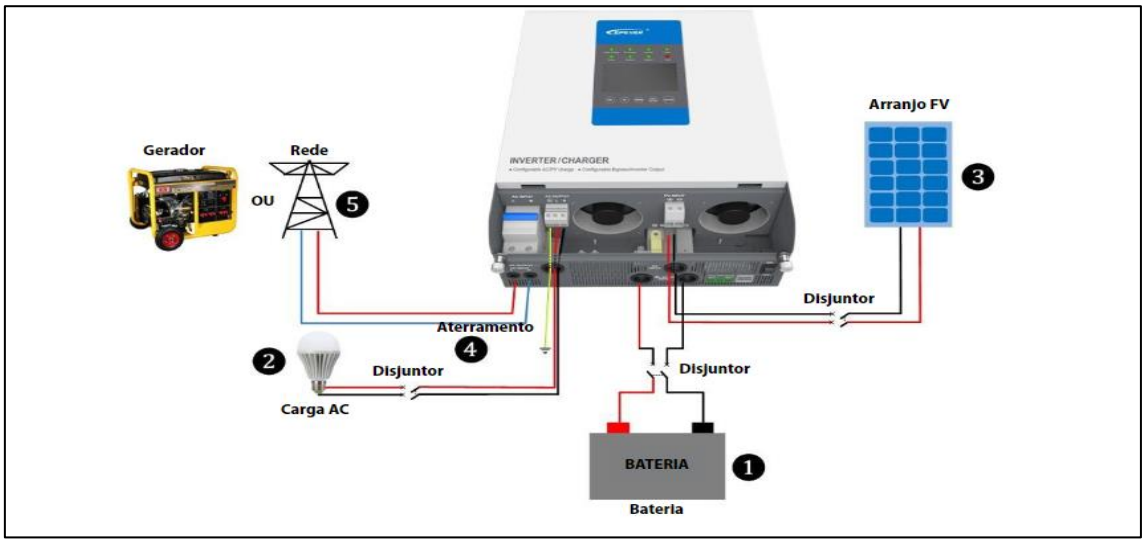
(fotovoltaico do inglês *Photovoltaic*), tensão de alimentação das baterias, tensão da entrada CA auxiliar e eficiência.

No caso do UPower 3000W os critérios estão na tabela 1 extraída do manual do equipamento, e o diagrama de conexões na figura 5.

Ainda existem algumas características importantes a serem observadas quando se analisa a carga instalada no equipamento, todas as cargas devem ser instaladas na saída CA do inversor, e devem respeitar os critérios, atingido em regime permanente no máximo 2400 W de potência instantânea, e 3000 W por no máximo 15 minutos.

Motores elétricos instalados na saída CA do equipamento necessitam respeitar a potência máxima de surto do equipamento, alguns exemplos de equipamentos moto bombas, geladeira, frigobar e climatizadores de ambiente, esses equipamentos possuem enrolamentos magnéticos que ao serem energizados quando estão inertes geram uma corrente de partida que pode chegar a 9,5 vezes a corrente nominal, portanto essa corrente de partida deve ficar abaixo de 6000 W considerando a tensão de operação.

Figura 5: diagrama UP3000.



Fonte: Adaptado de Manual UP3000.

Alguns desses equipamentos são amplamente utilizados em sistemas isolados, e merecem uma atenção especial, para garantir que não seja provocado nenhum dano ao inversor com a utilização deles, o uso simultâneo dos equipamentos também é importante, de maneira a fazer com que o sistema suporte a corrente de partida de motores elétricos, ainda existem algumas soluções que podem ser implementadas neste caso como *soft starter*, mesmo quando existem outros equipamentos funcionando na rede.

Tabela 1: Parâmetros UP3000.

UP3000	
Baterias	
Faixa de tensão das baterias	21,6~32VCC
Saída CA	
Potência de funcionamento contínuo	2400 W
Potência de saída (15 minutos)	3000 W
Potência máxima de surto	6000 W
Faixa de tensão de saída	220VCA±3%, 230VCA (-7%~+3%)
Frequência de saída	50Hz/60Hz
Formato de onda	Onda Senoidal Pura
Entrada CA Auxiliar	
Faixa de tensão de entrada	160VCA~280VCA (faixa de tensão de trabalho) 170VCA~270VCA (faixa de tensão de partida)
Corrente máxima de carga da rede	30A
Entrada Solar	
Máxima Tensão de Circuito Aberto	150V
Máxima Potência de Entrada	780W
Máxima Corrente de Carga	30A

Fonte: Adaptado de Manual UP3000.

Lâmpadas de LED também possuem algumas características especiais, alguns destes equipamentos possuem conversores CA-CC (Corrente Alternada para Corrente Contínua) isso faz com que não operem corretamente em inversores que possuem a saída CA com onda modificada, já em equipamentos com a saída CA em onda senoidal pura ela opera corretamente.

Lâmpadas de LED operam em corrente contínua, e para instalação em sistemas de corrente alternada é necessário um conversor, mas em sistemas isolados vale a pena instalar as iluminações diretamente em 12V, neste caso a lâmpada é conectada na saída auxiliar do controlador de carga, passando apenas por uma caixa de proteções que tem fusíveis que respeita a potência da carga, mas protegem o sistema com eventuais curtos.

A instalação de iluminações nesta configuração melhora a eficiência do sistema e barateiam o orçamento, já que equipamentos com essas configurações são facilmente encontrados no mercado, possuem um preço mais acessível já que não precisam de conversores CA-CC, e a melhor eficiência se deve a esse tipo de iluminação não precisar do inversor que como todo equipamento elétrico desperdiça energia, a eficiência do UP3000 é de 95% em condições ideais de temperatura, potência de operação e aquecimento dos cabos, em condições desfavoráveis o equipamento perde bastante eficiência e isso faz com que uma porcentagem da

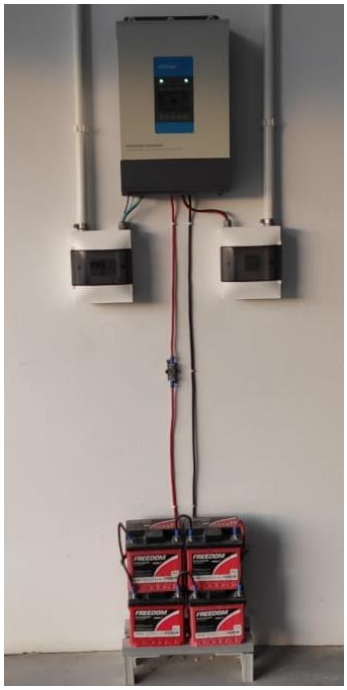
energia seja desperdiçada, enquanto que equipamentos conectados diretamente ao banco de baterias não possuem perdas por falta de eficiência do inversor. Alguns no mercado podem possuir eficiências abaixo de 80%, por isso a importância de buscar equipamentos de marcas e tecnologias confiáveis.

Inversores deste modelo não analisam a rede antes de entrar em operação eles modulam a saída CA diretamente sem nenhuma referência, então além de esses serem restritos a ligação isolada sem conexão com a rede de alguma concessionária, eles também não podem ser conectados simultaneamente em uma mesma rede isolada.

Para o caso de a potência da carga ser muito alta é sugerido a instalação de mais de um inversor, respeitando que os geradores solares devem ser independentes assim como o as saídas CA de cada um deles, podendo ser compartilhado apenas o banco de baterias, o compartilhamento do banco de baterias é importante, considerando que essa é uma das partes que mais encarece os sistemas isolados.

Para a instalação de mais de um inversor híbrido ainda é necessário o planejamento de carga para cada inversor, a distribuição deve ser feita considerando a simultaneidade da utilização dos equipamentos, as respectivas correntes de partida dos motores e potência de operação.

Figura 6: Inversor híbrido instalado.



Fonte: Acervo do Autor, 2020.

5 CRITÉRIOS DE DIMENSSIONAMENTO E COMISSIONAMENTO

Dois fatores muito influentes na comercialização do modelo são o dimensionamento e o comissionamento, no atual cenário do mercado muitas empresas deixam de lado os dois aspectos, principalmente por causa de uma cultura de instalação muito práticas derivadas de empresas especializadas em modelo de GD.

Com o objetivo de tornar a pesquisa mais confiável as duas etapas vão ser necessárias no decorrer do desenvolvimento do trabalho.

Dimensionamento no modelo de geração isolada tem que levar em consideração aspectos como o consumo do investidor, o racionamento e consumo planejado é essencial para o funcionamento adequado de uma planta, tendo em vista que sendo estimada uma quantia de energia para o consumo diário, o módulo tem que ter uma certa redundância de geração e as baterias redundância de carga para suprir o valor estimado em diversas situação de eficiência.

Já no aspecto de comissionamento tem que ser avaliado primeiramente a proposta, existe uma tendência a consumidores extrapolarem a energia diária proposta, e para o comissionamento de um modelo deste é importante avaliar primeiramente a proposta do projeto, tendo em vista garantir uma avaliação fidedigna com o respectivo projetista.

5.1 DIMENSIONAMENTO

No dimensionamento de uma planta de geração fotovoltaica isolada é importante definir critérios que o projeto deve suprir, entre eles a energia diária disponível e a redundância de energia para diferentes situações que podem implicar na eficiência do sistema.

Alguns critérios são genéricos e podem ser considerados universais para todos os sistemas de geração isolada, como a instalação em um lugar seguro dos equipamentos elétricos que possua ventilação e descarga máxima das baterias a 60% da energia total armazenada por elas, isso garante a vida útil designada pelos fabricantes, aspectos como este podem variar de acordo com o produto utilizado.

A redundância se baseia em garantir a quantia de energia ao consumidor minimizando os efeitos externos previsíveis, mas incontroláveis, como por exemplo períodos chuvosos ou períodos nublados muito prolongados, isso pode fazer com que a eficiência dos módulos solares fique comprometida, neste caso existem algumas alternativas.

Alternativas para o cenário onde o sistema pode ter a geração comprometida pode ser um racionamento mais extremo nestes períodos, essa alternativa não é muito confiável

porque depende do operador do sistema, que algumas vezes pode não ter o conhecimento necessário para fazer os respectivos ajustes no consumo, ou pode se sentir desconfortável ao fazer isso.

Instalar geradores a combustão como redundância pode ser uma alternativa bem convincente aos operadores de sistemas isolados, devido ao baixo investimento, manutenção e operação fácil, também existe uma alternativa de fazer com que o sistema por si supra essa deficiência de geração, para isso é necessário um grande investimento em redundância de geração e de armazenamento de carga, claramente é o modelo mais confortável, mas devido aos grandes valores redundantes aumenta bastante o orçamento do projeto.

Outro critério que influencia muito nos sistemas de geração isolados é a eficiência do equipamento relacionado com o valor investido, a característica custo-benefício pode fazer com que os critérios do sistema sejam rebaixados para caber dentro de um orçamento, no meio comercial isto é muito comum, e este aspectos geralmente é o principal limitante do sistema. Mas lembrando que a viabilidade econômica em um sistema off grid é vista em segundo plano, sendo que o principal fator determinante na aquisição do sistema é a necessidade de levar energia elétrica em locais onde a rede de distribuição não atende.

5.2 COMISSIONAMENTO

Os critérios de comissionamento têm que respeitar os critérios definidos no dimensionamento, e o sistema deve apresentar comportamento médio correspondente ao proposto.

Quando colocado em pauta o comissionamento é um assunto bem polêmico, porque existem algumas contradições, e o modelo de comissionamento atual no mercado é voltado para sistemas classificado como pequenos sistemas de GD e mini sistemas de GD.

A geração de energia com energia solar é comum tanto em GD quanto em GI, mas não significa os mesmos critérios devem ser adotados para avaliar os dois modelos.

No geral sistemas de GD de grande porte exigem o comissionamento, mas sistemas de GI não, para a delimitação dos critérios de GI pode se delimitar inicialmente aspectos universais e aspectos locais.

Aspectos universais serão considerados como instalação e conexão dos equipamentos de maneira correta e eficiente, aterramento feito de maneira correta no sistema, local de instalação seguro e ventilado, instalação de respectivas proteções no sistema, operação do sistema com redundância que garanta descarga máxima das baterias a 60% da carga nominal, cabos que atendam às necessidades do sistema não gerando aquecimento, conexão dos cabos feita de maneira condizente com a respectiva bitola e com o local da instalação, utilizando conectores específicos para ficarem expostos ao tempo e conectores que possam ficar abrigados, análise termográfica dos módulos solares, fixação segura e resistente dos mesmos.

Aspectos específicos serão considerados como eficiência dos módulos, análise do consumo planejado versus o consumo real, eficiência das baterias, eficiência do inversor, comportamento do sistema em situações extraordinárias específicas do local de instalação, eficiência dos sistemas em diferentes períodos do ano, consumo em diferentes períodos do ano, viabilidade do sistema.

Para a confirmação do correto funcionamento do sistema de GI é necessário avaliar se o consumo está dentro do planejado, dimensionar os valores de consumo de uma planta sem um histórico é o ponto que mais dificulta o projeto de sistemas isolados, no momento do comissionamento destes sistemas é importante levar em consideração do consumo proposto ao consumidor para a avaliação da performance do sistema, isso porque o consumidor pode estar gastando mais energia do que o planejado.

Evitar uma falha no momento do dimensionamento do consumo é o principal aspecto da pesquisa, visando minimizar as chances de erro no momento do projeto.

6 DEFINIÇÃO DO CONSUMO

Para a definição do consumo foi considerada uma planta residencial com eletrodomésticos usuais do público da região sul do Brasil, então foi realizada uma consulta aos dados técnicos de cada item com o objetivo de verificar a potência de cada equipamento os dias de utilização deste equipamento durante o mês e as horas de utilização durante o dia.

O modelo de cálculo da energia adotado na pesquisa leva em consideração um cálculo mensal, para aplicação em uma Unidade Isolada são necessárias algumas considerações.

Primeiramente a autonomia do sistema fica em torno de 48 horas, esse valor pode variar para mais ou para menos conforme a necessidade do consumidor final e conforme o orçamento total da obra, mas tipicamente em sistema é considerado um valor próximo a 48 horas que proporciona uma segurança ao consumidor e ao mesmo tempo não exige muita redundância para armazenamento de carga, que encarece muito o sistema.

A definição da lista de equipamentos a serem instalados, e as horas de utilização foi baseada em pesquisas do programa PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica), essa pesquisa de consumo foi direcionada à diferentes regiões do país e isso aumenta a diretividade com relação a definição do perfil de consumidor do sul do país.

6.1 PROCEL

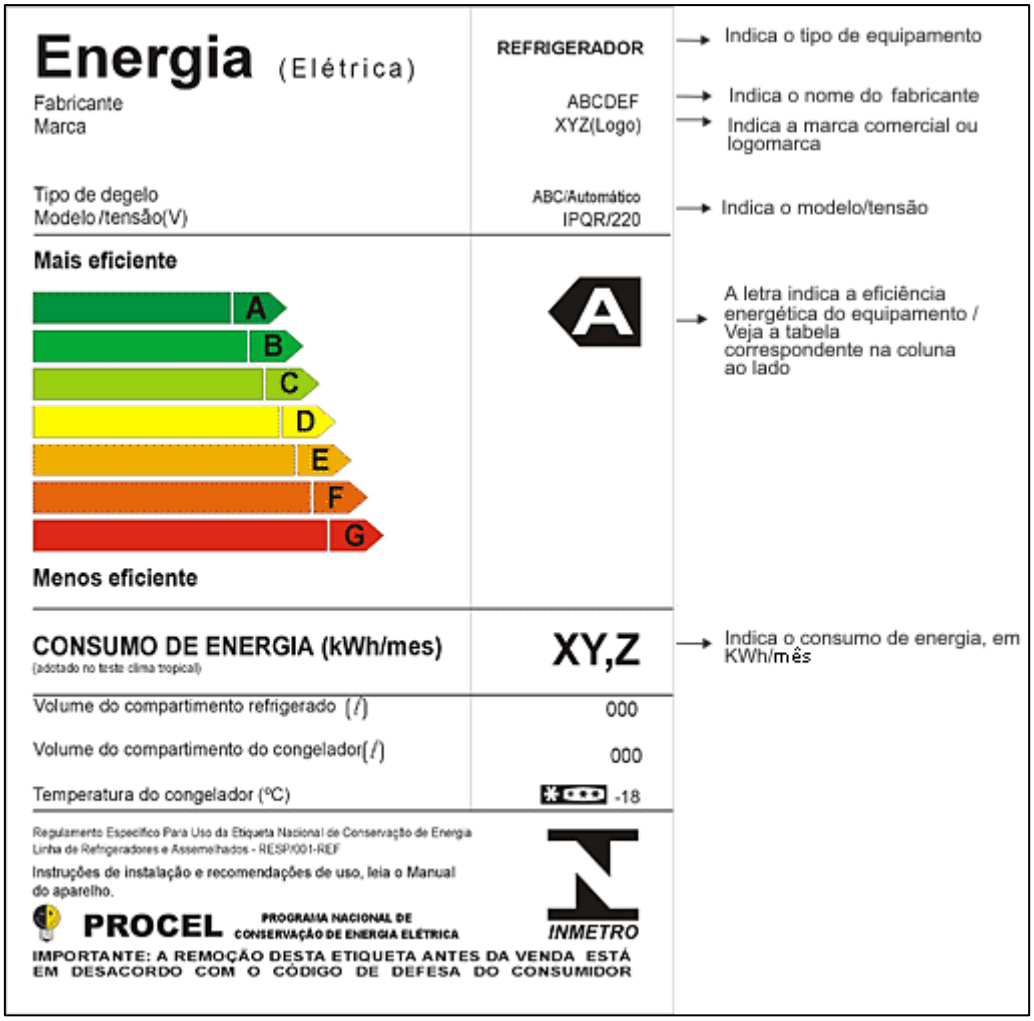
O consumo e residências no Brasil varia conforme vários fatores, e uma ferramenta importante que estuda as variáveis deste nicho é PROCEL esse programa visa o consumo racional de energia, faz isso com a utilização de várias ferramentas.

Uma das áreas de atuação do PROCEL mais conhecidas é o estudo de eficiência dos equipamentos elétricos, em uma parceria com o INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia) os aparelhos são levados ao laboratório e testes são realizados com o objetivo de classificar a eficiência em uma escala que varia de “A” equipamentos mais eficientes e “E” equipamentos menos eficientes conforme figura 7.

Essas informações são colocadas nos equipamentos através de um selo, e serve para orientar o consumidor final que possui pouco conhecimento técnico a adquirir equipamentos mais eficientes, influenciando e estimulando o menor consumo de energia elétrica, e a busca do órgão é incentivar o consumidor final a aumentar a eficiência dos seus equipamentos através da conscientização, mostrando que o consumo eficiente traz benefícios econômicos.

Algumas informações adicionais são colocadas como tipo de ligação do equipamento, monofásico, bifásico ou trifásico, fabricante, tipo de equipamento, rendimento do conjunto em porcentagem, rendimento do motor em porcentagem, capacidade de refrigeração em kW e BTU, vasão do equipamento, consumo em kWh, consumo em modo standby em kWh.

Figura 7: Selo PROCEL.



Fonte: PROCEL (2005).

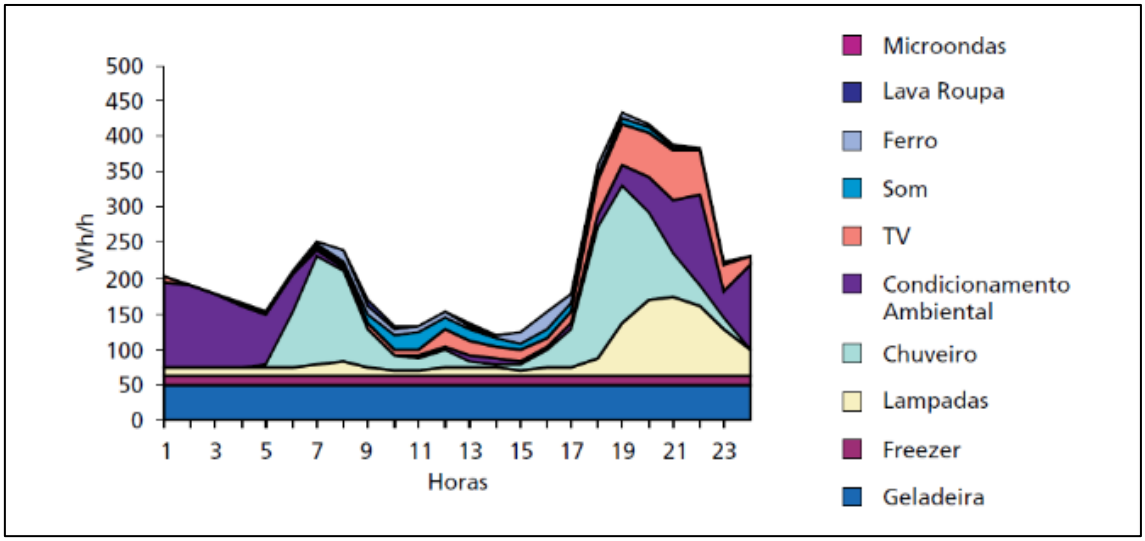
Essas informações variam conforme a aplicação de equipamentos diferentes, e podem ser utilizadas para calcular facilmente o consumo em kWh, conforme instruções do PROCEL apenas multiplicando o valor do kWh cobrado pela concessionária local, o número de horas de utilização dos equipamentos, e o valor consumido em kWh/h do equipamento.

O selo do PROCEL em parceria com o INMETRO não é a única ferramenta de conscientização da instituição, estudos de consumo dos equipamentos domésticos são

publicados da utilização em h/dia, equipamentos que mais impactam no consumo de residências, curva de potência de equipamentos domésticos.

A figura 8 mostra a curva de consumo da energia nacional em para equipamentos eletrodomésticos usuais e das horas do dia, aqui é possível fazer uma análise do perfil de consumo de alguns equipamentos, geladeira o freezer por exemplo são equipamentos que nunca são desconectados da rede, de maneira a manter o seu consumo constante, outros como a TV, chuveiro, lava roupas e lâmpadas dependem mais do consumidor para serem utilizados, então aqui é refletida a carga horária de trabalho da população.

Figura 8: Curva de consumo da energia nacional.

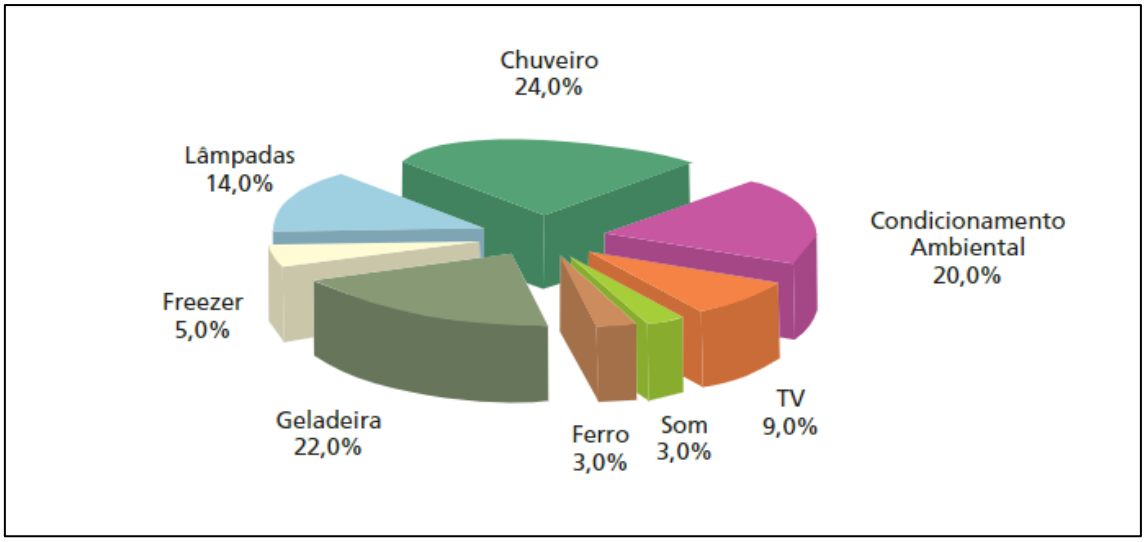


Fonte: PROCEL (2005).

Este gráfico também mostra que não necessariamente o chuveiro é o que impacta no maior consumo em uma análise do consumo em geral, devido justamente a quantia de pessoas utilizando os Televisores por exemplo, em uma análise a Unidades Consumidoras separadas o responsável pelo maior consumo geralmente vão ser os equipamentos de maior potência, mas em uma visão do consumo nacional esse fator depende de outras variáveis, por essa razão esse gráfico não pode ser utilizado como referência universal na tratativa de Unidades Isoladas do sistema, mas é útil na determinação da quantia de horas que um equipamento é utilizado durante o dia.

Referente a participação dos equipamentos individuais no consumo total doméstico o estudo também tem um gráfico ilustrado na figura 9, aqui são representados os eletrodomésticos que mais impactam no consumo residencial.

Figura 9: Participação dos equipamentos no consumo residencial.



Fonte: PROCEL (2005).

Aqui é possível notar que como dito anteriormente o chuveiro apesar de não representar o maior consumo no montante nacional no cenário residencial isolado é responsável por 24% do consumo de energia, logo após a geladeira que é o equipamento mais comum em residências representa 22%, e apenas em terceiro lugar o equipamento condicionador de ambientes com 20% do consumo, as lâmpadas em seguida com 14% do consumo. Lembrando que essa pesquisa é de 2005, hoje a tendência que que equipamentos de condicionamento tenham um percentual maior, sendo que está mais barato e de fácil acesso a população, outro motivo é que o aumento do uso de aquecimento solar e chuveiros a gás diminuem o percentual utilizado pelos tradicionais chuveiros elétricos.

Essas características são muitos úteis no momento da definição dos equipamentos a serem instalados em Unidade Isoladas, principalmente na definição de alternativas, o aquecedor a gás por exemplo para substituição do chuveiro elétrico, a instalação de lâmpadas de LED facilmente encontradas no mercado e mais eficientes que outros modelos, propriedades térmicas estruturais das residências como telhado verde, blocos estruturais com lã de pedra e circulação adequada de ar, para melhor aproveitamento térmico e menor necessidade de condicionadores de ambiente.

Existem alguns fatores que adicionam alguns equipamentos na lista dos maiores consumos dependendo de fatores geográficos e culturais, na serra catarinense por exemplo em função de inversor rigorosos a utilização de aquecedores é comum, a potência de equipamentos desse modelo e usualmente de 2000 W e a utilização frequente pode aumentar bastante o consumo, alternativas para equipamentos deste é a instalação de aquecimento através do fogão

a lenha, comum na serra catarinense também, inclusive ainda é comum a implantação de serpentinas com o objetivo de aproveitar a combustão do fogão a lenha para o aquecimento de água também.

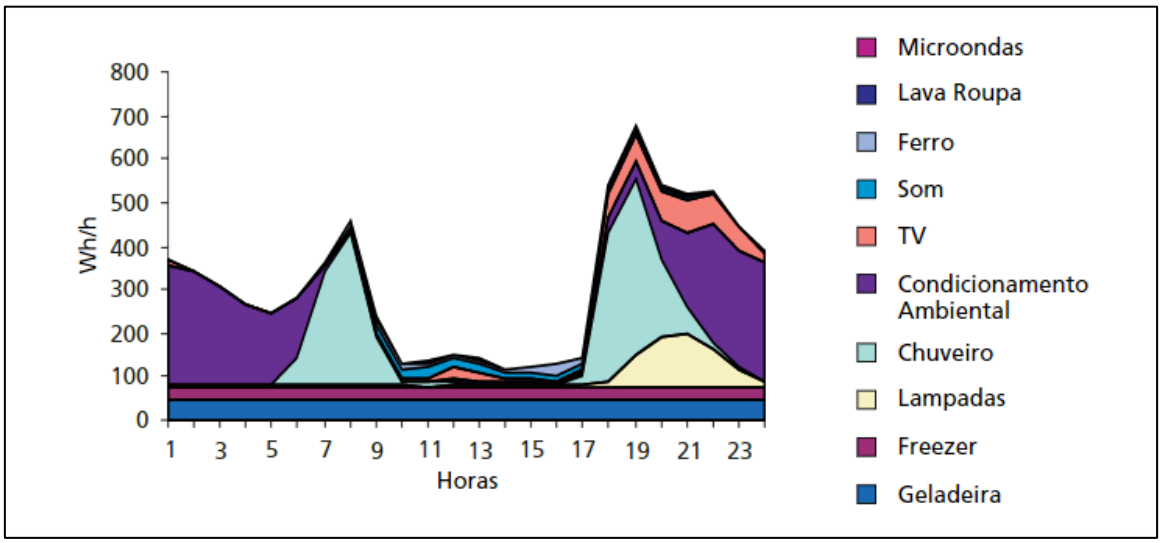
O perfil de consumo conforme localidades geográficas é levado em consideração nos estudos do PROCEL, e foi feita uma curva de consumo através do estudo do consumo de Unidade conectadas a COPEL, RGE, CEEE e CELESC, em Santa Catarina, foram realizadas 150 pesquisas com consumidores conectados a CELESC.

Os municípios da área de concessão das distribuidoras foram inicialmente estratificados segundo um perfil elétrico, utilizando-se de técnicas baseadas em inteligência computacional, mais especificamente os Mapas Auto-Organizáveis de Kohonen. Assim, foi possível a agregação dos municípios em padrões típicos de tal forma a obter 6 agrupamentos (grupos de municípios com perfil elétrico semelhante) para cada concessionária. (PROCEL 2005).

Depois de feita a divisão dos perfis de consumo conforme as quantias de instalações de itens de conforto nas residências foram realizados os estudos, a PUC-RIO foi a instituição selecionada para realizar o estudo, foi contemplada após aberta a inscrição em ampla concorrência nacional, o principal critério foi a experiência no setor de pesquisas em baixa tensão que a instituição tem.

Conforme os dados retirados das pesquisas em Santa Catarina foram elaborados um gráfico ilustrado na figura 10 do consumo dos equipamentos, mas agora com foco no estado, a curva de consumo diverge em comparação com a curva de consumo a nível Brasil.

Figura 10: Curva de consumo no Sul do país.



Fonte: PROCEL (2005).

No Sul algumas características de consumo se destacam, o chuveiro tem o uso bem mais acentuado no começo da manhã e no final da tarde, as lâmpadas representam uma fatia bem menor do consumo e se restringe ao período noturno, diferente do outro gráfico que mostrava um certo nível de consumo ao longo de todo o dia, mas o pico de potência das cargas ultrapassou os 500 Wh/h e atingiu o valor de 700 Wh/h, isso mostra um consumo muito mais concentrado no início e no fim do dia.

O principal fator que influencia o consumo a ser muito concentrado no início e o final do dia é a carga horária, é conhecido que o horário comercial de trabalho é 8:00 até 12:00 horas e no período da tarde 13:30 até 18:00 horas, o início da jornada coincide justamente com os maiores picos de consumo.

O perfil de consumo de trabalhadores que se enquadram neste horário faz com que o indivíduo utilize cargas como chuveiro e televisão apenas nas margens do horário comercial, e isso é uma característica que pode ajudar na definição dos horários de utilização dos equipamentos a serem considerados na pesquisa.

O PROCEL também tem uma tabela com as médias de horas de utilização dos equipamentos domésticos, dos dias de uso no mês e do consumo médio em kWh publicada em seu sítio eletrônico ANEXO A.

Essa tabela é uma ferramenta para o cálculo do consumo mensal e separa a quantia de dias de uso do equipamento por mês, das horas de utilização dos equipamentos por dia, essas informações ajudam na montagem do perfil de consumo da planta conforme os equipamentos instalados no local.

Com a lista de eletrodomésticos a serem instalados um uma planta e a aplicação desta tabela já é possível ter um valor de consumo mensal aproximado da Unidade, é importante verificar que os dados da tabela foram retirados de uma pesquisa de amostragem, e são baseados em valores médios, então para a aplicação do levantamento de consumo ainda é necessário dar uma atenção para a quantia de horas de utilização de cada equipamento por dia.

Na tabela os valores de consumo dos eletrodomésticos são colocados com algumas características particulares de cada um, isso porque televisores com telas maiores possuem mais consumo por exemplo, e condicionadores de ar com mais capacidade também possuem um maior consumo.

Entre os equipamentos de maior consumo que ultrapassam os 100 kWh/mês estão o aquecedor de ambiente, condicionadores de ambiente e boiler elétrico, essas são cargas de

muito consumo cuja a instalação em Unidades isoladas não é recomendada, sendo nesses casos indicados a busca de alternativas de fonte não elétrica ou seria necessário um investimento bem maior para atender.

Em seguida com o consumo maior que 50 kWh churrasqueira elétrica, chuveiro elétrico, torneira elétrica, freezer *frost-free*, fogão elétrico e geladeira duas portas, esses são cargas um pouco menores, mas ainda são recomendadas alternativas de fonte não elétrica para a utilização de equipamentos deste tipo.

A tabela elaborada pela PROCEL foi publicada em 2005 e por isso apresenta algumas divergências dos equipamentos contemporâneos encontrados no mercado, na lista é representado o consumo de equipamentos como aparelhos de fax, leitores *Blu-ray*, DVD e telefone sem fio, a utilização de alguns desses já não é mais tão comum nos dias atuais.

Para equipamentos como vídeo games, roteadores, modens e computadores, os horários de uso dificilmente se encaixariam no perfil de um consumidor destes equipamentos, no caso dos roteadores foi considerado 8 horas de utilização por dia o que não é mais verdade no ano de 2020 esses equipamentos ficam operantes 24 horas por dia, o consumo de equipamentos como videogames e computadores também é bem variada no mercado, no entanto a tabela apenas os representou por um item.

Alguns itens como moto bombas, televisores, sanduicheira, cafeteira, geladeira, roteadores de internet são comuns em Unidade Isoladas, e os dados do ANEXO A ajudam a entender o perfil do consumo deles principalmente através da estipulação das horas de utilização dos equipamentos por dia, alguns dos equipamentos se tornaram mais eficientes na entre 2006 e 2020, mas a quantia de horas que um indivíduo usa a cafeteira por dia não mudou muito, e esses dados são importantes nas considerações de um bom projeto de engenharia.

A tabela de consumo da PROCEL está defasada de acordo com o perfil de consumo dos dias atuais, mas serve como referência para a elaboração da tabela de consumo a ser apresentada no decorrer da pesquisa.

6.2 ESTUDO DE CONSUMO

A lista de equipamentos considerados na pesquisa está expressa na tabela 2, essa tabela é uma atualização do modelo publicado pelo PROCEL em 2005, uma vez identificados equipamentos obsoletos no mercado assim como valores de potência considerados no cálculo do consumo e o período de utilização.

Algumas concessionárias de energia possuem valores tabelados das potências de equipamentos domésticos, mas conforme comparativo a equipamentos disponíveis no mercado atual também foi identificado defasagem, de maneira a ser necessária uma pesquisa aos respectivos manuais dos aparelhos elétricos de utilização comum dos dias atuais, para verificação dados técnicos para o cálculo do consumo.

Para o novo cálculo do consumo foi considerada a equação 1, os valores de potência, FP (Fator de Potência) e eficiência fornecidos pelo fabricante de cada equipamento.

$$E = \frac{P \,.\, D \,.\, \Delta t}{FP}; \qquad (1)$$

Sendo:

E = Energia consumida em [kWh] ou [J];

P = Potência do equipamento em [W];

D = Dias utilizados no mês;

Δt = Período de utilização em [h/dia];

FP = Fator de Potência;

Com o objetivo de melhorar a fidelidade da pesquisa foi realizada uma medida de corrente e de tensão na maioria dos equipamentos testados, todos os equipamentos que possuem na tabela a potência de utilização passaram por esse processo.

O intuito desse procedimento é definir uma potência de utilização para equipamentos que não necessariamente operam diretamente em sua potência máxima, no caso da medição da cafeteira foi constatado uma corrente de 3,10 A e uma tensão na rede de 228,6 V, medições ilustradas na figura 11 esses valores são todos RMS (Raiz Quadrática Média, do inglês *Root Main Square*), e para obter o valor de potência foi utilizada a equação 2.

Aplicando os valores medidos na equação, que consiste apenas em multiplicar a corrente drenada da rede versus a tensão instantânea medida no local, tem-se a potência de utilização em W, feito o cálculo então foi definido valor de 717 W como potência de utilização da cafeteira, esse eletrodoméstico é puramente resistivo então o FP foi considerado 1, esses valores foram colocados na tabela 2.

$$P = V \,.\, I; \qquad (2)$$

Sendo:

P = Potência [W];

V = Tensão [V];

I = Corrente [A];

Figura 11: Medição de tensão e corrente da cafeteira.

Fonte: Alicate amperímetro Minipa ET-3367C, 2020.

De acordo com os valores extraídos da medição pode-se considerar que a cafeteira operou em 717 W, 2,34% acima da potência nominal de 700 W por conta disso o a potência de utilização do equipamento foi considerada a medida no local para a realização dos cálculos do consumo.

A cafeteira também possui um modo *stand by*, nesse modo ela fica aquecendo a superfície onde o café é depositado, consumindo 67 W de potência instantânea para as mesmas condições de tensão e FP da medição anterior, não é indicado para sistemas isolados, as recomendações são fazer o café e desligar o equipamento assim que o procedimento finalizar, para conservar a temperatura do líquido depositar em recipiente térmico, mesmo não sendo aconselhada a utilização da cafeteira em *stand by* a potência de operação neste modo foi realizada para demonstrar o impacto no consumo da planta, e na tabela dos equipamento foi colocado separado do modo de operação ativo.

No caso do secador 1900 W de cabelo os valores de medição de acordo com a figura 12, mostram uma corrente de 7,79 A e uma tensão de 228,6 V, e aplicando a equação 2 novamente o valor da potência de utilização ficou 93,73 % com relação ao nominal, isso confirma que o secador de cabelo possui uma potência de utilização pouco abaixo da nominal,

mesmo colocado em potência máxima, neste caso em questão medindo o FP 0,95 fez a potência aparente ficar em 1.873,68 VA.

Outro adendo é referente ao fator de potência, sendo que os valores medidos foram RMS a potência calculada de acordo com a equação 2 não possui correção de fator de potência, essa correção foi aplicada somente no cálculo da energia quando aplicada a equação 1, os valores de fator de potência foram retirados dos equipamentos, e através de medições com o RE7000.

Figura 12: Medições de tensão e corrente do secador de cabelo.

Fonte: Alicate amperímetro Minipa ET-3367C, 2020.

Alguns eletrônicos não possuem o FP descritos nem na embalagem nem no manual, a exemplo de televisores, ventilador de mesa, ventilador de teto, esses precisaram de uma atenção especial sendo necessário uma medição com um analisador de energia, o equipamento disponibilizado pela empresa Reevisa Energia foi o RE7000, este analisador de energia permite verificar a curva de potência do equipamento, com intervalos de medições a serem definidas pelo operador, mas neste caso a análise foi mais simples já que a curva de potência desses equipamentos é constante e não possui muitas variações o analisador foi utilizado para medir somente o FP instantâneo e a potência de operação.

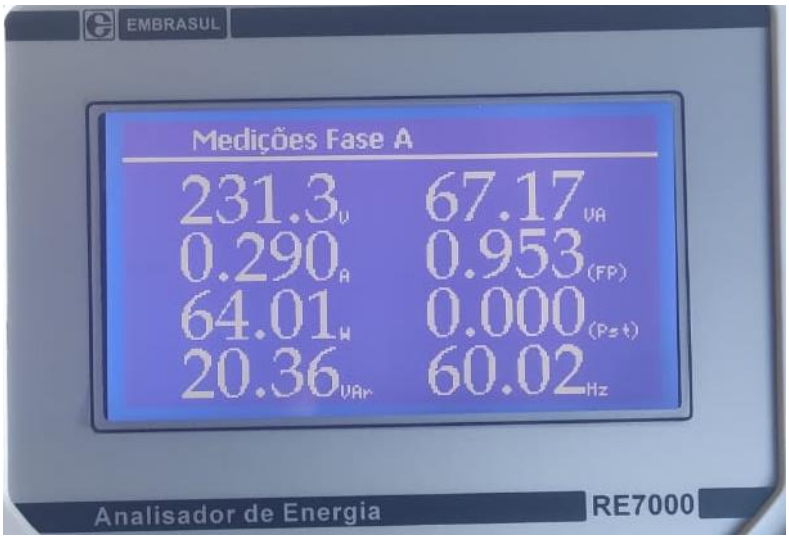
Uma das medições realizadas foi um ventilador de mesa, com potência nominal de 126 W de acordo com o manual do fabricante, o modelo estudado foi o Coluna MT 40 do fabricante Britânia Eletrodomésticos S.A., antes de realizar a medição de corrente foi verificado a tensão do barramento de conexão, neste caso estava em 231 V, ao fazer a medição da corrente do equipamento com o alicate amperímetro foi identificado que em velocidade máxima o motor

consome 0,41 A, em velocidade média 0,38 A e em baixa velocidade 0,32 A de acordo com a figura 13. O FP foi verificado com o RE7000 que marcou 0,95 de acordo com a figura 14.

Figura 13: Medições de Corrente com velocidade máxima, média e baixa do ventilador.

Fonte: Alicate amperímetro Minipa ET-3367C, 2020.

Figura 14: FP Ventilador.



Fonte: RE7000, 2020.

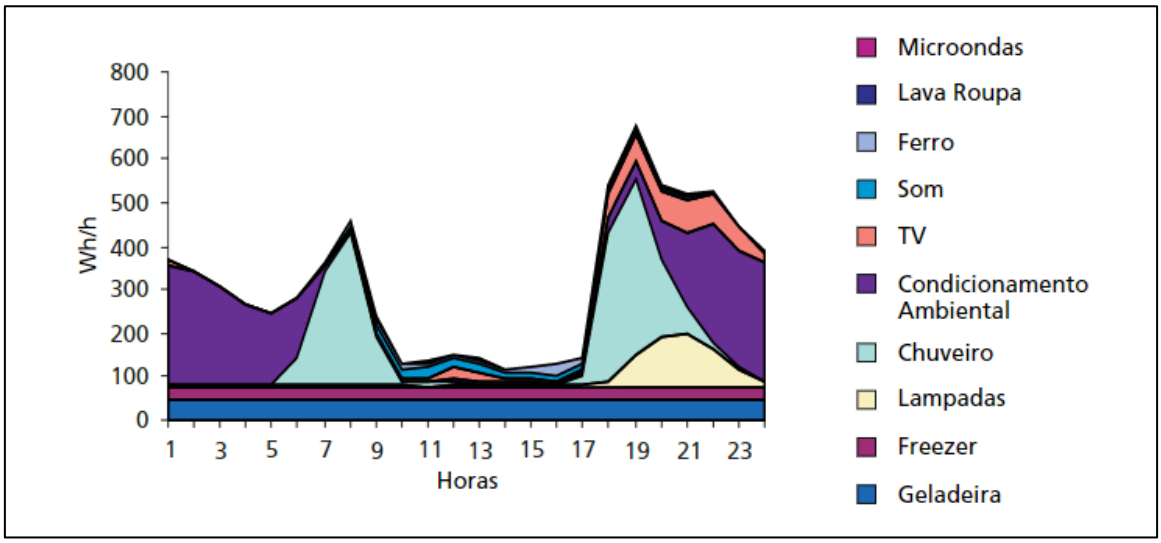
O valor das horas de utilização dos equipamentos foi baseado nos gráficos publicados pelo PROCEL, referente as curvas de potência da região Sul do país, o televisor por exemplo tem o período de utilização bem acentuado no início e no final do dia, isso mostra um perfil de trabalhador industrial, que cumpre horário em uma empresa, e consegue utilizar o equipamento somente em horário livre.

Esse não necessariamente é o perfil de todos os consumidores, mas definitivamente é o perfil da maioria e reflete também o período comum de utilização do equipamento, esses períodos precisam ser ajustados conforme o perfil de cada planta e as exigências do usuário, principalmente que o uso de sistemas isolados já representa alguma restrição de fornecimento de energia, e alguns dos locais de instalação possuem difícil acesso, então o perfil dos usuários na maioria dos casos não reflete o horário comercial.

Ainda para a definição do horário de utilização de outros equipamentos, como sanduicheira, aspirador de pó, os períodos considerados na tabela do PROCEL foram tomados como referência, ainda existem algumas considerações na definição deste período, no caso do aspirador de pó por exemplo o tamanho da residência influencia muito no período de uso, assim como nas condições locais que podem fazer com que a residência suje facilmente em regiões litorâneas por exemplo.

O televisor foi definido 5 horas de utilização, esta era a recomendação da tabela e feito uma análise a curva de potência de acordo com a figura 15, foi considerado uma hora de utilização pela manhã das 7 até as 8 horas, duas horas de utilização das 11 horas da manhã até as 13 horas da tarde, mais duas horas de utilização no período noturno das 17 horas até 19 horas, essa análise considera a utilização média, e não significa que o usuário vai utilizar o equipamento exatamente neste horário, apenas que os períodos mais prováveis de utilização estão acentuados nestes picos de potência, e com base nos horários mais prováveis foi definida uma média de utilização por dia.

Figura 15: Horário de utilização Televisor.



Fonte: PROCEL (2005).

O período de uso da cafeteira foi considerado apenas uma utilização no período da manhã, caso o usuário necessite fazer mais cafés durante o dia é preciso considerar um maior período de utilização dos equipamentos.

Na tabela do PROCEL alguns valores de horas de utilização estavam um pouco desatualizados, como o do roteador de internet que possuía o valor de 8 horas diárias, nos dias atuais a internet possui um valor fundamental para o funcionamento da sociedade, e é importante garantir a disponibilidade deste meio de comunicação 24 horas por dia, para que o usuário tenha a possibilidade de se comunicar com o meio externo, seja para relações comerciais ou de emergência, esse serviço se torna fundamental.

Os equipamentos de refrigeração precisam ficar ligados 24 horas por dia, por conta da conservação dos alimentos preservados ali, mas ainda tem um detalhe a ser considerado nestes casos, o refrigerador não opera com a potência máxima todo o período que está conectado na rede, e isso dificulta os cálculos do consumo destes aparelhos.

Então para o cálculo do consumo e das horas de utilização dos equipamentos refrigeradores foi necessário um estudo dedicado da curva de potência de cada equipamento durante o período de operação, o estudo foi novamente realizado com o equipamento RE7000 e através dele foi extraída uma curva de potência das o frigobar, condicionador de ambiente 9000 BTU e as geladeiras de uma porta e de uma porta *Frostfree*, as geladeiras de duas portas foram calculadas com base nos períodos de operação das geladeiras de uma porta.

O estudo permitiu estabelecer uma potência média de operação em modo *stand by* e uma potência de operação, e o período de operação em *stand by* e o período de operação ativo, os valores estudados são referentes a equipamentos em condições propícias a eficiência dos eletrônicos, algumas condições de instalação podem influencias na eficiência do equipamento e isso também influenciaria no período de operação em *stand by*.

A instalação das máquinas de condicionamento de ambiente em local onde tem pouca circulação de ar e ou há incidência de sol durante longos períodos do dia, faz com que o equipamento consuma mais tempo na refrigeração de um ambiente, o recomendado é que equipamentos desta potência sejam instalados para refrigerar salas de 9 a 12 m² de acordo com o manual do fabricante, quartos maiores do que isso podem alterar bastante o tempo de operação, o estudo foi realizado com a temperatura de 24 °C que também e a recomenda para uma boa eficiência do equipamento.

De acordo com as recomendações do fabricante respeitando a temperatura e a área de instalação assim como a correta circulação de ar para equipamento foi realizado o estudo, gerando assim um cenário com condições aceitáveis de eficiência.

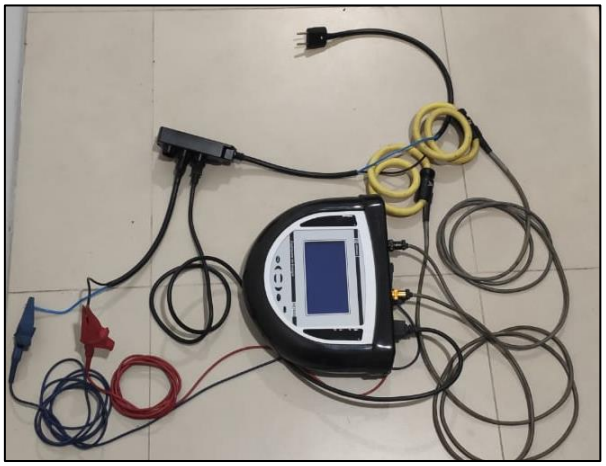
A figura 16 mostra a sala que foi refrigerada pelo equipamento, a sala possui 18 m² e ficou fechada durante todo o período do estudo.

O RE7000 está ilustrado na figura 18, assim como os TCs e cabos para conexão no barramento, para a instalação no local do estudo foram utilizados 2 TCs um para o cabo neutro e um para o cabo fase, foram conectados nas entradas IA e IN mostradas na figura 19, para a separação dos cabos e correta instalação dos TCs, foi confeccionada uma extensão para separação do cabo fase e neutro, também foram precisos dois cabos com terminal pinça para conectar o equipamento no barramento CA, um pinça foi conectado no cabo neutro e na entrada VN, o outro foi conectado no cabo fase e na entrada VA do equipamento, para a alimentação do medidor foi utilizado um cabo auxiliar que foi conectado diretamente no barramento CA.

Figura 16: Sala.

Fonte: Acervo do autor 2020.

Figura 17: Cabos e RE7000.



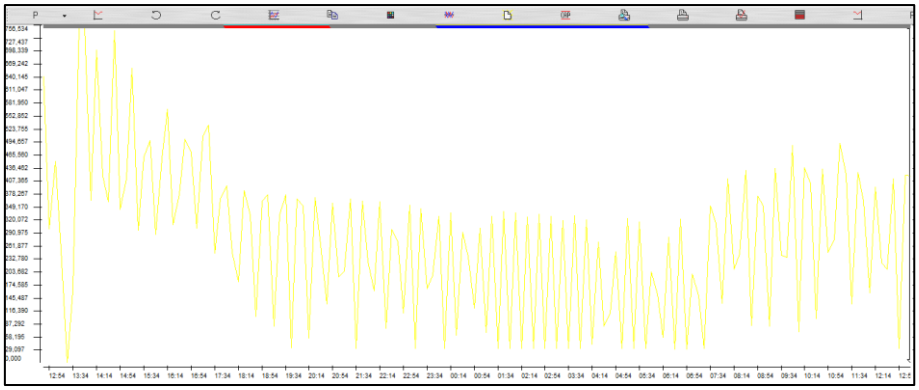
Fonte: Acervo do autor 2020.

Figura 18: Conexões RE7000.

Fonte: Acervo do autor 2020.

Depois de realizado o estudo os dados foram interpretados pelo *software* da EMBRASUL e o gráfico da figura 19 foi plotado, através da análise destas curvas de potência dos equipamentos de refrigeração foram definidos os horários de operação *stand by* e ativo.

Figura 19: Curva de potência do Condicionador de ambiente.



Fonte: Medição de 12 horas do dia 14 até 12 horas do dia 15/10/2020.

O Consumo total do equipamento durante 24 horas foi de 6,141 kWh e com base no gráfico da curva de potência foram extraídos os valores de potência de operação, potência *stand by*, tempo de operação *stand by*, para obter esses valores foi feito uma média dos momentos que o equipamento estava em cada um dos estados, é importante ressaltar que a potência plotada pelo equipamento já é a aparente e o FP já está sendo considerado, outro dado importante retirado do estudo é que o equipamento consumiu 30% a mais durante o dia, e ficou 52,91% do tempo em operação e 47,09% em *stand by*, essas informações foram utilizadas para

elaborar a tabela 3, esse mesmo procedimento foi feito com os demais equipamentos estudados nesta categoria.

No estudo das geladeiras o processo foi muito similar ao estudo do condicionador de ambiente, houve também a instalação do equipamento, o controle de potência foi deixado na temperatura média e a correta instalação do equipamento, assim como circulação de ar recomendadas pelo fabricante foram respeitados, a fim de garantir a eficiência adequada dos equipamentos.

A figura 20 mostra a primeira geladeira estudada durante um período de 24 horas, durante a realização do estudo também foram contabilizados a quantia de aberturas da geladeira, sendo que os períodos das aberturas foram limitados a minuto, a geladeira foi aberta 10 vezes durante o dia, no máximo por 1 minuto.

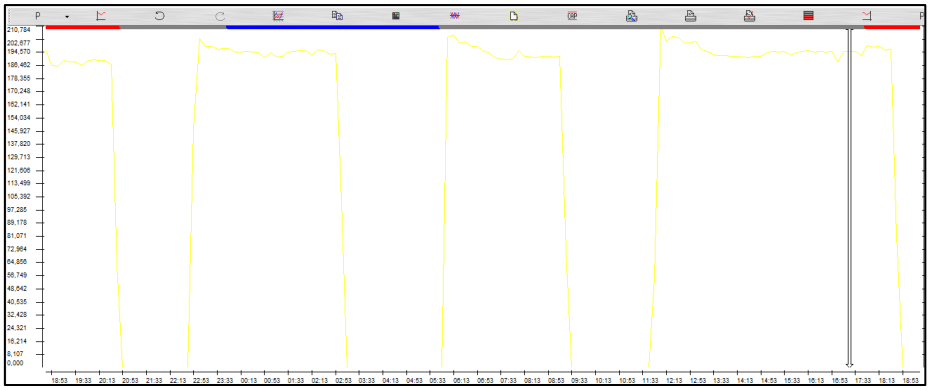
Figura 20: Foto da geladeira.

Fonte: Acervo do autor 2020.

Através da curva de potência plotada pelo RE7000 na figura 21, foi definido o horário de funcionamento em *stand by* e ativo, esses horários foram colocados na tabela e utilizados para calcular o consumo dos respectivos equipamentos.

Então cada equipamento estudado se enquadrou em uma parte do estudo, todos eles foram submetidos a medições de corrente e tensão, e então foram especificados na primeira tabela os equipamentos considerados usuais em uma residência, essa tabela serve de referência para o cálculo do consumo de quaisquer eletrônico listado, foi considerada uma tensão de 230 V para todos os cálculos uma vez que as tensões medidas em campo sempre estiveram muito próximas desse valor, as medições variaram de 228 a 232 V.

Figura 21: Curva de potência da geladeira.



Fonte: Acervo do autor 2020.

Essa tabela serve como referência para os valores FP, para o horário de utilização representado pelo símbolo Δt e para potência de utilização apenas se respeitadas as considerações do estudo, já que essa potência foi extraída de um estudo prático existe a possibilidade do consumidor de uma Unidade Isolada possuir necessidades diferentes das levadas em consideração, logo para cada caso específico existe a necessidade de verificar o tempo de utilização de cada equipamento, e a potência que o operador vai necessitar.

Para exemplificar melhor o aspecto das considerações o exemplo da batedeira, foi considerado apenas 20 minutos por dia com uma potência média de operação, conforme medições registradas em campo, ainda foi considerado apenas 8 dias de utilização no mês, caso o operador utilize a batedeira como forma de renda, no caso de um profissional confeiteiro por exemplo, os valores de potência, de horário de utilização e número de dias considerados precisam ser ajustados conforme suas necessidades.

Para a correta aplicação da tabela ainda é necessário fazer um levantamento preciso para cada caso, buscando adequar a tabela ao perfil específico do consumidor, mas para a obtenção e valores médios de consumo, previsão de possíveis aumentos de consumo, cálculo de uma Unidade que se enquadre nos padrões propostos, a tabela possui fidelidade aos resultados obtidos, essa é a proposta da pesquisa, definir valores usuais para o cálculo do consumo dos equipamentos, e facilitar o trabalho do projetista no momento das considerações de cada planta.

Os valores de consumo dos equipamentos refrigeradores que necessitaram de um estudo mais detalhado foram dispostos na tabela 3, já que nesses casos foram feitas considerações distintas dos demais equipamentos, o cálculo do consumo deles também teve que ser feito de maneira diferente.

Tabela 2: Consumo.

Aparelhos Elétricos	Potência Nominal [W]	Tensão Medida [V]	Corrente Medida [A]	Potência Utilização [W]	Δt [h]	FP	kWh/dia	n° dias	kWh/mês
Aparelho de som (1000W)	1000	230	2,00	460,00	3	0,95	1,45	20	29,05
Aparelho de som (220W)	220	230	0,44	101,20	3	0,95	0,32	20	6,39
Aparelho de som (440W)	440	230	0,88	202,40	3	0,95	0,64	20	12,78
Aspirador de pó (100W)	100	230	0,45	103,50	0,33	0,95	0,04	30	1,08
Aspirador de pó (1200W)	1200	230	4,00	920,00	0,33	0,95	0,32	30	9,59
Aspirador de pó (300W)	300	230	1,25	287,50	0,33	0,95	0,10	30	3,00
Aspirador de pó (800W)	800	230	2,51	577,30	0,33	0,95	0,20	30	6,02
Aspirador de pó robô (300W) - 2 horas de carga	300	230	1,30	299,00	2	0,95	0,63	30	18,88
Batedeira (300W)	300	230	1,15	264,50	0,33	0,95	0,09	8	0,74
Batedeira (750W)	750	230	2,50	575,00	0,33	0,95	0,20	8	1,60
Bomba d'água 1 cv	735,5	230	3,20	736,00	0,5	0,9	0,41	30	12,27
Bomba d'água 1/2 cv	367,75	230	1,60	368,00	0,5	0,9	0,20	30	6,13
Bomba d'água 1/3 cv	245,17	230	1,10	253,00	0,5	0,9	0,14	30	4,22
Cafeteira elétrica	700	230	3,13	719,90	1	1	0,72	30	21,60
Cafeteira elétrica com standby	700	230	0,29	66,70	23	1	1,53	30	46,02
Chaleira elétrica	1800	230	7,78	1789,40	1	1	1,79	30	53,68
Computador (300W)	300	230	1,21	278,30	8	0,65	3,43	30	102,76
Computador / noteboook (100W)	100	230	0,28	64,40	8	0,65	0,79	30	23,78
Computador Superprocessamento(1000W)	1000	230	2,00	460,00	8	0,65	5,66	30	169,85
Espremedor de frutas (100W)	100	230	0,38	87,40	0,17	0,88	0,02	30	0,51
Espremedor de frutas (300W)	300	230	1,00	230,00	0,17	0,88	0,04	30	1,33
Exaustor fogão	80	230	0,34	78,20	2	0,8	0,20	30	5,87
Ferro elétrico automático a seco	1000	230	4,35	1000,50	1	1	1,00	12	12,01
Ferro elétrico automático a vapor	1200	230	5,22	1200,60	1	1	1,20	12	14,41
Forno elétrico grande	4500	230	19,61	4510,30	1	1	4,51	12	54,12
Forno elétrico pequeno	1500	230	6,54	1504,20	1	1	1,50	12	18,05
Forno micro-ondas - 25 L	2000	230	5,93	1363,90	0,5	0,86	0,79	30	23,79
Furadeira	550	230	1,91	439,30	0,5	0,8	0,27	4	1,10
Furadeira Martelete	900	230	3,10	713,00	1	0,8	0,89	4	3,57
Grill	1200	230	5,22	1200,60	0,5	0,95	0,63	10	6,32
Home theater - 350 W	350	230	1,20	276,00	2	0,95	0,58	30	17,43
Impressora	45	230	0,20	46,00	1	0,88	0,05	30	1,57
Lâmpada (100W)	100	230	0,43	98,90	12	0,8	1,48	30	44,51
Lâmpada (10W)	10	230	0,04	9,89	8	0,7	0,11	30	3,39
Lâmpada (50W)	50	230	0,21	48,30	12	0,8	0,72	30	21,74
Lampada (5W)	5	230	0,02	4,60	8	0,7	0,05	30	1,58
Lavadora de louças	1500	230	5,47	1258,10	0,67	0,84	1,00	30	30,10
Lavadora de roupas	1000	230	3,91	899,30	1	0,9	1,00	12	11,99
Liquidificador (1000W)	1000	230	3,04	699,20	0,25	0,88	0,20	15	2,98
Liquidificador (600W)	600	230	1,86	427,80	0,25	0,88	0,12	15	1,82
Modem de internet	7,5	230	0,03	7,36	24	0,8	0,22	30	6,62
Nebulizador	5	230	0,02	4,37	0,5	0,8	0,00	16	0,04
Prancha (chapinha)	80	230	0,35	80,50	0,5	1	0,04	20	0,81
Projetor	150	230	0,50	115,00	1	0,88	0,13	20	2,61
Sanduicheira	750	230	3,30	759,00	0,17	1	0,13	30	3,87
Secador de cabelo - 1900 W	1900	230	7,79	1791,70	0,75	0,95	1,41	15	21,22
Secador de cabelo - 2200 W	2200	230	8,98	2065,40	0,75	0,95	1,63	15	24,46
Secadora de roupa	1100	230	4,71	1083,30	1	0,95	1,14	12	13,68
Televisor 45 polegadas LED	100	230	0,26	59,80	5	0,8	0,37	30	11,21
Torradeira	800	230	3,51	807,30	0,5	1	0,40	30	12,11
Ventilador de mesa	126	230	0,48	110,40	8	0,95	1,00	30	30,11
Ventilador de teto	135	230	0,49	112,70	8	0,95	1,02	30	30,74
Videogame	300	230	1,21	278,30	3	0,88	0,95	15	14,23

Fonte: Acervo do autor 2020.

Tabela 3: Consumo equipamentos refrigeradores.

Equipamento	Δt	percentual em operação	tempo em operação	Percentual em *standby*	tempo em	S operação	S *standby*	kWh/dia	Númerode dias	kWh/mês
Condicionador de Ambiente	8	52,91%	4,23	47,09%	3,7672	381,80	144,59	2,16	30	64,82
Geladeira	24	56,37%	13,53	43,63%	10,4712	190,00	0	2,57	30	77,11
Filtro de água	24	32,77%	7,86	67,23%	16,1352	97,00	0	0,76	30	22,89
Bebedouro	24	29,70%	7,13	70,30%	16,872	83,70	0	0,60	30	17,90
Frigobar	24	51,61%	12,39	48,39%	11,6136	78,13	0	0,97	30	29,03

Fonte: Acervo do autor 2020.

7 CÁLCULO DA ENERGIA

Para o dimensionamento final da energia de uma planta foi suposto a implantação de uma Unidade Isolada na localidade de Tubarão bairro km 63, coordenadas 28°29'01.4"S 49°09'54.3"W conforme o aplicativo Google Maps.

Essa localidade é isolada do centro da cidade, em locais próximos passa uma linha de distribuição com somente uma fase em 13,8 kV, mas não existe ponto de conexão em baixa tensão para utilização em uma residência, outra característica importante é que a Unidade fica praticamente no topo do morro, isso faz com que os efeitos de sombreamento das elevações próximas sejam minimizados.

A Unidade não existe de fato, mas os valores de irradiação foram utilizados desta localidade para determinar a quantia de módulos para suprir a demanda energética como complemento ao trabalho, uma vez que o foco da pesquisa é determinar os valores de energia consumido em uma Unidade conforme os equipamentos considerados.

Na tabela 4 foram dispostos os equipamentos considerados para o cálculo da energia consumida, as quantias consideradas e os respectivos equipamentos foram escolhidos pensando nas necessidades de uma família de dois jovens adultos.

No cálculo da demanda energética foi determinado uma autonomia de 48 horas, para esse perfil foi considerado que todos os equipamentos fossem utilizados todos os dias, uma vez que a média de energia deixou de ser mensal como a atualização da tabela do PROCEL, o período de utilização dos equipamentos em horas ficou o mesmo, considerando o perfil de usuários comum sem muitas necessidades especiais como no caso do uso da batedeira para confeiteiros.

De acordo com todas as considerações da planta o valor necessário de energia para suprir a demanda da Unidade é de 14,75 kWh, uma vez determinado o valor da energia necessária é possível definir os equipamentos para atender a planta.

O critério para determinar a potência do inversor é a potência dos equipamentos instalados, neste caso a soma das potências dos equipamentos instalados é de 6381,25 W, os valores medidos de potência de utilização é de 5500,45 W, aqui também precisam ser feitas algumas considerações, a potência de partida da bomba d’água de ½ cv pode atingir até 9 vezes a potência nominal, equipamentos que possuem motores robustos internamente possuem uma corrente de partida bem acima da potência nominal, a mesma consideração deve ser feita para a geladeira.

Os inversores do mercado são preparados para suprir a corrente de partida dos equipamentos, mas apenas por alguns segundos, então considerando o somatório das potências de todos os equipamentos e a influência da bomba d'água ½ cv e da geladeira sob corrente de partida para o inversor Eperver UP5000-10342 pode atingir 8000 W por até 5 segundos, 5000 W por até 15 minutos, e a potência correta de operação é de 4000 W.

Tabela 4: Calculo consumo em dois dias.

Aparelhos Elétricos	Quantidade de Equipamentos	Potência Nominal [W]	Potência Utilizaçã o [W]	Δt [h]	FP	kWh/dia	n° dias	kWh/2 dias
Aparelho de som (220W)	1	220	101,20	3	0,95	0,32	2	0,64
Aspirador de pó (1200W)	1	1200	920,00	0,33	0,95	0,32	2	0,64
Bomba d'água 1/2 cv	1	367,75	368,00	0,5	0,9	0,20	2	0,41
Computador / noteboook (100W)	1	100	64,40	8	0,65	0,79	2	1,59
Ferro elétrico automático a vapor	1	1200	1200,60	1	1	1,20	2	2,40
Furadeira	1	550	439,30	0,5	0,8	0,27	2	0,55
Lâmpada (10W)	10	10	9,89	8	0,7	1,13	2	2,26
Liquidificador (600W)	1	600	427,80	0,25	0,88	0,12	2	0,24
Modem de internet	1	7,5	7,36	24	0,8	0,22	2	0,44
Secador de cabelo - 1900 W	1	1900	1791,70	0,75	0,95	1,41	2	2,83
Televisor 45 polegadas LED	1	100	59,80	5	0,8	0,37	2	0,75
Ventilador de mesa	1	126	110,40	8	0,88	1,00	2	2,01
Total								14,75

Fonte: Acervo do autor 2020.

O Eperver UP5000-10342 é o inversor híbrido mais potente disponibilizado pelo fabricante, mas mesmo assim não consegue suprir a demanda de potência da planta, mesmo considerando que nem todas as lâmpadas estariam acessas, e que o secador de cabelo nunca seria utilizado junto com o Ferro elétrico a vapor, ainda seriam necessários 4300 W de potência.

Para atender este perfil foi considerado 2 Inversores, um UP3000 com 2389,26 W de carga instalada e um UP5000 com 3501,19 W de carga instalada, foram distribuídas entre os dois, os equipamentos que possuem maior corrente de pico foram colocados um em cada inversor o resto das cargas foi distribuída conforme o melhor equilíbrio de potência dos dois inversores, as potências de operação contínua também foram respeitadas, 2400 W para o UP3000 e 4000 W para o UP5000.

Definidos os inversores o cálculo da energia necessária foi feito agora para cada um dos equipamentos 5,14 [kWh/2 dias] para o UP3000 e 8,78 [kWh/2 dias] para o UP5000, os bancos de baterias tem que ser independentes para esse tipo de equipamento, conforme recomendação do fabricante, em alguns tentes já realizados em campo foi notado que o equipamento funciona em paralelo com banco de baterias de outros inversores, mas não é

recomendado a instalação dessa maneira, que dificulta para o inversor interpretar os valores de carga baixa e carga alta das baterias, isso pode fazer com que o equipamento retire muita energia das baterias interpretando que ainda tem carga, quando elas estiverem com pouca carga mas nessas condições o equipamento pode danificar as baterias, diminuindo bastante a vida útil delas, até ocasionando perca da garantia, uso de controladores de carga em paralelo com a conexão do inversor pode ocasionar o mesmo problema.

Para o correto funcionamento do conjunto proposto os conjuntos de módulos foram considerados independentes, assim como as baterias, o valor a ser definido das baterias é em A/h, com o objetivo de definir a quantidade de baterias foi transformado o valor da energia de kWh/48h para A/h, para fazer esse cálculo foi utilizada a equação 3.

$$N_{Baterias} = \frac{E_{kWh/48}}{V_{Bateria} * A_{Bateria} * 60\% * \eta}; \quad (3)$$

Sendo:

$N_{Baterias}$ = Número de Baterias;

$E_{Wh/48}$ = Energia;

$V_{Bateria}$ = Tensão das Baterias;

$A_{Bateria}$ = Carga nominal das Baterias;

η = Eficiência do Inversor;

60% = Carga mínima das baterias só pode chegar em 60%.

Aplicando os valores na equação 3 considerando uma carga nominal da bateria como 220 Ah, Tensão nominal de 12 V e a energia calculada para uma autonomia de 48 horas para cara inversor, o UP3000 precisa de 3,76 baterias e o UP5000 de 8,96 baterias, então foi definido 4 baterias no inversor de 3000 e 9 no inversor de 5000.

Existem alguns modelos diferentes de inversores no mercado e outro detalhe que pode influenciar no momento da escolha do equipamento é a eficiência de conversão CC/CA, os dois inversores escolhidos possuem um ótimo aproveitamento de acordo com o fabricante ele converte com 98% de eficiência, outra linha do mesmo fabricante o Eperver IP3000 possui 95% de eficiência, este modelo é consequentemente mais barato mas desperdiça 5 % da energia convertendo CC para CA.

O inversor do mesmo fabricante que não é híbrido e não possui controlador embutido opera em 93 % de eficiência na conversão CC/CA, os valores considerados na

eficiência variam conforme os equipamentos escolhidos, no caso desta pesquisa o equipamento selecionado foi o mais eficiente disponível, a utilização da equação 3 se aplica para quaisquer outros cenários de dimensionamento, apenas o projetista tem que ficar atento no momento das considerações de eficiência, carga nominal das baterias e na tensão.

A bateria escolhida entre várias opções no mercado foi a Moura C20 220 Ah estacionária, esse modelo pode ser implementado para ligações em 12, 24 e 48 V conforme disposição das ligações em série ou paralelo do banco de baterias, como o inversor UP3000 precisa de 4 é possível fazer a ligação diretamente em 48 V, esse modo de ligação deixa o equipamento mais eficiente, porque a tensão de 48 V é mais próxima de 311 V e isso facilita a conversão CC/CA, para o UP5000 foram definidas 8 baterias então a ligação sugerida é em 48 V conectando duas séries de quatro baterias e todas as séries em paralelo.

8 CALCULO DOS MÓDULOS E DAS PROTEÇÕES

O objetivo da pesquisa é definir o valor de energia consumida pelos equipamentos, esse que é um dos principais determinantes do sistema isolado de geração solar, com os valores de energia definidos para uma autonomia de 48 horas, com os inversores selecionados, e com as baterias definidas, este capítulo trata de complementos da pesquisa que são necessários para o corpo do sistema isolado de geração.

A definição dos módulos solares foi feita através de valores de irradiação consultados no site da CRESESB para a localidade definida, para o correto funcionamento do sistema durante o ano inteiro, foi escolhido o pior índice de irradiação do local durante o ano, visando garantir a performance do sistema mesmo em períodos com pouca irradiação, no caso o período pior é bem no inverno.

A tabela 5 mostra a tabela da CRESESB dos valores de irradiação por metro quadrado na região de Tubarão, esta tabela mostra índices de irradiação da base em estudos do instituto, nessa figura é necessário observar 2 detalhes, primeiramente o modo com que a irradiação se comporta durante o ano para determinar o pior cenário, outro aspecto é como os valores se comportam com relação a inclinação.

Tabela 5: Irradiação CRESESB.

Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m².dia]													
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
Plano Horizontal	0° N	568,00%	5,28	451,00%	3,78	2,99	2,52	2,73	3,47	3,57	4,37	5,68	599,00%	4,21	347,00%
Ângulo igual a latitude	28° N	510,00%	5,05	472,00%	4,47	3,93	3,49	3,70	4,3	3,86	4,29	5,17	527,00%	4,44	178,00%
Maior média anual	23° N	526,00%	5,15	474,00%	4,4	3,81	3,36	3,57	4,21	3,85	4,36	5,32	546,00%	4,46	210,00%
Maior mínimo mensal	43° N	448,00%	4,60	451,00%	4,51	4,15	3,75	3,95	4,43	3,75	3,97	4,58	458,00%	4,27	85,00%

Fonte: Adaptado de CRESESB, 2020.

Na região os piores valores de irradiação por dia independente da inclinação são em junho, então esse foi o pior cenário adotado como critério, outro aspecto a ser levado em consideração para definir o pior cenário é com relação ao consumo, porque se existem muitos equipamentos com refrigeração instalados por exemplo, é natural que eles sejam utilizados com mais frequência no verão, esse fator pode determinar se o projetista prefere a melhor eficiência no verão ou no inverno, no caso deste estudo a geladeira é um equipamento de refrigeração que é utilizado o ano inteiro, e o ventilador é o único item que vai ser mais utilizado no verão do que no inverno, neste perfil é interessante para a eficiência da planta garantir que no período de inverno ela tenha uma maior geração já que no verão o consumo não aumenta.

Para a melhor eficiência no período de junho os geradores precisam ser instalados com a maior inclinação, os valores da CRESESB vão somente até 43° de inclinação, por isso essa configuração foi definida, e o valor utilizado para determinar a potência de gerador solar necessária foi da inclinação de 43°, no mês de junho, 3,75 kWh/m².dia.

A energia consumida por dia na planta pelo inversor UP3000 é de 2,57 kWh/dia e pelo UP5000 3,39 kWh/dia, nesse valor da energia necessária para o inversor de 5000 foi descontado o valor de 1 kWh/dia do ventilador, já que esse equipamento não é utilizado durante o inverno e durante o verão a melhor eficiência dos módulos vai compensar esse desconto, os demais equipamentos foram considerados como consumidos normalmente durante o inverno, para poder seguir com o cálculo agora é preciso definir um módulo fotovoltaico com valores comerciais, existem vários distribuidores e importadores destes módulos solares, mas como o inversor selecionado é comercializado pela NeoSolar foi feito um levantamento dos equipamentos disponíveis no mesmo site.

No momento da escolha do gerador fotovoltaico ainda pode ser levado em consideração outro fator limitante, a área disponível para a instalação, em casos que a região de instalação é limitada existe a possibilidade de adquirir módulos mais eficientes, no caso da pesquisa foi considerado uma residência de 50 m² com apenas duas inclinações de telhado, uma norte e uma sul, então para a inclinação de melhor aproveitamento que é o norte existe aproximadamente 25 m² de área disponível para a instalação.

O módulo definido foi o Painel Solar Fotovoltaico 330W - OSDA - ODA330-36-P, encontrado no site do fornecedor, esse equipamento foi o que apresentou o melhor preço por W, 2,11 R$/W no dia que foi feito a consulta, o mercado solar sofre variações no preço constantemente em função do dólar e em pouco tempo novas tecnologias aparecem, esses dois aspectos podem variam bastante o valor dos equipamentos.

Esse equipamento selecionado é de silício policristalino, e tem 16,97% de eficiência, isso significa que para as condições de inclinação e localidade definidas a consulta ao site da CRESESB ele vai aproveitar 16,97 % dos 3,75 kWh/m².dia disponíveis nesta região no mês de junho, esse equipamento é capaz de aproveitar 0,636375 kWh/m², ele possui 2 m² assim cada módulo aproveita 1,2727 kWh/módulo do recurso disponibilizado pelo sol. Considerando uma eficiência de conversão CC x CA de 85% passamos a obter o valor de 1,0817 kWh/módulo.

Agora é preciso pegar o valor da energia exigida pelo sistema 216 kWh/dia para o inversor UP3000 e dividir pela capacidade de geração de cada módulo 1,0817 kWh/módulo, foi determinado então que são necessários 2,38 módulos, 3 módulos de 330 W para a demanda

do inversor de 3000 W, para o equipamento de 5000 W a energia é de 3,13 módulos, 4 módulos de 330 W.

Quando se fala de proteções para energia solar precisa ser feita uma análise para cada tensão e corrente de operação, na entrada fotovoltaica, no banco de baterias e na saída CA, as proteções necessárias para a entrada fotovoltaica consistem em um DPS CC 3 polos, a função dele é proteger o circuito dos módulos de sobre tensões, acima de 1000 V em corrente contínua, esse equipamento é mais requisitado para grandes instalações, vai atuar em uma instalação desse modo apenas com descargas atmosféricas, é importante esclarecer que o DPS CC não assegura o sistema deste tipo de falha, para este caso é necessário um SPDA (Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas).

Ainda na entrada fotovoltaica é necessário uma chave seccionadora e um fusível, a chave seccionadora deve ficar conectada antes do fusível e do DPS, para facilitar a manutenção das proteções caso necessário, o fusível deve respeitar a corrente máxima dos módulos, neste caso a ligação dos dois inversores pode ser feita com séries condicionando o inversor UP3000 a 89,44 V e 9,57 A, e o UP5000 a 134,16 V e 9,57 A, então um par de fusíveis de 16 A atende ambos os inversores, vale ressaltar que os dois equipamentos possuem o limite de 150 V e 30 A para a entrada fotovoltaica.

Para abrir o circuito sobre carga é recomendado a instalação de um disjuntor CC, existem modelos no mercado com 16 A de corrente nominal que atende perfeitamente a condição, mas neste caso ainda é necessário o fusível mesmo com a escolha do disjuntor, porque a corrente nominal do disjuntor fica muito acima do fusível, ele serviria então apenas como chave seccionadora para abrir o circuito sobre carga, também não é recomendado abrir o fusível sobre carga, porque pode provocar arco voltaico, e ainda possuir partes energizadas que podem colocar o operador em risco.

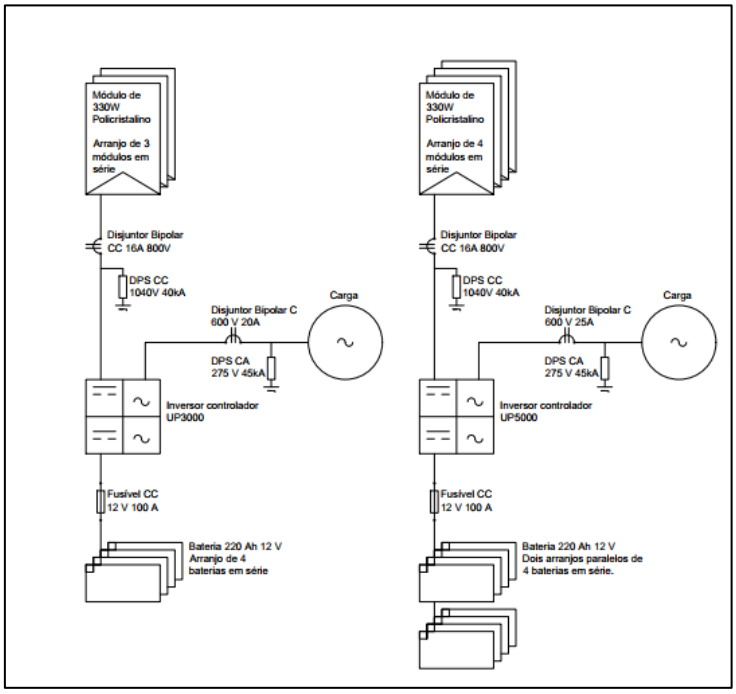
Na saída CA é recomendado a instalação de um DPS CA 275V, 45 kA para cada inversor e um disjuntor que respeita a máxima potência de saída do equipamento, no caso do inversor de 3000 W com saída de 220 V um disjuntor de 20 A curva C para suportar as correntes de partida, e no caso do inversor de 5000 um disjuntor de 25 A curva C.

Para a proteção da entrada auxiliar do equipamento ele já possui um disjuntor de 10 A, para a entrada de 220 V, nas baterias a proteção é apenas um fusível que precisa respeitar a corrente máxima que o inversor pode extrair das baterias, o fusível deve proteger o inversor de sobrecarga repentina na saída CA, essa sobrecarga é convertida para a parte CC do banco de baterias onde o fusível atua, e de curtos circuitos no barramento interno do inversor ou polaridade invertida de ligação das baterias.

UP3000 possui o banco de baterias ligado em 48 V para uma potência de 3000 W com 98 % de eficiência, para calcular o fusível basta dividir o 3000 pela tensão de 48 V e pela eficiência de 98 %, 63,77 A, existem fusíveis comerciais de 70 A que atendem perfeitamente ao cenário proposto, no UP5000 a saída CA é de 5000 W com 98 % de eficiência e as ligações foram feitas em 48 V, fazendo o mesmo cálculo a corrente necessária é de 159,44 A, existe fusível no mercado de 200 A, mas neste caso é possível fazer uma ligação com cabo duplicado, passando duas vias para o positivo e para o negativo, esse modo de conexão divide a corrente por dois e se torna mais barato porque os cabos também são mais em conta, aqui seriam necessários dois fusíveis de 79,72 A, o valor comercial mais adequado é o de 90 A já que o de 80 A fica muito próximo da corrente máxima e 90 A protege o sistema adequadamente.

Para as proteções do banco de baterias não é indicado uma chave seccionadora, por causa da corrente de operação que é muito elevada, uma chave para essas condições se torna muito cara, em condições de manutenção o inversor deve ser desligado tanto na entrada fotovoltaica quanto na saída CA e na entrada auxiliar, isso faz com que o equipamento não utilize mais e energia das baterias e torna mais seguro a operação do banco.

Figura 22: Diagrama unifilar das proteções.



Fonte: Acervo do Autor, 2020.

9 CONCLUSÃO

O atual mercado de energia solar possui grandes perspectivas de crescimento, e atuação dos engenheiros em novas usualidades para o setor é fundamental, a geração para Unidades Isoladas é um dos novos rumos do setor, mas traz várias dificuldades de implementação, o foco da pesquisa foi tratar do levantamento do consumo real dos equipamentos e assim dimensionar de maneira correta os equipamentos, essa pesquisa seve também para o levantamento de consumo de Unidades de Geração Distribuída que ainda não tem um consumo, ou que tenham uma perspectiva de aumento de cargas instaladas.

Como principal referência do levantamento de carga foi utilizado o PROCEL e a listagem de equipamentos, ainda foi necessário uma atualização na tabela de consumo disponibilizada pelo PROCEL, o objetivo desta tabela é contribuir para que profissionais consigam ter valores de referência para o cálculo adequado do consumo de equipamentos, conforme as considerações propostas no trabalho é possível adequar os consumos para vários senários diferentes.

Em complemento ao dimensionamento do consumo e dos inversores a serem utilizados foi determinado os módulos necessários para a demanda a Unidade proposta, assim como um valor estimado do sistema conforme ofertas do mercado nos dias atuais.

Como sugestão de melhoria do trabalho a continuidade de cálculo de consumo de equipamentos condicionadores de ar de diferentes potências, e um comparativo do consumo de equipamentos inverter com comum, também o desenvolvimento de um suporte para mudança de ângulo dos módulos, com o objetivo de obter a melhor eficiência no inverno e verão apenas ajustando o ângulo do suporte.

ANEXO A

Aparelhos Elétricos	Dias Estimados Uso/Mês	Média Utilização/Dia	Consumo Médio Mensal (kWh)
Aparelho de blu ray	8	2 h	0,19
Aparelho de DVD	8	2 h	0,24
Aparelho de som	20	3 h	6,60
Aquecedor de ambiente	15	8 h	193,44
Aquecedor de mamadeira	30	15 min	0,75
Aquecedor de marmita	20	30 min	0,60
Ar-condicionado tipo janela menor ou igual a 9.000 BTU/h	30	8 h	128,80
Ar-condicionado tipo janela de 9.001 a 14.000 BTU/h	30	8 h	181,60
Ar-condicionado tipo janela maior que 14.000 BTU/h	30	8 h	374,00
Ar-condicionado tipo split menor ou igual a 10.000 BTU/h	30	8 h	142,28
Ar-condicionado tipo split de 10.001 a 15.000 BTU/h	30	8 h	193,76
Ar-condicionado tipo split de 15.001 a 20.000 BTU/h	30	8 h	293,68
Ar-condicionado tipo split de 20.001 a 30.000 BTU/h	30	8 h	439,20
Ar-condicionado tipo split maior que 30.000 BTU/h	30	8 h	679,20
Aspirador de pó	30	20 min	7,17
Batedeira	8	20 min	0,400
Boiler elétrico de 200 L	30	24 h	346,75
Bomba d'água 1/2 cv	30	30 min	7,20
Bomba d'água 1/3 cv	30	30 min	6,15
Cafeteira elétrica	30	1 h	6,56
Cafeteira expresso	30	1 h	23,82
Chaleira elétrica	30	1 h	28,23
Churrasqueira elétrica	5	4 h	76,00
Chuveiro elétrico - 4500 W	30	32 min	72,00
Chuveiro elétrico - 5500 W	30	32 min	88,00
Computador	30	8 h	15,12
Enceradeira	2	2 h	1,80
Espremedor de frutas	20	10 min	0,18
Exaustor fogão	30	2 h	9,96
Fax modem em stand by	30	24 h	2,16
Ferro elétrico automático a seco - 1050 W	12	1 h	2,40

REFERÊNCIAS

ABSOLAR. Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica: Infográficos. Disponível em: http://www.absolar.org.br/busca/. Acesso em: 01 de mai. de 2020.

CRECESB. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito: Referência de índices de irradiação no Sul de Santa Catarina. Página inicial. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/. Acesso em: 01 de mai. de 2020.

Dr. Gerhard Knies. Ecodebate. Disponível em https://www.ecodebate.com.br/2018/02/02/os-desertos-recebem-em-seis-horas-mais-energia-do-que-humanidade-consome-em-um-ano-artigo-de-jose-eustaquio-diniz-alves/. Acesso em: 01 de mai. de 2020.

EPE. Atlas da eficiência energética no Brasil em 2019: Disponível em: http://epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/atlas-da-eficiencia-energetica-brasil-2019. Acesso em: 01 de mai. de 2020.

IEMA. Amazonas atual. Disponível em: https://amazonasatual.com.br/na-amazonia-legal-990-mil-pessoas-nao-tem-acesso-a-energia-eletrica/. Acesso em: 01 de mai. de 2020.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio (Rio de Janeiro). GTES, CEPEL, DTE, CRESESB (Org.).Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos.2. ed. Rio de Janeiro: Cepel -Cresesb,2014. 530 p.

PROCEL, (2005) AVALIAÇÃO DO MERCADO DE EFICIÊNCIAENERGÉTICA DO BRASIL. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7B5A08CAF0-06D1-4FFE-B335-95D83F8DFB98%7D&Team=&params=itemID=%7B99EBBA5C-2EA1-4AEC-8AF2-5A751586DAF9%7D;&UIPartUID=%7B05734935-6950-4E3F-A182-629352E9EB18%7D>. Último acesso: 10/10/2020.

RE7000, Analisador de Energia RE7000, PRODIST Módulo 8 da ANEEL, Flicker Harmônicas e outros eventos, Acesso remoto via 3G e WiFi, Amplo display gráfico, Fácil instalação e operação, Configurado por módulos opcionais, Excelente range de medição, Medição de corrente de 20mA a 6000A. EMBRASUL INDUSTRIA DE ELETRÔNICOS LTDA.