

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

GUILHERME ROJO ANZANELLO

AVALIAÇÃO TÉCNICO-ECONÔMICA DE TECNOLOGIAS PARA SMART-HOME

CURITIBA

2022



GUILHERME ROJO ANZANELLO

AVALIAÇÃO TÉCNICO-ECONÔMICA DE TECNOLOGIAS PARA SMART-HOME

Monografia apresentada ao curso de Pós-Graduação em Eficiência Energética e Geração Distribuída, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Eficiência Energética e Geração Distribuída.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Rasi Aoki

Coorientador: M.Sc. Vanderlei Aparecido da Silva

CURITIBA

2022



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECTOR DE TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E GERAÇÃO DISTRIBUÍDA
400010621753

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E GERAÇÃO DISTRIBUÍDA da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Monografia de Especialização de GUILHERME ROJÓ ANZANELLO, intitulada: AVALIAÇÃO TÉCNICO-ECONÔMICA DE TECNOLOGIAS PARA SMART-HOME, que após terem inquirido o aluno e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de especialista está sujeita à homologação pelo Colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

Curitiba, 19 de fevereiro de 2022.

Alexandre Rassi Aoki

Presidente da Banca Examinadora

Prof. Dr. PATRÍCIO RODOLFO IMPINNISI

Docente do Depto. de Eng. Elétrica

Matrícula UFPR 201690

Patrício Rodolfo Impinnisi

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Prof. Dr. Alexandre Rassi Aoki
PROFESSOR DO DEPTO DE ENG. ELÉTRICA
Matrícula UFPR 330437

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a meus pais, José e Maria, pelo apoio e por terem me proporcionado acesso à educação de qualidade, possibilitando trilhar meu caminho até esta pós-graduação.

Agradeço a minha esposa Fabiana, pelo apoio e compreensão para que eu pudesse me dedicar aos estudos.

Agradeço a meus filhos, Milena e Giovanni, por me gerarem a motivação necessária a estudar e servir de exemplo a eles para mostrar a importância de sempre continuar estudando.

Agradeço ao Prof. Dr. Alexandre Rasi Aoki pela orientação, disponibilidade, ensinamentos e paciência na elaboração deste trabalho.

Agradeço ao M.Sc. Vanderlei Aparecido da Silva pela coorientação, disponibilidade e ensinamentos.

Agradeço ao departamento de Engenharia Elétrica da UFPR por ter ofertado o curso de pós-graduação em Eficiência Energética e Geração Distribuída e disponibilizado estrutura adequada a todos os alunos do curso.

Por fim, agradeço a todos os professores envolvidos no curso pelos ensinamentos, dedicação e disponibilidade neste tempo difícil de pandemia.

RESUMO

A crescente necessidade de consumo de energia juntamente da necessidade de diversificação na matriz energética no Brasil e no mundo, considerando a maior economia possível dos recursos financeiros e ambientais tem demandado busca por soluções que resolvam ou amenizem estas necessidades de forma imediata. O avanço tecnológico dos sistemas de geração e armazenamento de energia, da legislação através da geração distribuída (GD) e da flexibilização das tarifas permitem que seja avaliado se já existem soluções ao alcance ou então quanto falta para que estas soluções se tornem viáveis. O objetivo geral desta pesquisa é contribuir para a viabilização de tecnologias de geração e armazenamento de energia para *smart-homes*. Para isso, é realizada uma avaliação científica e tecnológica referente à GD, sistemas de armazenamento de energia (SAE) por baterias e Microrredes. Com isso, são emulados dados de curva de carga de consumidor residencial com consumo médio de cerca de 2.000 kWh/mês, a fim de realizar o dimensionamento de um sistema fotovoltaico e SAE para atendimento das necessidades energéticas deste consumidor. Para validar este estudo, foram propostos cenários comparando-se as soluções existentes de geração distribuída com soluções novas, utilizando sistema de armazenamento de energia através de baterias combinada com a Tarifa Branca. O resultado deste estudo, trata-se da avaliação tecnológica encontrada no mercado brasileiro, das possibilidades atuais de tarifa para os consumidores residenciais e a avaliação financeira das soluções estudadas. A conclusão do estudo foi que neste momento ainda não é viável incluir sistema de armazenamento de energia junto à geração distribuída.

Palavras-chave: Geração distribuída. Sistema de armazenamento de energia com baterias. Tarifa branca. Microrrede. Residências inteligentes.

ABSTRACT

The growing need for energy consumption together with the need for diversification in the energy matrix in Brazil and worldwide, considering the biggest possible economy of financial and environmental resources, has demanded the search for solutions that solve or alleviate these needs immediately. The technological advance of energy generation and storage systems, legislation through distributed Generation (GD) and tariff flexibility allow us to assess whether there are already solutions within reach or how much is needed for these solutions to become viable. The general objective of this research is to contribute to the feasibility of energy generation and storage technologies for smart homes. For this, a scientific and technological evaluation is carried out regarding GD, energy storage systems (SAE) by batteries and Microgrids. With this, data from the load curve of a residential consumer with an average consumption of about 2,000 kWh/month are emulated, in order to carry out the sizing of a photovoltaic and SAE system to meet the energy needs of this consumer. To validate this study, scenarios were proposed comparing existing distributed generation solutions with new solutions, using a battery energy storage system combined with the White Tariff. The result of this study is the technological evaluation found in the Brazilian market, the current tariff possibilities for residential consumers and the financial evaluation of the solutions studied. The conclusion of the study was that at this moment it is not yet feasible to include an energy storage system with distributed generation.

Keywords: Distributed generation. Battery energy storage system. White tariff. Microgrid. Smart home.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - QUANTIDADE DE CONEXÕES GERAÇÃO DISTRIBUÍDA.....	9
Figura 2 - EVOLUÇÃO PREÇO BATERIA ÍON-LÍTIO.....	9
Figura 3 - PAINEL MONOCRISTALINO.....	15
Figura 4 - PAINEL POLICRISTALINO.....	15
Figura 5 - POWERWALL DA TESLA	16
Figura 6 - TARIFAS COPEL PARA TARIFA BRANCA	23
Figura 7 - GRÁFICO CONSUMO DIA ÚTIL	25
Figura 8 - RADIAÇÃO DIÁRIA EM CURITIBA	28
Figura 9 - DIAGRAMA UNIFILAR EXEMPLO CENÁRIO 1	29
Figura 10 - PREÇO SISTEMA FOTOVOLTAICO 18,9 kWp.....	30
Figura 11 - MATERIAIS FORNECIDOS PARA O SISTEMA DE 18,9 kWp.....	31
Figura 12 - TRANSFORMADOR 380 V / 220 V	31
Figura 13 - VALORES MÉDIOS PARA INSTALAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....	32
Figura 14 - TARIFA COPEL PARA GRUPO B.....	32
Figura 15 - HISTÓRICO DE REAJUSTES TARIFÁRIOS NA COPEL.....	33
Figura 16 - PERDA DE GERAÇÃO MÓDULO FOTOVOLTAICO NO TEMPO	34
Figura 17 - PREÇO DO INVERSOR 15kW AVULSO.....	34
Figura 18 - ESCLARECIMENTO ANEEL PARA COMPENSAÇÃO EM DIFERENTES POSTOS TARIFÁRIOS.....	36
Figura 19 - PREÇO SISTEMA FOTOVOLTAICO 20,24kWp.....	38
Figura 20 - MATERIAIS FORNECIDOS PARA O SISTEMA DE 20,24kWp.....	38
Figura 21 - PREÇO DO INVERSOR 20kW AVULSO.....	40
Figura 22 - EFICIÊNCIA INVERSOR OFFGRID	42
Figura 23 - COMPARATIVO EFICIÊNCIA BATERIAS.....	43
Figura 24 - PREÇO DOS EQUIPAMENTOS.....	45
Figura 25 - LISTA DE EQUIPAMENTOS E MATERIAIS.....	46
Figura 26 - DIAGRAMA LIGAÇÃO TRIFÁSICA	47
Figura 27 - PREÇO DAS BATERIAS	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - PROJEÇÃO FINANCEIRA CENÁRIO 1.....	35
Tabela 2 - PROJEÇÃO FINANCEIRA CENÁRIO 2.....	41
Tabela 3 - PROJEÇÃO FINANCEIRA CENÁRIO 3.....	49
Tabela 4 - PROJEÇÃO FINANCEIRA CENÁRIO 4.....	50
Tabela 5 - RESUMO CONSUMO x GERAÇÃO	51
Tabela 6 - RESUMO RESULTADOS FINANCEIROS POR CENÁRIO.....	51
Tabela 7 - EMULAÇÃO DA CURVA DE CARGA PARA DIAS ÚTEIS	57
Tabela 8 - EMULAÇÃO DA CURVA DE CARGA PARA SÁBADOS.....	58
Tabela 9 - EMULAÇÃO DA CURVA DE CARGA PARA DOMINGOS	59

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
DPS	Dispositivos de Proteção contra Surtos
EMS	Energy Management System
GD	Geração Distribuída
HEMS	Home Energy Management System
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
MEMS	Microgrid Energy Management System
MPPT	Maximum Power Point Tracking
MT	Média Tensão
NREL	National Renewable Energy Laboratory
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
PV	Photovoltaic
SAE	Sistema de Armazenamento de Energia
SEP	Sistema Elétrico de Potência
SIN	Sistema Interligado Nacional

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
1.1 CONTEXTO	9
1.2 OBJETIVOS	10
1.3 JUSTIFICATIVA	11
1.4 ESTRUTURA DA MONOGRAFIA	12
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1 CONCEITO DE SMART HOME	13
2.2 TECNOLOGIAS PARA SMART HOME.....	13
2.2.1 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA – PAINEL FOTOVOLTAICO	14
2.2.2 ARMAZENAMENTO DE ENERGIA COM BATERIAS – TESLA POWERWALL 16	
2.2.3 VEÍCULOS ELÉTRICOS	17
2.2.4 AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL	17
2.2.5 DISPOSITIVOS IoT – INTERNET DAS COISAS	18
2.2.6 ALARME E MONITORAMENTO DE SEGURANÇA	18
2.3 REVISÃO DE LITERATURA	19
2.4 ANÁLISE REGULATÓRIA.....	21
2.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	24
3 MATERIAL E MÉTODOS	25
4 TESTES E ANÁLISE DE RESULTADOS	27
4.1 ANÁLISE DOS RESULTADOS:	51
5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	52
REFERÊNCIAS	53
ANEXO 1 – TABELAS EMULAÇÃO CARGAS	57

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTO

A criação da regulamentação no Brasil das regras para geração distribuída através da Resolução Normativa N° 482/2012 da ANEEL aliada ao avanço das tecnologias e a consequente redução nos custos causou um aumento na quantidade de residências, comércios e indústrias com instalação de sistemas fotovoltaicos, conforme pode-se verificar na Figura 1.

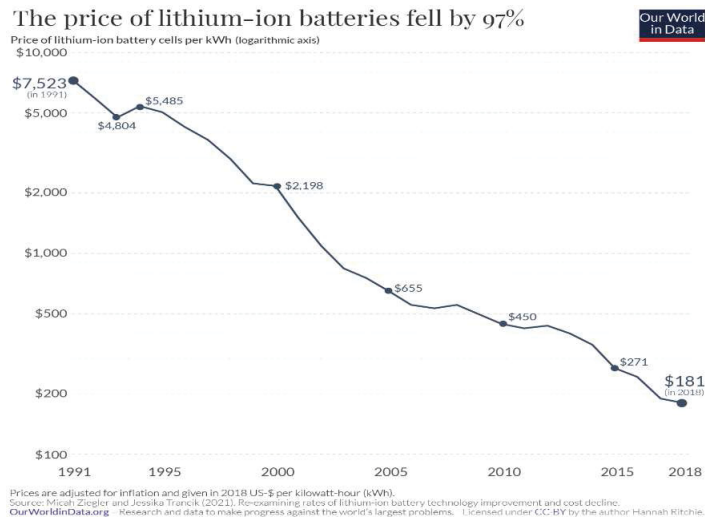
Figura 1 - QUANTIDADE DE CONEXÕES GERAÇÃO DISTRIBUÍDA



Fonte: AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL

Em adição a isto, tem ocorrido também o avanço nas tecnologias de sistemas de armazenamento de energia, fazendo com que os custos estejam em constante redução, possibilitando uma alternativa a ser avaliada no cenário das possibilidades de economia para os consumidores de energia elétrica. A Figura 2 ilustra a redução dos preços das baterias de íon-lítio por kW, desde 1991:

Figura 2 - EVOLUÇÃO PREÇO BATERIA ÍON-LÍTIO



Fonte: Our World in Data. (2021).

Como o sistema de armazenamento de energia (SAE) permite uma flexibilidade de escolha no momento desejado para sua utilização, torna-se interessante analisar situações específicas para sua utilização. É uma situação que pode ser interessante para análise é a utilização da microgeração distribuída com sistema de armazenamento de energia, para clientes que possuam tarifas de energia diferenciadas por horários. No caso brasileiro, clientes que estejam na tarifa branca.

A falta, porém, de uma regulamentação para que os consumidores de energia elétrica possam utilizar baterias estando conectados às redes das distribuidoras, exige neste momento que haja uma separação momentânea do circuito elétrico do consumidor à rede de energia da concessionária, ao menos no momento que as baterias estejam alimentando as cargas, sendo necessário ocorrer um ilhamento.

Por este motivo torna-se essencial que o consumidor seja uma smart-home, tendo a possibilidade de isolar suas cargas da rede elétrica da concessionária de energia. Portanto, de acordo com o conceito de uma microrrede.

Com este estudo espera-se avaliar a viabilidade da microgeração para uma smart-home na tarifa branca, operando em conjunto com um sistema de armazenamento de energia, bem como, analisar em qual patamar de preço o SAE deverá chegar para tornar-se viável.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral desta pesquisa é contribuir para a viabilização de tecnologias de geração e armazenamento de energia para *smart-homes*.

De maneira mais específica, os objetivos desta pesquisa serão os seguintes:

- Avaliar artigos e livros referentes à Geração Distribuída, SAE por baterias e Microrredes;
- Avaliar tecnologicamente as soluções de Geração Distribuída, SAE por baterias e Microrredes;
- Emular dados de curva de carga de consumidor residencial com consumo médio de cerca de 2.000 kWh/mês;

- Dimensionar sistema fotovoltaico e SAE para consumidor nas tarifas convencional e branca;
- Analisar técnica e economicamente as soluções adotadas para o consumidor residencial; e
- Analisar se o SAE atualmente é viável ou então em qual patamar de preço necessita chegar para torna-se viável.

1.3 JUSTIFICATIVA

Com este estudo espera-se contribuir para incentivar a ainda escassa utilização de SAE no mercado crescente de GD, indicando existir viabilidade ou necessidade de reduzir custos, para criar uma nova alternativa de produto a ser agregado neste mercado.

Outra contribuição esperada é a de auxiliar em mostrar a importância de que seja realizada pela ANEEL a regulamentação da utilização de SAE conectado à rede de energia elétrica, para definir as regras e impedir quaisquer transtornos com as distribuidoras de energia.

A avaliação das tecnologias também terá sua relevância, pois indicará para os leitores algumas das possíveis soluções existentes até o momento, para que possam acompanhar a evolução destas tecnologias e seus custos e eventualmente criar o interesse de avaliarem a viabilidade em seus projetos.

Além do exposto acima, é esperado também favorecer a uma maior adesão de consumidores de energia à tarifa branca, questão muito importante para auxiliar na redução de consumo de energia no horário de ponta, contribuindo com uma melhor distribuição do consumo e conseqüente redução da demanda à rede de energia elétrica.

Do ponto de vista particular, este estudo é importante para aprofundar o conhecimento nos tópicos de GD, SAE e microrrede, e aprender conceitos para análise tecnológica e dimensionamento de sistemas.

Ainda na questão particular, conforme atuação no fornecimento e instalação de sistemas de geração distribuída, dependendo do resultado do estudo ter-se-á a possibilidade de ofertar uma solução diferenciada da atualmente praticada no mercado.

1.4 ESTRUTURA DA MONOGRAFIA

Este documento está dividido em 5 capítulos, iniciando-se pelo capítulo 1 – Introdução, o qual apresenta o contexto para pesquisa, os objetivos do trabalho, e a justificativa para realização do mesmo.

No capítulo 2 é realizada a fundamentação teórica para melhor entendimento do trabalho, apresentando conceitos sobre smart-home, geração distribuída, sistema de armazenamento de energia, veículos elétricos, automação residencial, internet das coisas, alarme e segurança. Há também no capítulo revisão da literatura relevante ao trabalho e análise da regulação atual.

O capítulo 3 explica a metodologia utilizada para realização do trabalho, além de apresentar a emulação do consumo da residência considerada nos cálculos.

Já o capítulo 4 apresenta os cálculos realizados para os cenários propostos, detalhando para cada cenário o passo-a-passo para os dimensionamentos realizados, e no fim os resultados obtidos, havendo ainda uma comparação no final entre os cenários.

Por fim, o capítulo 5 apresenta a conclusão e sugestões de trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CONCEITO DE SMART HOME

O avanço das tecnologias tem permitido às pessoas ter uma maior facilidade em suas atividades do dia a dia, desde questões como comunicação, com telefones celulares de última geração que simplificaram e reduziram expressivamente o custo para trocas de mensagens, até veículos que conseguem em determinados momentos estacionar por conta própria.

E para as residências não é diferente. Esta evolução das tecnologias permite que os usuários possam realizar automaticamente diversas tarefas diárias, desde programar uma máquina de café para preparar um café em determinado horário, até acender ou apagar lâmpadas dependendo da luminosidade e da presença de pessoas em um ambiente, assim como controlar sistemas de entretenimento que acionem músicas ou filmes por comandos de voz.

O conceito de smart-home, ou casa-conectada, é de uma residência que tenha um sistema de automação que permita controlar um ou mais atributos como iluminação, temperatura, sistemas de entretenimento, sistemas de segurança e/ou sistema elétrico. Este controle pode ser realizado de forma remota, através de um smartphone, tablet ou computador, ou localmente por comando de voz, através de dispositivos inteligentes conhecidos como assistentes virtuais, estando de maneira facilitada ao alcance do usuário.

No Brasil, a quantidade de smart homes ainda é pequena, porém vem em constante crescimento. De acordo com informações da Aureside (Associação Brasileira de Automação Residencial e Predial), no Brasil em 2020 entre 1,2 a 2,2 milhões de residências possuíam algum tipo de sistema automatizado, sendo que existem mais de 60 milhões de residências no país, mostrando que existe um potencial muito grande de crescimento neste mercado.

2.2 TECNOLOGIAS PARA SMART HOME

A seguir detalham-se algumas das tecnologias existentes para implementação de uma smart home.

2.2.1 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA – PAINEL FOTOVOLTAICO

Um dos itens importantes para uma smart home é a geração própria de energia, e com a geração distribuída é possível atualmente de forma simples e segura gerar a própria energia. A forma mais utilizada no Brasil de geração distribuída tem sido através de energia fotovoltaica.

Ao se falar sobre sistemas de geração de energia fotovoltaica, é necessário iniciar entendendo como é gerada a energia. Portanto, é necessário estudar os painéis fotovoltaicos, visto que é função destes transformar a irradiação solar em energia elétrica para nossa utilização.

Os painéis fotovoltaicos são formados por células fotovoltaicas, as quais geram energia através do efeito fotovoltaico. Este efeito, de forma resumida, consiste na geração de corrente elétrica quando em um material semicondutor é atingido por um fóton e libera alguns dos elétrons que o circundam, para uma área livre de elétrons em uma mesma direção.

Existem diversos tipos de painéis fotovoltaicos, dentro os quais podem-se citar: painel de silício monocristalino, painel de silício policristalino, painel de filme fino, painel de silício amorfo, painel de telureto de cádmio, painel de seleneto de cobre, índio e gálio, células fotovoltaicas orgânicas e painel solar híbrido. Os painéis mais utilizados atualmente no mercado brasileiro são os painéis de silício monocristalino e painéis de silício policristalino. Por isso deve-se focar nestes dois tipos de painéis.

Os painéis solares fotovoltaicos de silício monocristalino são os mais antigos. Eles são feitos de um único cristal de silício ultrapuro. Possuem elevada eficiência quando comparados aos demais painéis fotovoltaicos. A seguir é apresentada uma imagem de um painel de silício monocristalino:

Figura 3 - PAINEL MONOCRISTALINO



Fonte: Portal Solar (2021)

Os painéis solares fotovoltaicos de silício policristalino são feitos à base de silício policristalino. Eles são um pouco menos eficientes que os painéis monocristalinos, porém em contrapartida costumam ter um custo menor. A Figura 4 apresenta imagem de um painel de silício policristalino:

Figura 4 - PAINEL POLICRISTALINO



Fonte: Portal Solar (2021)

2.2.2 ARMAZENAMENTO DE ENERGIA COM BATERIAS – TESLA POWERWALL

Após a geração de energia pelos painéis fotovoltaicos, em corrente contínua, é necessário converter essa energia para corrente alternada, e também caso seja desejável armazenar a energia gerada para utilização nos momentos necessários. Portanto é necessária uma solução que possua inversor e sistema de armazenamento de energia.

Uma das soluções existentes atualmente é o PowerWall, sendo o mais conhecido o da empresa americana Tesla. O sistema consiste em um conjunto de baterias de lítio e um inversor.

Durante o dia, o sistema carrega as baterias através da geração de energia pelas placas fotovoltaicas, e também alimenta as cargas do local com a energia que está sendo gerada. Nos momentos de falta de energia, ou à noite, as baterias ficam responsáveis pelo fornecimento da energia. A Figura 5 apresenta uma imagem do PowerWall da Tesla:

Figura 5 - POWERWALL DA TESLA



Fonte: Tesla (2021)

2.2.3 VEÍCULOS ELÉTRICOS

Como a smart-home pode ter a capacidade de gerar e armazenar energia, é importante aproveitar essa energia disponível que foi gerada. Uma das maneiras mais inteligentes e também importantes do ponto de vista ambiental, é a sua utilização nos veículos elétricos, reduzindo ou eliminando a utilização de combustível fóssil e a emissão de poluentes.

Os veículos elétricos são aqueles acionados por pelo menos um motor elétrico. Eles podem ser classificados em:

- Veículo elétrico à bateria: a energia é fornecida totalmente por um conjunto de baterias, não possuindo motor à combustão;
- Veículo elétrico híbrido: este veículo possui tanto um motor elétrico quanto um motor à combustão. Possui uma quantidade maior de baterias que o veículo tradicional, para alimentar o motor elétrico. O motor elétrico serve como apoio ao motor à combustão, reduzindo o consumo de combustível;
- Veículo elétrico híbrido plug-in: este veículo é similar ao elétrico híbrido, porém possui a capacidade de alimentar a bateria de maneira externa, por um carregador;
- Veículo elétrico a célula de combustível: este veículo utiliza como combustível células de hidrogênio, que quando combinadas com oxigênio geram energia necessária para o veículo se locomover;

2.2.4 AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL

Para que seja possível a implementação de uma smart home, é necessário realizar a automação residencial. A automação residencial consiste em ter uma forma de gerenciar, programar e monitorar vários aparelhos de forma remota.

O primeiro passo para realizar a automação residencial é definir qual(is) aparelhos e ambientes serão controlados. Estes aparelhos deverão ser ligados a uma central de controle, chamada de central hub, a qual estará ligada a internet da residência.

O próximo passo é preparar a infraestrutura para permitir a automação, dependendo da forma como será realizada a comunicação dos aparelhos, seja através de cabos ou sem fio.

Com a definição dos itens a serem automatizados e preparação da infraestrutura, é realizada a aquisição dos aparelhos que permitam o controle de forma remota e instalação destes na residência, preferencialmente por mão de obra qualificada.

2.2.5 DISPOSITIVOS IoT – INTERNET DAS COISAS

Uma questão importante é ressaltar que devido a internet das coisas, ou em inglês *internet of things* (IoT), qualquer item pode ser controlado ou programado a distância.

Internet das coisas é de forma resumida de descrever uma situação em que um objeto físico pode ser conectado e se comunicar com o usuário. Isto demanda que o objeto possua sensores e softwares integrados a ele. Desta maneira, é possível receber informações ou realizar programações para que o objeto realize uma atividade desejada.

2.2.6 ALARME E MONITORAMENTO DE SEGURANÇA

Uma das questões de maior relevância atualmente é a segurança, existindo diversas formas de melhorar a segurança em uma smart home.

Por exemplo, é possível monitorar ambientes através de câmeras, instalar sensores de movimento que enviem alerta e disparem alarme caso detectem alguma presença. É possível também programar a cortina para abrir ou fechar quando não houver pessoas na residência, ou ligar e desligar a televisão, passando a impressão de haver pessoas na residência. A iluminação também pode auxiliar, sendo programada para acender antes de se chegar em casa.

2.3 REVISÃO DE LITERATURA

Para o desenvolvimento deste estudo foram analisados artigos com temas relevantes, em especial nas questões de smart-home e microrrede. A seguir será apresentado breve um resumo dos artigos revisados.

2014 - Smart Home Energy Management System Including Renewable Energy Based on ZigBee and PLC

O artigo fala sobre a criação de um HEMS (Home Energy Management System) que considera tanto o consumo quanto a geração de energia.

Este artigo traz uma ideia interessante ao mostrar como o sistema monitora a geração e os dados climáticos, conseguindo gerar uma correlação e fazer estimativas futuras com base nas previsões do tempo. O artigo também explica como o sistema funciona, detalhando a parte da comunicação e gerenciamento, e que o acompanhamento pode ser feito por aplicativos no celular ou internet no computador. Posteriormente é mostrada uma aplicação implementada em um laboratório.

2016 - Smart home energy management systems: Concept, configurations, and scheduling strategies

O artigo descreve um breve “overview” da arquitetura e módulos funcionais de um HEMS inteligente, que utiliza como geração energia renovável e sistema de armazenamento de energia. O artigo comenta sobre a transição que está ocorrendo no mundo do gerenciamento de energia de convencional centralizada para demanda autônoma responsiva. Na introdução é apresentado um breve histórico de smart-grids nos EUA e Europa. Depois comenta sobre os benefícios dos HEMS.

Logo após, faz um overview dos HEMS explicando conceitos, arquiteturas, funcionalidades. Em seguida explica a infraestrutura. Na sequência, o artigo comenta sobre energias renováveis em smart homes, comentando sobre histórico e passando alguns dados em países como Alemanha, Noruega e Islândia. Depois, comenta sobre utilização das renováveis no HEMS. Por fim, comenta sobre estratégias de programação de energia para smart homes.

2017 - Review on Home Energy Management System Considering Demand Responses, Smart Technologies, and Intelligent Controllers

O artigo faz uma revisão geral sobre HEMS (Home Energy Management System – Sistema Residencial de Gestão de Energia). Inicialmente é explicada a arquitetura básica para montagem de um HEMS, mostrando na sequência um estudo de vários artigos sobre HEMS criados no passado, desde 1979 até meados de 2017, com as tecnologias e soluções adotadas. Na sequência, detalha alguns programas residenciais DR (*demand response* – resposta da demanda), explicando que o programa DR pode ser realizado pelo consumidor por três opções, sendo a primeira alterando o perfil de consumo visando reduzir a utilização da energia nos momentos de preço elevado, afetando levemente o conforto, a segunda alterando o horário de utilização de certos eletrodomésticos para períodos fora do pico, e na terceira através da utilização de geração distribuída localmente. Também é explicado que os programas DR são classificados em programas baseados no preço e programas incentivados. Os programas baseados no preço possuem uma diferenciação de tarifa nos horários, enquanto os incentivados providenciam incentivos financeiros para os consumidores que aderem, mostrando a importância de haver incentivos do governo para maior adesão aos programas.

2018 - A review of microgrid development in the United States – A decade of progress on policies, demonstrations, controls, and software tools

O artigo faz um estudo sobre o desenvolvimento do microgrid nos EUA nos últimos 10 anos. O artigo inicia comentando que 34% dos projetos de microgrid encontram-se nos EUA e América do Norte. O artigo comenta que existe um apoio do governo americano nos níveis nacional e estadual, incentivando projetos de pesquisa e desenvolvimento, com taxas especiais para financiamentos. O artigo mostra exemplos de microgrids implementados através de subsídios federais, iniciando em 2008 com 9 projetos, totalizando um investimento de USD 100M. O artigo comenta sobre alguns desastres naturais ocorridos no Japão e nos EUA, e como alguns microgrids existentes suportaram bem e mostraram ser opção interessantes para locais onde ocorram com frequência estes desastres. O artigo também comenta sobre o programa de incentivos que existe na Califórnia, o California Solar Initiative (CSI), no qual existe um “cash back” para consumidores com sistema fotovoltaico em suas residências. Este programa foi lançado em 2007,

tendo um orçamento de USD 2,167 Bilhões até 2016. O artigo também traz detalhes de outros microgrids instalados nos EUA. Depois o artigo fala sobre sistemas de controle nos microgrids. Em seguida, cita alguns softwares e ferramentas desenvolvidas nas pesquisas americanas, como o DER-CAM, o Homer, o Microgrid design Toolkit, entre outros.

2018 - Microgrid Systems: Design, Control Functions, Modeling, and Field Experience

O artigo fala sobre a experiência do autor no desenvolvimento, instalação e teste de um sistema de controle para microgrid.

O artigo detalha a função de cada um dos layers conforme tabela acima, depois comenta sobre ciber-segurança, detalhando alguns cuidados a serem considerados, em seguida fala sobre alguns algoritmos desenvolvidos para controle quando o microgrid estiver conectado à rede ou ilhado. Posteriormente comenta sobre alguns métodos para validação do sistema de controle.

2020 - Functional Analysis of the Microgrid Concept Applied to Case Studies of the Sundom Smart Grid

O artigo fala conceitos e tipos de microgrids. O artigo também explica sobre as possíveis operações de uma microgrid: melhoria da confiabilidade de uma rede elétrica, atendimento de baixo custo para áreas remotas, redução de custos pela utilização de serviços ancilares, preparo para rápida utilização em locais propensos a desastres ambientais.

Fala também sobre método de modelagem de gerenciamento de um microgrid, desde um nível conceitual até um nível de prática. Fala sobre aplicação de microgrids em paralelo e como afetam um ao outro.

2.4 ANÁLISE REGULATÓRIA

Outra questão importante ao se tratar de geração de energia própria, é avaliar a legislação existente, uma vez que por os consumidores estarem na grande maioria dos casos recebendo energia das concessionárias de energia, precisam-se entender as regras para conectar um sistema de geração distribuída à rede de energia das concessionárias.

A primeira resolução normativa que deu início às regras para a Geração Distribuída podendo ser considerada um marco para o tema foi a Resolução Normativa N° 482/2012 da ANEEL. Esta Resolução trouxe diversas definições importantes como definição das potências para minigeração e microgeração distribuída e as regras para a compensação de energia elétrica, com as exigências para os consumidores e concessionárias acessadas.

Posteriormente, visando aumentar a adesão dos consumidores e melhorar alguns pontos da Resolução 482/2012, a ANEEL publicou a Resolução Normativa nº 687/2015, na qual alterou as potências para minigeração e microgeração distribuída, trouxe novas maneiras para os consumidores, individualmente ou em conjunto, aderir a novas modalidades de geração distribuída, como o autoconsumo remoto, empreendimento com múltiplas unidades consumidoras e geração compartilhada, definição das responsabilidades dos custos por melhorias nas redes, e também um maior prazo de validade para os créditos acumulados.

Houve ainda mais uma resolução da ANEEL, a Resolução Normativa nº 786/2017, a qual retirou uma diferenciação que existia na limitação da potência das fontes hidráulicas para as demais fontes, e proibiu o enquadramento como geração distribuída de algumas centrais geradoras para algumas determinadas situações.

As tarifas que farão parte deste estudo serão a tarifa convencional, grupo B, na qual fazem parte todos os consumidores com tensão de fornecimento inferior a 2,3kV, subgrupo B1 – residencial, sendo esta uma tarifa monômnia, e a tarifa branca, a qual é uma opção de tarifa para os consumidores conectados em baixa tensão, a qual varia o valor da tarifa dependendo do horário em que está ocorrendo o consumo de energia.

A tarifa branca foi regulamentada pela ANEEL na Resolução Normativa nº 733/2016, na qual estabelece as regras desta modalidade tarifária. A partir de 2020, todos os consumidores do grupo B foram permitidos aderir à tarifa branca, com exceção dos consumidores da subclasse Residencial Baixa Renda que recebem benefício tarifário.

A tarifa branca, ao contrário da tarifa convencional que possui um único valor, tem diferença de valor dependendo do horário do consumo de energia. Basicamente são três valores de tarifa, divididos em período de ponta, período intermediário e período fora de ponta. Essa divisão é válida para dias úteis. Nos finais de semana e feriado, o valor considerado é o fora de ponta.

Como nosso estudo foi baseado em uma residência localizada em Curitiba, serão utilizadas como referência as tarifas e os períodos adotados pela distribuidora de energia Copel. A Copel considera os períodos conforme:

- Horário fora de ponta: das 22:00 até as 17:00 horas;
- Horário intermediário: das 17:00 às 18:00 horas e das 21:00 às 22:00 horas;
- Horário de ponta: das 18:00 às 21:00;

Com relação ao valor das tarifas, é possível verificar na Figura 6.

Figura 6 - TARIFAS COPEL PARA TARIFA BRANCA

		Residencial	
		Residencial	
		TE (R\$/kWh)	TUSD (R\$/kWh)
Branca	Fora de Ponta		
	Sem imposto	0,27536	0,19856
	Com imposto	0,40976	0,29548
	Intermediário		
	Sem imposto	0,27536	0,38018
	Com imposto	0,40976	0,56574
	Ponta		
	Sem imposto	0,43787	0,56180
	Com imposto	0,65159	0,83601

Fonte: Copel (2021).

Um ponto relevante no estudo é o custo de disponibilidade. Este é o custo mínimo que o consumidor irá pagar quando o consumo de energia for igual ou inferior ao valor mínimo de consumo estabelecido, o qual varia dependendo do tipo de ligação do padrão de entrada de energia do consumidor. Para os consumidores que possuem ligação monofásica, será pago taxa mínima equivalente a 30kWh/mês. Para consumidor com ligação bifásica, 50kWh/mês. E para ligação trifásica, 100kWh/mês. No caso da tarifa branca, o valor que será cobrado será o da tarifa convencional monômnia.

2.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Os conteúdos apresentados auxiliam no entendimento e nas tomadas de decisões para definição das soluções a serem implementadas neste trabalho.

Entender sobre geração distribuída, desde os equipamentos existentes até a legislação pertinente permite definir a maneira de atender ao consumidor que será utilizado como referência para o estudo, encontrando a melhor solução para gerar a energia que atenda ao seu histórico de consumo, permitindo também se conectar à rede da concessionária de energia dentro das regras estabelecidas de forma segura.

O estudo sobre smart home e suas tecnologias permite entender as possibilidades de controlar de forma automática e remota da geração de energia, para acompanhar a geração e também para desconectar-se da rede da concessionária nos momentos de utilização do sistema de armazenamento de energia devido à não existência até o momento de legislação pertinente.

A legislação sobre tarifa branca permite entender e planejar a melhor maneira de utilizar o sistema de armazenamento de energia para utilização nos horários que permitam um maior retorno financeiro ao consumidor.

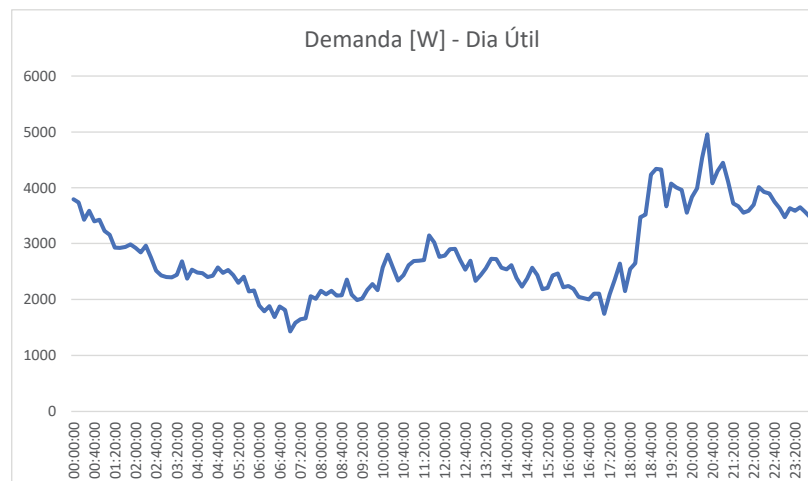
3 MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização deste trabalho foi realizada uma pesquisa do tipo descritiva, realizando-se inicialmente uma pesquisa bibliográfica, procurando artigos científicos com conceitos técnicos relacionados ao trabalho, os quais estão resumidos no item 2.3 desta monografia, assim como foram pesquisadas as normas de regulamentação da ANEEL para geração distribuída, e as normas da concessionária Copel, tanto para os quesitos técnicos como para as questões tarifárias.

Em seguida, houve uma definição do perfil de consumo da residência que serviu como referência para este estudo (YAMAKAWA, 2007). Este perfil foi definido através da emulação de dados da curva de carga de um cliente típico, no grupo tarifário B, utilizando como referência o consumo mensal de 2.000 kWh. No anexo 1, tabelas 7 a 9 apresentam os resultados da emulação realizada, onde se observam os valores trifásicos das medições de potência ativa.

A Figura 7 apresenta o gráfico para visualização do consumo em dia útil:

Figura 7 - GRÁFICO CONSUMO DIA ÚTIL



Fonte: adaptado de Yamakawa (2007)

A próxima etapa foi a avaliação tecnológica, na qual foi estudado e definido o sistema de microgeração utilizado, analisando as opções dos módulos fotovoltaicos existentes (monocristalino / policristalino), dos inversores/micro inversores, do sistema de armazenamento de energia por baterias (baterias de lítio /

chumbo-ácidas), e por fim a tecnologia utilizada para automação da residência, para controle da alimentação das cargas e separação do circuito elétrico da residência à rede de distribuição de energia da concessionária.

Na sequência foi elaborado o projeto, com base nas informações coletadas nas etapas acima, definindo todas as premissas adotadas no estudo.

Finalmente, foram realizadas as análises técnica-econômicas, considerando os cenários:

- Cenário 1: tarifa convencional e microgeração distribuída;
- Cenário 2: tarifa branca e microgeração distribuída;
- Cenário 3: tarifa convencional e microgeração distribuída com baterias e ilhamento; e
- Cenário 4: tarifa branca e microgeração distribuída com baterias e ilhamento.

Estas análises financeiras utilizaram como parâmetros o payback, ou tempo de retorno, o qual determina em quanto tempo um determinado investimento inicial é igualado aos rendimentos acumulados; a VPL (valor presente líquido), que é um indicador econômico-financeiro capaz de determinar o valor presente de pagamentos futuros descontados a uma taxa de juros apropriada, menos o custo do investimento inicial. Caso o VPL encontrado seja negativo, significa que o projeto não se viável. A TIR (taxa interna de retorno), que é uma taxa de desconto hipotética que, quando aplicada a um fluxo de caixa, faz com que os valores das despesas, trazidos ao valor presente, seja igual aos valores dos retornos dos investimentos, também trazidos ao valor presente. TIR negativa significa que a soma dos fluxos de caixa do projeto são inferiores ao investimento inicial.

4 TESTES E ANÁLISE DE RESULTADOS

Para realizar os estudos, foram adotadas as seguintes premissas:

- Residência localizada na cidade de Curitiba / PR;
- Telhado tipo colonial, orientação para o norte, sem sombras e com área disponível para todos os painéis necessários;
- Ligação trifásica 220/127 V;
- Sem necessidade de adequação na estrutura do telhado, nas instalações elétricas existentes ou no ramal de entrada de energia;
- Consumo médio mensal: 2000 kWh;
- Consumo horário: conforme tabelas 1, 2 e 3:

A seguir serão mostrados os estudos realizados nos cenários propostos conforme explanado anteriormente:

Cenário 1: Tarifa convencional e microgeração distribuída

O primeiro passo é o dimensionamento do sistema conforme:

- Consumo médio mensal: 2.000 kWh.
- Tarifa mínima a ser paga para a concessionária para ligação trifásica: 100 kWh.
- Consumo possível de ser abatido: $2000 - 100 = 1900$ kWh.

O cálculo para energia gerada por um sistema fotovoltaico segue a fórmula abaixo:

$$\text{Energia} = \text{Potência Sistema} \times \text{média Radiação diária mensal} \times \text{n}^\circ \text{ dias} \times 80\%$$

80% refere-se a eficiência do inversor.

A radiação diária para a cidade de Curitiba que será considerada é de 4,20 kWh/m², informação obtida do site Atlas Solar da Copel e mostrado na Figura 8.

Figura 8 - RADIAÇÃO DIÁRIA EM CURITIBA

Irradiação Global Horizontal	
Valores diários (kWh/m ² .dia)	
Janeiro	5.37
Fevereiro	5.14
Março	4.54
Abril	3.78
Mai	3.05
Junho	2.76
Julho	2.89
Agosto	3.87
Setembro	3.82
Outubro	4.36
Novembro	5.23
Dezembro	5.56
Primavera	4.47
Verão	5.36
Outono	3.79
Inverno	3.17
Anual	4.20
Total Anual	(kWh/m ² .ano)
1530	
Localização Geográfica	
Latitude	-25.431867285156244°
Longitude	-49.285819433593744°
Município	Curitiba
Mesorregião	METROPOLITANA DE CURITIBA

Fonte: Copel (2022).

A média de dias por mês no ano a ser utilizada é: $365/12 = 30,4$.

Para calcular a potência necessária para o sistema, serão utilizados os valores definidos acima:

$$\text{Potência Sistema} = \frac{\text{Energia (consumo)}}{\text{Radiação diária mensal} \times \text{n}^{\circ} \text{ dias} \times 80\%}$$

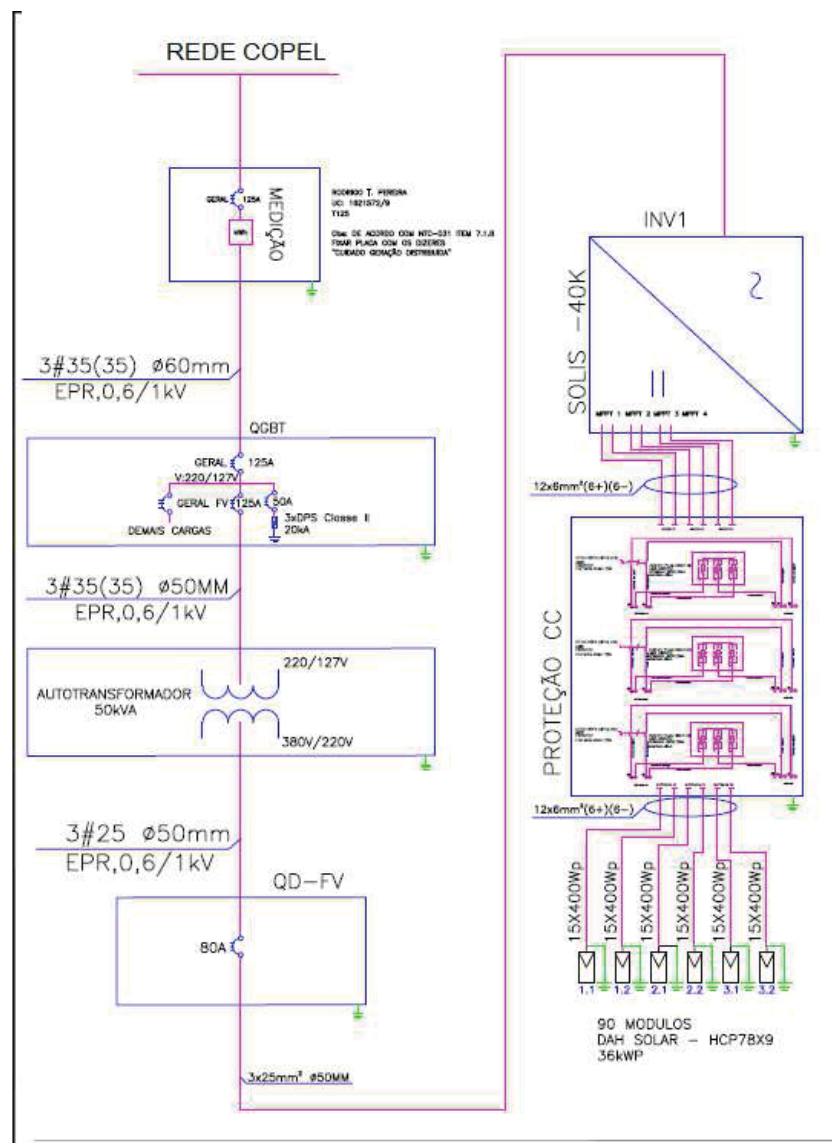
$$\text{Potência Sistema} = \frac{1900}{4,2 \times 30,4 \times 80\%}$$

Potência Sistema (kWp) = 18,6 kWp

O sistema fotovoltaico, em resumo, será constituído pelos módulos fotovoltaicos, a proteção do lado da corrente contínua, o inversor para transformar a corrente contínua em alternada, a proteção do lado de corrente alternada e o transformador para redução da tensão CA de 380 V para 220V, para conexão ao sistema elétrico existente da residência.

A Figura 9 apresenta uma representação orientativa do descrito acima:

Figura 9 - DIAGRAMA UNIFILAR EXEMPLO CENÁRIO 1



Fonte: o autor (2022)

Definida a potência do sistema, após pesquisa com os possíveis fornecedores dos principais equipamentos (inversor, módulos fotovoltaicos, estrutura de fixação, string box (proteção CC) e cabos CC), optou-se pelo conjunto de equipamentos do fornecedor Aldo Solar, de Maringá PR, o qual é um dos principais distribuidores a nível nacional de equipamentos para geração de energia fotovoltaica. Abaixo segue o conjunto disponibilizado pelo fornecedor escolhido para o estudo:

Figura 10 - PREÇO SISTEMA FOTOVOLTAICO 18,9 kWp



Código: 128990-2

**GERADOR DE ENERGIA SOLAR
FRONIUS COLONIAL SOLAR
GROUP ALDO SOLAR ON GRID
(128990-2)**

GF 18,9KWP JINKO TIGER PRO MONO
450W SYMO 15KW 2MPPT TRIF 380V

R\$85.959,00
PREÇO SUGERIDO AO CONSUMIDOR
FINAL

Fonte: Aldo Solar (2022).

De forma mais detalhada, os equipamentos fornecidos no conjunto estão apresentados na Figura 11.

Figura 11 - MATERIAIS FORNECIDOS PARA O SISTEMA DE 18,9 kWp

O gerador de energia fotovoltaico de 18,9 kWp é composto por:

12 STAUBLI CONECTOR MC4 320016P0001-UR PV-KBT4/6II-UR ACOPLADOR FEMEA
 12 STAUBLI CONECTOR MC4 32.0017P0001-UR PV-KST4/6II-UR ACOPLADOR MACHO
 1 INVERSOR SOLAR FRONIUS 4210052 SYMO 15KW TRIFASICO 380V 2 MPPT MONITORAMENTO
 42 PAINEL SOLAR JINKO JKM450M-60HL4-V 60M HC 450W TIGER PRO MONO PERC 20,85% EFIC 120 CEL
 11 ESTRUTURA SOLAR GROUP ASMTC240X000MD04 4 PAINEIS FIXADOR GANCHO TELHA COLONIAL SMART
 100 CABO SOLAR CORDEIRO R100 CORTOX SOLAR FLEX 1KV 1500V C5 NBL 1X6,00 PRETO
 100 CABO SOLAR CORDEIRO R100 CORTOX SOLAR FLEX 1KV 1500V C5 NBL 1X6,00 VERMELHO
 1 STRING BOX MERZ DEHN MSB-244-16-1000-MDM-BC 4 ENTRADAS E 4 SAIDAS MC4 1005V (2 MPPTS)
 11 ESTRUTURA SOLAR GROUP KSMTTC240X815MD04 2 PARES PERFIL SMART-X 2,40M

Fonte: Aldo Solar (2022).

Como o inversor é alimentado em 380 V, e a tensão disponibilizada na residência é 220/127 V, será necessário utilizar um transformador. É possível adquirir este equipamento no distribuidor Aldo, vide Figura 12.

Figura 12 - TRANSFORMADOR 380 V / 220 V



Código: 32541-8

**TRANSFORMADOR ISOLADOR TRIFASICO MINUZZI
(32541-8)**

2500TTS003 POTENCIA 25KVA PRIMARIO 380V SECUNDARIO 220V DE
12 A 23KW

R\$6.229,00

PREÇO SUGERIDO AO CONSUMIDOR FINAL

Múltiplo: 1 UNIDADE(s)

Origem: 0-NACIONAL

Fonte: Aldo Solar (2022).

Para o custo da instalação, e fornecimento dos demais materiais (cabos CA, minidisjuntor CA e eletrodutos), serão utilizados como referência os valores informados pelo site Portal Solar mostrados na Figura 13.

Figura 13 - VALORES MÉDIOS PARA INSTALAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Potência do Sistema	Preço Médio
2,23kWp	R\$ 3.638,58
2,67kWp	R\$ 4.300,14
4,90kWp	R\$ 6.853,14
6,68kWp	R\$ 7.692,30
8,01kWp	R\$ 7.814,40
15,13kWp	R\$ 11.229,87

Fonte: Portal Solar (2022).

Utilizando como referência o custo do sistema de 15,13 kWp, foi calculado um custo de R\$ 742,23 para cada 1 kWp.

Logo, o custo estimado para instalação do sistema de 18,6 kWp será de R\$ 13.805,39.

Portanto, o custo total para fornecimento e instalação do sistema será R\$ 85.959,00 + 6.229,00 + 13.805,39 = R\$ 105.993,39.

Para calcular a economia gerada por este sistema, será utilizado o valor do consumo a ser reduzido mensalmente, multiplicado pela tarifa da Copel, para o grupo B, informado na Figura 14.

Figura 14 - TARIFA COPEL PARA GRUPO B

		Residencial	
		Residencial	
		TE (R\$/kWh)	TUSD (R\$/kWh)
Convencional	Sem imposto	0,28890	0,26991
	Com imposto	0,42991	0,40165

Fonte: Copel (2022)

Logo, o valor mensal inicial de economia será de $1.900 \times (0,42991 + 0,40165) = \text{R\$ } 1.579,96$.

Não foi considerado nos cálculos a redução a ser obtida com o desconto nas bandeiras tarifárias.

Não foi considerado também o desconto de ICMS da energia injetada na rede da Copel.

Para estimar o reajuste da tarifa de energia para os próximos anos, primeiro será calculada a média dos reajustes que ocorreram nos últimos anos, mostrados na Figura 15.

Figura 15 - HISTÓRICO DE REAJUSTES TARIFÁRIOS NA COPEL

Histórico de reajustes tarifários

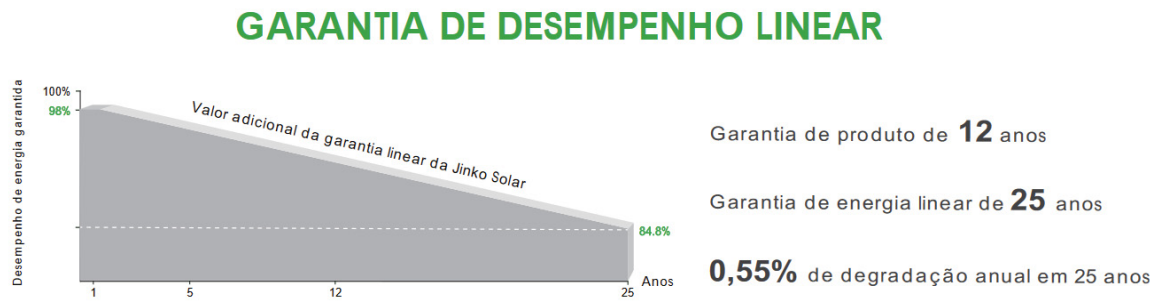
Resolução	Vigência	Motivo	Reajuste Médio
2886/2021	22/06/2021	Revisão Tarifária Periódica	9,89%
2704/2020	23/06/2020	Reajuste Tarifário Anual	0,41%
2559/2019	24/06/2019	Reajuste Tarifário Anual	3,41%
2402/2018	24/06/2018	Reajuste Tarifário Anual	15,99%
2255/2017	24/06/2017	Reajuste Tarifário Anual	5,85%
2214/2017	01/05/2017	Reversão do EER Angra III	-1,17%
2096/2016	24/06/2016	Revisão Tarifária Periódica	-12,87%
1897/2015	24/06/2015	Reajuste Tarifário Anual	15,32%
1858/2015	02/03/2015	Revisão Tarifária Extraordinária	36,79%
1763/2014	24/06/2014	Reajuste Tarifário Anual	24,86%

Fonte: Copel (2022)

A média do reajuste de energia nos últimos anos foi de 12,31%. Será adotado o valor de 7% nos cálculos visando conservadorismo.

Para calcular a projeção da economia a ser obtida nos próximos 20 anos, será considerada também a perda de produção de geração de energia conforme informação do datasheet do fornecedor, mostrada na Figura 16.

Figura 16 - PERDA DE GERAÇÃO MÓDULO FOTOVOLTAICO NO TEMPO



Fonte: JINKO SOLAR

Portanto, será considerada perda de 2% após o primeiro ano, e 0,55% nos anos seguintes.

Será utilizado um horizonte de 20 anos para os cálculos financeiros. Para este período, será considerada uma troca do inversor, uma vez que a vida útil deste equipamento é de 15 anos. A compra do inversor será considerada no ano 10.

O preço do inversor avulso segue na Figura 17.

Figura 17 - PREÇO DO INVERSOR 15kW AVULSO

Código: 30958-5

**INVERSOR SOLAR
FOTOVOLTAICO ON GRID
FRONIUS (30958-5)**

4210052 SYMO 15KW TRIFASICO 380V 2
MPPT MONITORAMENTO

R\$21.819,00

PREÇO SUGERIDO AO CONSUMIDOR
FINAL

Fonte: Aldo Solar (2022)

Será considerada também a inflação para ajuste do custo do inversor, no décimo ano. Considerando-se 6% ao ano, no décimo ano tem-se:

$$21.819 \times 1,06^{10} = \text{R\$ } 39.074,51$$

A Tabela 1 apresenta a economia projetada:

Tabela 1 - PROJEÇÃO FINANCEIRA CENÁRIO 1

Período	Investimento	Economia Mensal	Perda geração de energia	Reajuste tarifa	Economia Mensal Ajustada	Economia no ano	Resultado
Ano 1	R\$ 105.993,39	R\$ 1.579,96	-	-	R\$ 1.579,96	R\$ 18.959,57	-R\$ 87.033,82
Ano 2	-	R\$ 1.579,96	2%	7%	R\$ 1.658,96	R\$ 19.907,55	-R\$ 67.126,28
Ano 3	-	R\$ 1.658,96	0,55%	7%	R\$ 1.765,97	R\$ 21.191,58	-R\$ 45.934,69
Ano 4	-	R\$ 1.765,97	0,55%	7%	R\$ 1.879,87	R\$ 22.558,44	-R\$ 23.376,25
Ano 5	-	R\$ 1.879,87	0,55%	7%	R\$ 2.001,12	R\$ 24.013,46	R\$ 637,21
Ano 6	-	R\$ 2.001,12	0,55%	7%	R\$ 2.130,19	R\$ 25.562,33	R\$ 26.199,53
Ano 7	-	R\$ 2.130,19	0,55%	7%	R\$ 2.267,59	R\$ 27.211,10	R\$ 53.410,63
Ano 8	-	R\$ 2.267,59	0,55%	7%	R\$ 2.413,85	R\$ 28.966,21	R\$ 82.376,84
Ano 9	-	R\$ 2.413,85	0,55%	7%	R\$ 2.569,54	R\$ 30.834,53	R\$ 113.211,38
Ano 10	R\$ 39.074,51	R\$ 2.569,54	0,55%	7%	R\$ 2.735,28	R\$ 32.823,36	R\$ 106.960,24
Ano 11	-	R\$ 2.735,28	0,55%	7%	R\$ 2.911,71	R\$ 34.940,47	R\$ 141.900,70
Ano 12	-	R\$ 2.911,71	0,55%	7%	R\$ 3.099,51	R\$ 37.194,13	R\$ 179.094,83
Ano 13	-	R\$ 3.099,51	0,55%	7%	R\$ 3.299,43	R\$ 39.593,15	R\$ 218.687,98
Ano 14	-	R\$ 3.299,43	0,55%	7%	R\$ 3.512,24	R\$ 42.146,91	R\$ 260.834,89
Ano 15	-	R\$ 3.512,24	0,55%	7%	R\$ 3.738,78	R\$ 44.865,38	R\$ 305.700,28
Ano 16	-	R\$ 3.738,78	0,55%	7%	R\$ 3.979,93	R\$ 47.759,20	R\$ 353.459,48
Ano 17	-	R\$ 3.979,93	0,55%	7%	R\$ 4.236,64	R\$ 50.839,67	R\$ 404.299,15
Ano 18	-	R\$ 4.236,64	0,55%	7%	R\$ 4.509,90	R\$ 54.118,83	R\$ 458.417,98
Ano 19	-	R\$ 4.509,90	0,55%	7%	R\$ 4.800,79	R\$ 57.609,49	R\$ 516.027,47
Ano 20	-	R\$ 4.800,79	0,55%	7%	R\$ 5.110,44	R\$ 61.325,31	R\$ 577.352,78

Fonte: o autor (2022)

Calculando o payback do cenário 1:

Payback = 4 anos e 11 meses

Calculando do VPL do cenário 1 (considerada taxa de 6% ao ano):

VPL = R\$ 1.343.624,01

Calculando a TIR do cenário 1:

TIR = 26,03%

Cenário 2: Tarifa branca e microgeração distribuída

Para o cálculo neste cenário, primeiro será separado o consumo nos horários fora de ponta, intermediário e na ponta:

Dias úteis:

- Consumo diário fora de ponta: 49,13 kWh;
- Consumo diário intermediário: 5,97 kWh;
- Consumo diário ponta: 11,99 kWh;

Será adotada a premissa que o sistema irá gerar a energia entre o horário das 08h00 às 17h00, dentro do período fora de ponta. Portanto, para compensar o consumo de energia nos horários intermediário e de ponta, será calculada a relação entre as Tarifas de Energia, conforme explicado pela ANEEL (Figura 18).

Figura 18 - ESCLARECIMENTO ANEEL PARA COMPENSAÇÃO EM DIFERENTES POSTOS TARIFÁRIOS

5.6 Como se dá a transferência dos créditos entre postos tarifários (ponta, fora ponta e intermediário)?

Quando a utilização dos créditos se der em posto tarifário diferente daquele no qual esses créditos foram gerados, para o caso de unidades consumidoras faturadas com tarifas horárias (tarifas azul, verde ou branca), o saldo de energia gerada deve ser multiplicado pela relação entre as Tarifas de Energia – TE aplicáveis à unidade consumidora na qual ocorrerá a utilização dos créditos.

Fonte: ANEEL (2022)

Portanto, conforme figura 6, a TE do horário fora de ponta e intermediário é o mesmo, e relação entre o TE na ponta e o TE fora de ponta é:

TE Ponta: 0,43787

TE Fora de Ponta: 0,27536

TE Ponta / TE Fora de Ponta: 1,59

Portanto, será ajustado o consumo na ponta, conforme fator calculado, para encontrar o consumo ajustado para o consumidor na tarifa branca:

Consumo diário fora de ponta: 49,13 kWh

Consumo diário intermediário: 5,97 kWh;

Consumo diário ponta ajustado: $11,99 \times 1,59 = 19,06$ kWh

Consumo diário calculado: 74,16 kWh;

Para calcular o consumo mensal ajustado, serão considerados 22 dias úteis, quatro sábados e quatro domingos. Portanto:

Consumo mensal ajustado = $74,16 \times 22 + 65,04 \times 4 + 65,86 \times 4$

Consumo mensal ajustado = 2.155,12 kWh

Pode-se notar que houve um acréscimo de 155,12 kWh de necessidade de geração de energia mensal para compensar o fator de ajuste tarifário para o consumo na ponta.

Dimensionando o sistema para o consumo ajustado:

$$\text{Potência Sistema} = \frac{2055,12}{4,2 \times 30,4 \times 80\%}$$

$$\text{Potência Sistema (kWp)} = 20,1198308$$

Encontrada a potência necessária do sistema, foi encontrado no distribuidor Aldo o seguinte sistema para atender aos cálculos realizados (Figura 19).

Figura 19 - PREÇO SISTEMA FOTOVOLTAICO 20,24kWp



Código: 146797-4

**GERADOR DE ENERGIA SOLAR
FRONIUS COLONIAL SOLAR
GROUP ALDO SOLAR ON GRID
(146797-4)**

GF 20,24KWP JINKO TIGER PRO MONO
460W SYMO 20KW 2MPPT TRIF 380V

R\$91.109,00

PREÇO SUGERIDO AO CONSUMIDOR
FINAL

Fonte: Aldo Solar (2022)

Os equipamentos e materiais que seguem neste conjunto estão detalhados na Figura 20.

Figura 20 - MATERIAIS FORNECIDOS PARA O SISTEMA DE 20,24kWp

O gerador de energia fotovoltaico de 20,24 kWp é composto por:

12 STAUBLI CONECTOR MC4 320016P0001-UR PV-KBT4/6II-UR ACOPLADOR FEMEA
12 STAUBLI CONECTOR MC4 32.0017P0001-UR PV-KST4/6II-UR ACOPLADOR MACHO
1 INVERSOR SOLAR FRONIUS 4210054 SYMO 20KW TRIFASICO 380V 2 MPPT MONITORAMENTO
11 ESTRUTURA SOLAR GROUP ASMTC240X000MD04 4 PAINEIS FIXADOR GANCHO TELHA COLONIAL SMART
200 CABO SOLAR CORDEIRO B5030 200M CORTOX SOLAR FLEX 1KV 1500V C5 NBL 1X6,00 PRETO
200 CABO SOLAR CORDEIRO B5030 200 CORTOX SOLAR FLEX 1KV 1500V C5 NBL 1X6,00 VERMELHO
1 STRING BOX MERZ DEHN MSB-244-16-1000-MDM-BC 4 ENTRADAS E 4 SAIDAS MC4 1005V (2 MPPTS)
44 PAINEL SOLAR JINKO JKM460M-60HL4-V 460W TIGER PRO MONO PERC HALF CEL 21,32% EFIC 120 CEL
11 ESTRUTURA SOLAR GROUP KSMTTC240X815MD04 2 PARES PERFIL SMART-X 2,40M

Fonte: Aldo Solar (2022).

Novamente será utilizado transformador para ajuste da tensão de alimentação. Será utilizado o mesmo transformador do cenário 1.

Para o custo de instalação, considerando a relação de R\$ 742,23 para cada 1kWp calculada no cenário anterior, haverá para o sistema de 20,24 kWp um custo de instalação de R\$ 15.022,64.

Portanto, o custo total para fornecimento e instalação do sistema será R\$ $91.109,00 + 6.229,00 + 15.022,64 = \text{R\$ } 112.360,64$.

Para calcular a economia gerada por este sistema, será realizado o cálculo mensal do consumo para cada tarifa horária vigente na Tarifa Branca:

Consumo diário fora de ponta dia útil: 49,13 kWh

Consumo diário sábado: 65,04 kWh

Consumo diário domingo: 65,86kWh

Consumo mensal fora de ponta: $49,13 \times 22 + 65,04 \times 4 + 65,86 \times 4$

Consumo mensal fora de ponta: 1604,46kWh

Será descontado 100kWh da tarifa mínima da concessionária, logo o valor de economia será calculado sobre 1504,46kWh.

Consumo diário intermediário: 5,97 kWh;

Consumo mensal intermediário: $5,97 \times 22$

Consumo mensal intermediário: 131,34kWh

Consumo diário ponta: 11,99 kWh

Consumo mensal ponta: $11,99 \times 22$

Consumo mensal ponta: 263,78 kWh

Economia gerada: $1.504,46 \times 0,70524 + 131,34 \times 0,9755 + 263,78 \times 1,4876$

Economia total gerada: R\$ 1.581,53

Será utilizada a mesma premissa de substituição do inversor no ano 10, conforme realizado no cenário 1. O custo do inversor avulso está mostrado na Figura 21.

Figura 21 - PREÇO DO INVERSOR 20kW AVULSO



Código: 30315-9

**INVERSOR SOLAR
FOTOVOLTAICO ON GRID
FRONIUS (30315-9)**

4210054 SYMO 20KW TRIFASICO 380V 2
MPPT MONITORAMENTO

R\$24.289,00

PREÇO SUGERIDO AO CONSUMIDOR
FINAL

Fonte: Aldo Solar (2022).

Aplicando inflação de 6% ao ano:

$$24.289 \times 1,06^{10} = R\$ 43.497,90$$

Considerando o mesmo reajuste e perdas de geração do cenário 1, foram encontrados os resultados da tabela abaixo para a economia estimada:

Tabela 2 - PROJEÇÃO FINANCEIRA CENÁRIO 2

Período	Investimento	Economia Mensal	Perda geração de energia	Reajuste tarifa	Economia Mensal Ajustada	Economia no ano	Resultado
Ano 1	R\$ 112.360,64	R\$ 1.581,53	-	-	R\$ 1.581,53	R\$ 18.978,32	-R\$ 93.382,32
Ano 2	-	R\$ 1.581,53	2%	7%	R\$ 1.660,60	R\$ 19.927,24	-R\$ 73.455,09
Ano 3	-	R\$ 1.660,60	0,55%	7%	R\$ 1.767,71	R\$ 21.212,54	-R\$ 52.242,54
Ano 4	-	R\$ 1.767,71	0,55%	7%	R\$ 1.881,73	R\$ 22.580,75	-R\$ 29.661,79
Ano 5	-	R\$ 1.881,73	0,55%	7%	R\$ 2.003,10	R\$ 24.037,21	-R\$ 5.624,58
Ano 6	-	R\$ 2.003,10	0,55%	7%	R\$ 2.132,30	R\$ 25.587,61	R\$ 19.963,03
Ano 7	-	R\$ 2.132,30	0,55%	7%	R\$ 2.269,83	R\$ 27.238,01	R\$ 47.201,04
Ano 8	-	R\$ 2.269,83	0,55%	7%	R\$ 2.416,24	R\$ 28.994,86	R\$ 76.195,90
Ano 9	-	R\$ 2.416,24	0,55%	7%	R\$ 2.572,09	R\$ 30.865,03	R\$ 107.060,93
Ano 10	R\$ 43.497,90	R\$ 2.572,09	0,55%	7%	R\$ 2.737,99	R\$ 32.855,83	R\$ 96.418,86
Ano 11	-	R\$ 2.737,99	0,55%	7%	R\$ 2.914,59	R\$ 34.975,03	R\$ 131.393,89
Ano 12	-	R\$ 2.914,59	0,55%	7%	R\$ 3.102,58	R\$ 37.230,92	R\$ 168.624,80
Ano 13	-	R\$ 3.102,58	0,55%	7%	R\$ 3.302,69	R\$ 39.632,31	R\$ 208.257,11
Ano 14	-	R\$ 3.302,69	0,55%	7%	R\$ 3.515,72	R\$ 42.188,59	R\$ 250.445,71
Ano 15	-	R\$ 3.515,72	0,55%	7%	R\$ 3.742,48	R\$ 44.909,76	R\$ 295.355,47
Ano 16	-	R\$ 3.742,48	0,55%	7%	R\$ 3.983,87	R\$ 47.806,44	R\$ 343.161,91
Ano 17	-	R\$ 3.983,87	0,55%	7%	R\$ 4.240,83	R\$ 50.889,95	R\$ 394.051,86
Ano 18	-	R\$ 4.240,83	0,55%	7%	R\$ 4.514,36	R\$ 54.172,36	R\$ 448.224,21
Ano 19	-	R\$ 4.514,36	0,55%	7%	R\$ 4.805,54	R\$ 57.666,47	R\$ 505.890,69
Ano 20	-	R\$ 4.805,54	0,55%	7%	R\$ 5.115,50	R\$ 61.385,96	R\$ 567.276,65

Fonte: o autor (2022)

Calculando o payback do cenário 2:

Payback = 5 anos e 3 meses

Calculando do VPL do cenário 2 (considerada taxa de 6% ao ano):

VPL = R\$ 1.252.654,50

Calculando a TIR do cenário 2:

TIR = 23,99%

Cenário 3: Tarifa convencional e microgeração distribuída + SAE

Neste cenário, será incluído um sistema de armazenamento de energia na residência. O SAE será capaz de providenciar energia por 3 horas, sendo que será utilizado o consumo na ponta como referência para o dimensionamento do SAE.

Portanto, o SAE deverá ter capacidade de gerar 11,99 kWh em um dia.

Para o dimensionamento da bateria, será utilizado o cálculo abaixo, para encontrar a capacidade média do SAE em Ah:

$$\text{Average Battery Load (Ah)} = \frac{\text{Average daily load (Wh)}}{\text{Inverter efficiency} \times \text{Battery Efficiency} \times \text{Nominal battery voltage (V)}}$$

Para a eficiência do inversor, em pesquisa realizada em fornecedor de inversor foi encontrada a informação mostrada na Figura 22.

Figura 22 - EFICIÊNCIA INVERSOR OFFGRID

Datasheet	SPF 3000TL LVM-48P
Battery voltage	48VDC
INVERTER OUTPUT	
RATED POWER	3000VA/ 3000W
Parallel Capability	Yes
AC Voltage Regulation (Battery Mode)	120VAC ± 5% @ 50/60Hz
Surge Power	6000VA
Efficiency (Peak)	93%

Fonte: Growatt (2022)

Será utilizado em nosso cálculo eficiência do inversor de 90%,

Para a eficiência das baterias, em pesquisa realizada foi encontrada a tabela comparativa mostrada na Figura 24.

Figura 23 - COMPARATIVO EFICIÊNCIA BATERIAS

Make	Cell type	Efficiency
Sonnen ECO	Lithium LFP	89%
Tesla Powerwall 2	Lithium NMC	89%
BYD HVM Premium	Lithium LFP	93%
LG Energy RESU	Lithium NMC	93%
PylonTech US3000	Lithium LFP	94%
Powerplus Energy ECO	Lithium LFP	94%
Huawei Luna2000	Lithium LFP	95%
Simpliphi Power PHI 3.8	Lithium LFP	96%
Kilowatt Labs Sirius	Lithium LTO	94%
Zenaji Aeon	Lithium LTO	96%

Fonte: Clean Energy Reviews (2022)

Será utilizada eficiência das baterias de 95% em nosso cálculo.

Sendo a tensão nominal das baterias de 48V, calcula-se:

$$\text{Average battery load (Ah)} = \frac{11,99 \times 1000}{0,9 \times 0,95 \times 48}$$

$$\text{Average battery load (Ah)} = 292,15$$

Abaixo calcula-se a capacidade ajustada considerando os dias de autonomia desejados, para o qual será considerado 1 (um) dia, e a capacidade para o fim de vida, usualmente considerado 80%. Logo:

$$\text{Minimum rated capacity (Ah)} = \text{Days of Autonomy} \times \text{Average battery load (Ah)} \times \frac{1}{\text{end of life rating}}$$

Calculando:

$$\text{Minimum rated capacity (Ah)} = 1 \times 292,15 \times \frac{1}{0,8}$$

$$\text{Minimum rated capacity (Ah)} = 365,18$$

Abaixo calcula-se a capacidade considerando-se a profundidade de descarga. Será considerado uma descarga de 90%. Logo:

$$\text{Rated Capacity}_{avr\ DoD} \text{ (Ah)} = \frac{\text{Minimum rated capacity}}{\text{Dod}_{Max}}$$

$$\text{Rated capacity}_{DOD} = \frac{365,18}{0,9}$$

$$\text{Rated capacity}_{DOD} \text{ (Ah)} = 405,75$$

A capacidade que a bateria irá necessitar pode ser calculada em kWh multiplicando-se a capacidade em Ah pela tensão nominal da bateria:

$$\text{Rated capacity (kWh)} = \frac{405,75 \times 48}{1000}$$

$$\text{Rated capacity (kWh)} = 19,47$$

Dimensionada a capacidade necessária para o SAE, calcula-se a capacidade de geração de energia do sistema fotovoltaico. O sistema deverá gerar energia suficiente para alimentar as cargas nos períodos fora de ponta e intermediário e o SAE.

Portanto, conforme calculado no cenário 2:

Consumo mensal fora de ponta: 1604,46 kWh

Consumo mensal intermediário: 131,34 kWh

Considerando a energia necessária para alimentar o SAE:

$19,47 \times 22 = 428,34$ kWh / mês.

Logo, o consumo total a ser considerado será de:

$$1604,46 + 131,34 + 428,34 = 2164,14 \text{ kWh}$$

Desconsiderando os 100 kWh da taxa mínima, necessita-se gerar 2064,14 kWh / mês.

Realizando o cálculo:

$$\text{Potência Sistema} = \frac{2064,14}{4,2 \times 30,4 \times 80\%}$$

$$\text{Potência Sistema (kWp)} = 20,2081375$$

Realizado o dimensionamento do SAE, em pesquisa de mercado foi encontrado no fornecedor Alumifix os equipamentos que atendem à necessidade do projeto. A Figura 24 apresenta o preço dos equipamentos sem as baterias, para integradores:

Figura 244 - PREÇO DOS EQUIPAMENTOS

POTÊNCIA	VALOR
20.25 kWp	R\$ 149.993,38

Fonte: Alumifix (2022).

Os equipamentos e materiais considerados estão listados na Figura 25.

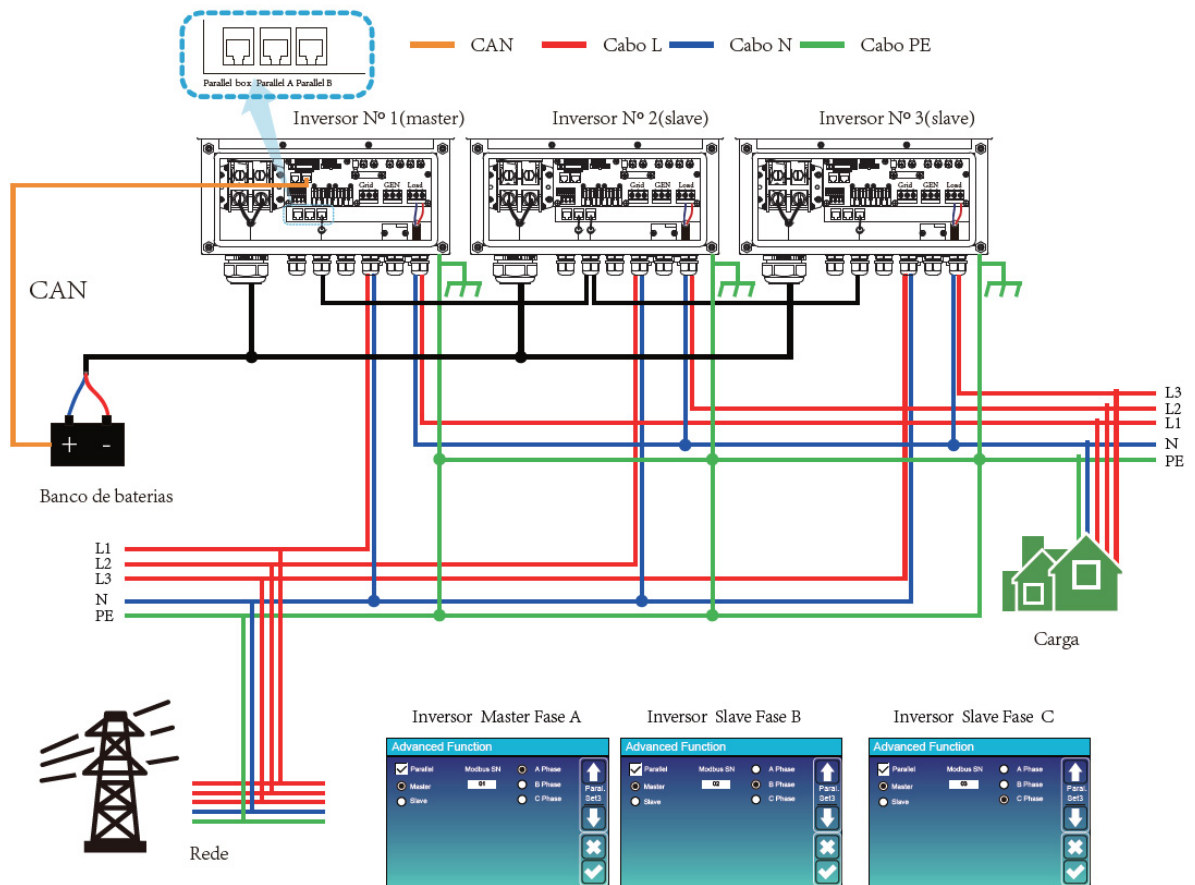
Figura 255 - LISTA DE EQUIPAMENTOS E MATERIAIS

TIPO	PRODUTO	QUANTIDADE
Módulo	SHIN 450Wp - Meia Célula	45
Inversor	DEYE 8k HÍBRIDO (220V)	3
String Box	STRING BOX 4E/2S.1000V — ProAuto	3
Outros	Cabo 4MM - Preto	120
Outros	Cabo 4MM - Vermelho	120
Outros	PAR DE CONECTORES MC4	4
Outros	Bateria Lítio Powerwall — 7,2kWh (150Ah 48V)	3
Estrutura	Clamp Final (SUP 934)	36
Estrutura	Clamp Intermediário (SUP 937)	72
Estrutura	Gancho (SUP 940)	72
Estrutura	KIT Fixação Cerâmica 5 MOD	9
Estrutura	Perfil 6,00M - ES 047	18

Fonte: Alumifix (2022).

Para atender a rede trifásica da residência, foi necessário utilizar três inversores, sendo um por fase, conforme diagrama da Figura 26.

Figura 266 - DIAGRAMA LIGAÇÃO TRIFÁSICA



Fonte: Deye (2022)

Para o SAE está sendo utilizado três baterias com capacidade de 7,2 kWh cada. O preço da bateria está incluso nos equipamentos e materiais, porém segue destacado abaixo:

Figura 27 - PREÇO DAS BATERIAS

PRODUTO	PREÇO TOTAL
Bateria Lítio Powerwall — 7,2kWh (150Ah 48V)	R\$ 54.150,00

Fonte: Alumifix (2022)

Foi encontrado o custo do integrador. Para calcular o custo para o consumidor, será aplicado um fator de 30% sobre o preço calculado, que é o valor aproximado utilizado pela Aldo.

$$\text{Logo: } 149.993,38 \times 1,3 = \text{R\$ } 194.991,39.$$

Esta ligação irá gerar um sistema trifásico 380/220V, portanto será necessário utilizar um transformador para adequar o sistema para 220/127V. Será utilizado o mesmo transformador dos cenários 1 e 2.

Para o custo de instalação, deve-se aplicar o fator dos cenários 1 e 2, acrescido de 10% devido à bateria e utilização de maior quantidade de inversores.

Logo:

$$\text{Custo instalação} = 20,25 \times 742,23 \times 1,1 = \text{R\$ } 16.533,17$$

O custo total para aquisição e instalação do sistema será de:

$$194.991,39 + 6.229 + 16.533,17 = \text{R\$ } 217.753,56$$

A economia gerada por este sistema será a mesma do cenário 1, mostrada na tabela 4.

Quanto a troca dos equipamentos, com relação às baterias, conforme informação do fabricante o equipamento suporta pelo menos 6000 ciclos. Se for considerado 22 dias úteis por mês, ter-se-á a utilização 264 vezes ao ano, portanto a bateria duraria 22 anos. O catálogo não traz a informação da vida útil máxima da bateria, independentemente da utilização. Será considerado nos cálculos a troca 1 vez da bateria, no décimo ano. Para os inversores também será considerado 1 troca no décimo ano.

Portanto, o custo das baterias e o custo dos inversores ajustados para o preço do consumidor e também pela inflação do período ficam em:

Seguem os resultados abaixo:

$$(54.150 + 38.670) \times 1,30 \times 1,06^{10} = \text{R\$ } 216.094,43$$

Calculando os resultados para o cenário 3:

Tabela 3 - PROJEÇÃO FINANCEIRA CENÁRIO 3

Período	Investimento	Economia Mensal	Perda geração de energia	Reajuste tarifa	Economia Mensal Ajustada	Economia no ano	Resultado
Ano 1	R\$ 217.753,56	R\$ 1.579,96	-	0%	R\$ 1.579,96	R\$ 18.959,57	-R\$ 198.793,99
Ano 2	-	R\$ 1.579,96	2%	7%	R\$ 1.658,96	R\$ 19.907,55	-R\$ 178.886,45
Ano 3	-	R\$ 1.658,96	0,55%	7%	R\$ 1.765,97	R\$ 21.191,58	-R\$ 157.694,86
Ano 4	-	R\$ 1.765,97	0,55%	7%	R\$ 1.879,87	R\$ 22.558,44	-R\$ 135.136,42
Ano 5	-	R\$ 1.879,87	0,55%	7%	R\$ 2.001,12	R\$ 24.013,46	-R\$ 111.122,96
Ano 6	-	R\$ 2.001,12	0,55%	7%	R\$ 2.130,19	R\$ 25.562,33	-R\$ 85.560,63
Ano 7	-	R\$ 2.130,19	0,55%	7%	R\$ 2.267,59	R\$ 27.211,10	-R\$ 58.349,54
Ano 8	-	R\$ 2.267,59	0,55%	7%	R\$ 2.413,85	R\$ 28.966,21	-R\$ 29.383,32
Ano 9	-	R\$ 2.413,85	0,55%	7%	R\$ 2.569,54	R\$ 30.834,53	R\$ 1.451,21
Ano 10	R\$ 216.094,43	R\$ 2.569,54	0,55%	7%	R\$ 2.735,28	R\$ 32.823,36	-R\$ 181.819,85
Ano 11	-	R\$ 2.735,28	0,55%	7%	R\$ 2.911,71	R\$ 34.940,47	-R\$ 146.879,39
Ano 12	-	R\$ 2.911,71	0,55%	7%	R\$ 3.099,51	R\$ 37.194,13	-R\$ 109.685,26
Ano 13	-	R\$ 3.099,51	0,55%	7%	R\$ 3.299,43	R\$ 39.593,15	-R\$ 70.092,11
Ano 14	-	R\$ 3.299,43	0,55%	7%	R\$ 3.512,24	R\$ 42.146,91	-R\$ 27.945,20
Ano 15	-	R\$ 3.512,24	0,55%	7%	R\$ 3.738,78	R\$ 44.865,38	R\$ 16.920,19
Ano 16	-	R\$ 3.738,78	0,55%	7%	R\$ 3.979,93	R\$ 47.759,20	R\$ 64.679,39
Ano 17	-	R\$ 3.979,93	0,55%	7%	R\$ 4.236,64	R\$ 50.839,67	R\$ 115.519,06
Ano 18	-	R\$ 4.236,64	0,55%	7%	R\$ 4.509,90	R\$ 54.118,83	R\$ 169.637,89
Ano 19	-	R\$ 4.509,90	0,55%	7%	R\$ 4.800,79	R\$ 57.609,49	R\$ 227.247,38
Ano 20	-	R\$ 4.800,79	0,55%	7%	R\$ 5.110,44	R\$ 61.325,31	R\$ 288.572,69

Fonte: o autor (2022)

Calculando o payback do cenário 3:

Payback = 15 anos e 7 meses

Calculando do VPL do cenário 3 (considerada taxa de 6% ao ano):

VPL = R\$ - 764.625,84

Calculando a TIR do cenário 3:

TIR = -4,28%

Cenário 4: Tarifa branca e microgeração distribuída + SAE

Para este cenário, deve-se utilizar o mesmo sistema de geração e SAE utilizados para o cenário 3, uma vez que não será necessário realizar o ajuste do consumo da tarifa de ponta uma vez que as baterias irão alimentar as cargas neste horário.

A economia gerada será a mesma do cenário 2, com a diferença da substituição da bateria e dos inversores após 10 anos assim como no cenário 3.

Calculando os resultados para o cenário 4:

Tabela 4 - PROJEÇÃO FINANCEIRA CENÁRIO 4

Período	Investimento	Economia Mensal	Perda geração de energia	Reajuste tarifa	Economia Mensal Ajustada	Economia no ano	Resultado
Ano 1	R\$ 217.753,56	R\$ 1.581,53	-	-	R\$ 1.581,53	R\$ 18.978,32	-R\$ 198.775,24
Ano 2	-	R\$ 1.581,53	2%	7%	R\$ 1.660,60	R\$ 19.927,24	-R\$ 178.848,00
Ano 3	-	R\$ 1.660,60	0,55%	7%	R\$ 1.767,71	R\$ 21.212,54	-R\$ 157.635,46
Ano 4	-	R\$ 1.767,71	0,55%	7%	R\$ 1.881,73	R\$ 22.580,75	-R\$ 135.054,71
Ano 5	-	R\$ 1.881,73	0,55%	7%	R\$ 2.003,10	R\$ 24.037,21	-R\$ 111.017,50
Ano 6	-	R\$ 2.003,10	0,55%	7%	R\$ 2.132,30	R\$ 25.587,61	-R\$ 85.429,89
Ano 7	-	R\$ 2.132,30	0,55%	7%	R\$ 2.269,83	R\$ 27.238,01	-R\$ 58.191,88
Ano 8	-	R\$ 2.269,83	0,55%	7%	R\$ 2.416,24	R\$ 28.994,86	-R\$ 29.197,01
Ano 9	-	R\$ 2.416,24	0,55%	7%	R\$ 2.572,09	R\$ 30.865,03	R\$ 1.668,02
Ano 10	R\$ 216.094,43	R\$ 2.572,09	0,55%	7%	R\$ 2.737,99	R\$ 32.855,83	-R\$ 181.570,59
Ano 11	-	R\$ 2.737,99	0,55%	7%	R\$ 2.914,59	R\$ 34.975,03	-R\$ 146.595,56
Ano 12	-	R\$ 2.914,59	0,55%	7%	R\$ 3.102,58	R\$ 37.230,92	-R\$ 109.364,64
Ano 13	-	R\$ 3.102,58	0,55%	7%	R\$ 3.302,69	R\$ 39.632,31	-R\$ 69.732,33
Ano 14	-	R\$ 3.302,69	0,55%	7%	R\$ 3.515,72	R\$ 42.188,59	-R\$ 27.543,74
Ano 15	-	R\$ 3.515,72	0,55%	7%	R\$ 3.742,48	R\$ 44.909,76	R\$ 17.366,02
Ano 16	-	R\$ 3.742,48	0,55%	7%	R\$ 3.983,87	R\$ 47.806,44	R\$ 65.172,46
Ano 17	-	R\$ 3.983,87	0,55%	7%	R\$ 4.240,83	R\$ 50.889,95	R\$ 116.062,41
Ano 18	-	R\$ 4.240,83	0,55%	7%	R\$ 4.514,36	R\$ 54.172,36	R\$ 170.234,77
Ano 19	-	R\$ 4.514,36	0,55%	7%	R\$ 4.805,54	R\$ 57.666,47	R\$ 227.901,24
Ano 20	-	R\$ 4.805,54	0,55%	7%	R\$ 5.115,50	R\$ 61.385,96	R\$ 289.287,20

Fonte: o autor (2022)

Calculando o payback do cenário 4:

Payback = 15 anos e 7 meses

Calculando do VPL do cenário 4 (considerada taxa de 6% ao ano):

$$\text{VPL} = \text{R\$} - 761.914,08$$

Calculando a TIR do cenário 4:

$$\text{TIR} = -4,23\%$$

4.1 ANÁLISE DOS RESULTADOS:

Para facilitar a comparação, segue resumo do consumo e da necessidade de geração de energia para cada cenário:

Tabela 5 - RESUMO CONSUMO x GERAÇÃO

	Fora de Ponta	Intermediário	Ponta	Comentário
Consumo Mensal Residência (kWh)	1604,46	131,34	263,78	
Geração mensal necessária Cenário 1 - GD tarifa convencional	1504,46*	131,34	263,78	*Retirado 100kWh fora de ponta devido custo disponibilidade
Geração mensal necessária Cenário 2 - GD tarifa branca	1504,46*	131,34	419,32**	**Ajustado para compensar diferença de postos tarifários
Geração mensal necessária Cenário 3 - GD+SAE tarifa convencional	1504,46*	131,34	428,34***	***Ajustado para alimentar SAE
Geração mensal necessária Cenário 4 - GD+SAE tarifa branca	1504,46*	131,34	428,34**	

Fonte: o autor (2022)

Segue abaixo a tabela comparativa entre os resultados de cada cenário:

Tabela 6 - RESUMO RESULTADOS FINANCEIROS POR CENÁRIO

	TIR	VPL	Payback
Geração mensal necessária Cenário 1 - GD tarifa convencional	26,03%	R\$1.343.624,01	4 anos e 11 meses
Geração mensal necessária Cenário 2 - GD tarifa branca	23,99%	R\$1.252.654,50	5 anos e 3 meses
Geração mensal necessária Cenário 3 - GD+SAE tarifa convencional	-4,28%	-R\$764.625,84	15 anos e 7 meses
Geração mensal necessária Cenário 4 - GD+SAE tarifa branca	-4,23%	-R\$761.914,08	15 anos e 7 meses

Fonte: o autor (2022)

Ao comparar os resultados obtidos nos cenários simulados, é possível obter as seguintes conclusões:

- Cenário 1 x Cenário 3: o acréscimo do SAE não traz vantagem financeira para o consumidor na tarifa convencional;
- Cenário 2 x Cenário 4: o acréscimo do SAE não traz vantagem financeira para o consumidor na tarifa branca;
- Cenário 1 x Cenário 2: não vale a pena para o consumidor residencial o qual possui ou pretende possuir um sistema de geração fotovoltaico alterar para tarifa branca;
- Cenário 3 x Cenário 4: para o consumidor considerando que possua GD com SAE, houve um ganho muito pequeno com a mudança para tarifa branca;

5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Com os resultados obtidos, para o consumidor residencial considerado foi possível concluir que não há atualmente vantagens financeiras na inclusão de um SAE junto de GD. Os principais motivos para este resultado são os custos ainda elevados da bateria, além da solução de inversor híbrido com controlador de carga ficar bem mais cara que a solução convencional de inversor para GD, uma vez que para o SAE foi necessário utilizar 3 inversores para formar a rede trifásica, enquanto que na GD a solução necessita de apenas 1 inversor.

Com o estudo foi possível concluir também que atualmente a Tarifa Branca não traz benefícios para o consumidor residencial que possua GD, pois demandou um maior sistema de geração de energia fotovoltaica para atender ao consumo proposto, piorando o tempo de retorno do investimento.

A sugestão para trabalhos futuros é de comparar o SAE proposto com outros sistemas de armazenamento de energia (ex. Grupo Motor Gerador – GMG), clientes com perfil de consumo diferente do proposto neste trabalho.

Outra sugestão é analisar as alterações que a nova lei 14.300/2022 traz para a GD.

REFERÊNCIAS

ABHISHEK KUMAR, ARVIND R. SINGH, YAN DENG, XIANGNING HE, PRAVEEN KUMAR, RAMESH C. BANSAL. A Novel Methodological Framework for the Design of Sustainable Rural Microgrid for Developing Nations. **IEEE Access (Volume: 6)**: p 24925-24951. Adelaide, Austrália. 2 de Maio de 2018. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2832460>.

Aldo Solar Disponível em: <https://www.aldo.com.br/categoria/energia-solar/gerador-de-energia-solar-fotovoltaico/on-grid?filtro=157;119;149;152;131;3:18~1500>. Acesso em 29/01/2022.

Aldo Solar Disponível em: <https://www.aldo.com.br/produto/128990-2/gerador-de-energia-solar-fronius-colonial-solar-group-aldo-solar-on-grid-gf-189kwp-jinko-tiger-pro-mono-450w-symo-15kw-2mppt-trif-380v>. Acesso em 29/01/2022.

Aldo Solar Disponível em: <https://www.aldo.com.br/produto/32541-8/transformador-isolador-trifasico-minuzzi-2500tts003-potencia-25kva-primario-380v-secundario-220v-de-12-a-23kw>. Acesso em 10/02/2022.

Aldo Solar Disponível em: <https://www.aldo.com.br/categoria/energia-solar/produtos/inversor-solar/inversor-solar-on-grid?filtro=119>. Acesso em 15/02/2022.

Aldo Solar Disponível em: <https://www.aldo.com.br/categoria/energia-solar/gerador-de-energia-solar-fotovoltaico/on-grid?filtro=157;119;149;152;131;3:20~30000>. Acesso em 14/02/2022.

Aldo Solar Disponível em: <https://www.aldo.com.br/produto/146797-4/gerador-de-energia-solar-fronius-colonial-solar-group-aldo-solar-on-grid-gf-2024kwp-jinko-tiger-pro-mono-460w-symo-20kw-2mppt-trif-380v>. Acesso em 14/02/2022.

Aldo Solar Disponível em: <https://www.aldo.com.br/categoria/energia-solar/gerador-de-energia-solar-fotovoltaico/on-grid?filtro=157;119;149;152;131;3:20~30000>. Acesso em 14/02/2022.

ANEEL RESOLUÇÃO NORMATIVA N° 482. **Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de**

distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Brasil. 17 de Abril de 2012;

ANEEL. Disponível em:

https://www.aneel.gov.br/documents/656827/15234696/FAQ+-V3_20170524/ab9ec474-7dfd-c98c-6753-267852784d86. Acesso em 29/01/2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL E PREDIAL (AURESIDE). Disponível em: <http://www.aureside.org.br/> .Acesso em: 21/11/2021.

Bin Zhou a,n , Wentao Li a, Ka Wing Chan b, Yijia Cao a, Yonghong Kuang a, Xi Liu a, Xiong Wang. Smart home energy management systems: Concept, configurations, and scheduling strategies. **Elsevier**, vol. 61(C), p 30-40. China. 2016. DOI: 10.1016/j.rser.2016.03.047

California Energy Commission. **Microgrid Analysis and Case Studies Report**. California, Estados Unidos. Agosto de 2018.

COPEL Norma Técnica NTC 905200. **Acesso de Micro e Minigeração Distribuída ao Sistema da Copel**. Curitiba. 27 de Abril de 2021;

Copel. Disponível em: <https://www.copel.com/hpcweb/copel-distribuicao/taxas-tarifas/>. Acesso em 23/10/2021.

Copel. Disponível em: <https://atlassolarparana.com>. Acesso em 25/01/2022.

Copel. Disponível em: <https://www.copel.com/site/copel-distribuicao/tarifas-de-energia-eletrica/>. Acesso em 29/01/2022.

Copel. Disponível em: <https://www.copel.com/site/copel-distribuicao/tarifas-de-energia-eletrica/>. Acesso em 29/01/2022.

CLEAN ENERGY REVIEWS. Disponível em: <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/home-solar-battery-cost-guide>. Acesso em: 12/02/2022.

GROWATT. Disponível em: <https://www.ginverter.pt/show-44-589.html> .Acesso em: 12/02/2022.

Hussain Shareef, Maytham S. Ahmed, Azah Mohamed, Eslam Al Hassan. Review on Home Energy Management System Considering Demand Responses, Smart Technologies, and Intelligent Controllers. **IEEE Access (Volume: 6)**: p 24498 –

24509. Adelaide, Austrália. 2018. DOI:
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2831917>

INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (INEE). Disponível em:
http://www.inee.org.br/veh_sobre.asp?Cat=veh. Acesso em: 20/11/2021.

ISTOE. Disponível em: <https://www.istoedinheiro.com.br/carros-eletricos-conheca-as-vantagens-e-desvantagens/>. Acesso em: 21/11/2021.

Juan Manuel Rey López. **Modeling, control and design of AC microgrids in islanded mode**. Barcelona, Espanha. Julho de 2019.

Jinsoo Han, Chang-Sic Choi, Wan-Ki Park, Ilwoo Lee, and Sang-Ha Kim. Smart Home Energy Management System Including Renewable Energy Based on ZigBee and PLC. Las Vegas, Estados Unidos. **IEEE Xplore**. 20 de Março de 2014. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICCE.2014.6776125>

Katja Sirviö, Kimmo Kauhaniemi, Aushiq Ali Memon, Hannu Laaksonen and Lauri Kumpulainen. Functional Analysis of the Microgrid Concept Applied to Case Studies of the Sundom Smart Grid. **Energies**, nº16. Vaasa, Finlândia. 15 de Agosto de 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/en13164223>

NARUC – National Association of Regulatory Utility Commissioners. **User Objectives and Design Approaches for Microgrids: Options for Delivering Reliability and Resilience, Clean Energy, Energy Savings, and Other Priorities**. Washington DC, Estados Unidos. Janeiro de 2021.

Our World in Data. Disponível em: <https://ourworldindata.org/battery-price-decline>. Acesso em 04/07/2021.

S. Manson, K. G. Ravikumar, and S. K. Raghupathula. **Microgrid Systems: Design, Control Functions, Modeling, and Field Experience**. Reston, Virginia, Estados Unidos. Outubro de 2018.

PLATAFORMA CONECTAR. Disponível em:
<http://plataformaconectar.blogspot.com/2020/08/como-se-situa-o-brasil-no-mercado.html>. Acesso em: 21/11/2021.

PORTAL SOLAR. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico.html>. Acesso em: 20/11/2021;

PORTAL SOLAR. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/historia-origem-da-energia-solar.html>. Acesso em: 20/11/2021.

PORTAL SOLAR. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/celula-fotovoltaica.html>. Acesso em: 20/11/2021.

PORTAL SOLAR. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/como-funciona-o-painel-solar-fotovoltaico.html>. Acesso em: 20/11/2021.

Portal Solar em: <https://www.portalsolar.com.br/painel-solar-precos-custos-de-instalacao.html>. Acesso em 25/01/2022.

QUERO AUTOMAÇÃO. Disponível em: <https://www.queroautomacao.com.br/como-fazer-automacao-residencial/>. Acesso em: 21/11/2021.

QUERO AUTOMAÇÃO. Disponível em <https://www.queroautomacao.com.br/seguranca-da-casa/>. Acesso em: 21/11/2021.

Samuel Booth, James Reilly, Robert Butt, Mick Wasco, Randy Monohan. Microgrids for Energy Resilience: **A Guide to Conceptual Design and Lessons from Defense Projects**. Estados Unidos. Janeiro de 2020.

TESLA. Disponível em: <https://www.tesla.com/powerwall>. Acesso em: 20/11/2021.

Wei Feng, Ming Jin, Xu Liu, Yi Bao, Chris Marnay, Cheng Yao, Jiancheng Yu. A review of microgrid development in the United States – A decade of progress on policies, demonstrations, controls, and software tools. **Elsevier**, vol.228(C), p 1656-1668. Berkeley, Estados Unidos. 15 de outubro de 2018. DOI: 10.1016/j.apenergy.2018.06.096.

ANEXO 1 – TABELAS EMULAÇÃO CARGAS

Tabela 7 - EMULAÇÃO DA CURVA DE CARGA PARA DIAS ÚTEIS

Horário	Pot. Ativa [W]	Horário	Pot. Ativa [W]	Horário	Pot. Ativa [W]
00:00:00	3798,323331	08:10:00	2090,583378	16:20:00	2048,90425
00:10:00	3737,888914	08:20:00	2156,637155	16:30:00	2021,93834
00:20:00	3429,81262	08:30:00	2070,734403	16:40:00	1999,727682
00:30:00	3591,719677	08:40:00	2074,546894	16:50:00	2101,595707
00:40:00	3402,996574	08:50:00	2356,163202	17:00:00	2106,159643
00:50:00	3424,008322	09:00:00	2086,054517	17:10:00	1745,398269
01:00:00	3227,196829	09:10:00	1987,133813	17:20:00	2091,139256
01:10:00	3156,388864	09:20:00	2016,799396	17:30:00	2356,573467
01:20:00	2929,876714	09:30:00	2174,037293	17:40:00	2644,158816
01:30:00	2923,198742	09:40:00	2278,842009	17:50:00	2147,152161
01:40:00	2938,674035	09:50:00	2165,784158	18:00:00	2547,906962
01:50:00	2983,273912	10:00:00	2572,760962	18:10:00	2649,952485
02:00:00	2927,524597	10:10:00	2803,076038	18:20:00	3474,660144
02:10:00	2846,846881	10:20:00	2566,729211	18:30:00	3519,441771
02:20:00	2965,611247	10:30:00	2341,987791	18:40:00	4239,432933
02:30:00	2751,483581	10:40:00	2440,413201	18:50:00	4341,563484
02:40:00	2517,823674	10:50:00	2613,338964	19:00:00	4325,206015
02:50:00	2431,999574	11:00:00	2689,902334	19:10:00	3668,802788
03:00:00	2401,418866	11:10:00	2692,679597	19:20:00	4078,91929
03:10:00	2396,601968	11:20:00	2708,40785	19:30:00	4008,504584
03:20:00	2442,914119	11:30:00	3144,937573	19:40:00	3958,847603
03:30:00	2682,682303	11:40:00	3024,556592	19:50:00	3556,787605
03:40:00	2374,571997	11:50:00	2763,077296	20:00:00	3836,086871
03:50:00	2533,66034	12:00:00	2786,403961	20:10:00	3990,627221
04:00:00	2483,798225	12:10:00	2905,007834	20:20:00	4542,54034
04:10:00	2470,330682	12:20:00	2906,605318	20:30:00	4954,261766
04:20:00	2400,95652	12:30:00	2709,602509	20:40:00	4080,86433
04:30:00	2426,565153	12:40:00	2532,861067	20:50:00	4298,985173
04:40:00	2576,013324	12:50:00	2693,730769	21:00:00	4446,30868
04:50:00	2475,395227	13:00:00	2337,012528	21:10:00	4106,755684
05:00:00	2529,276028	13:10:00	2440,299475	21:20:00	3721,265729
05:10:00	2436,450846	13:20:00	2560,358408	21:30:00	3668,887817
05:20:00	2297,926786	13:30:00	2729,173014	21:40:00	3556,441112
05:30:00	2407,935282	13:40:00	2725,614547	21:50:00	3588,771293
05:40:00	2146,428351	13:50:00	2570,719201	22:00:00	3699,025311
05:50:00	2158,688481	14:00:00	2538,376265	22:10:00	4012,692266
06:00:00	1895,516044	14:10:00	2611,215362	22:20:00	3926,63221
06:10:00	1787,58332	14:20:00	2386,493074	22:30:00	3898,753301
06:20:00	1885,535756	14:30:00	2227,782048	22:40:00	3751,482938
06:30:00	1684,020029	14:40:00	2376,444763	22:50:00	3632,878002
06:40:00	1877,429296	14:50:00	2571,948934	23:00:00	3472,013614
06:50:00	1816,030861	15:00:00	2437,496704	23:10:00	3634,238467
07:00:00	1428,142023	15:10:00	2187,22424	23:20:00	3589,385628
07:10:00	1581,376114	15:20:00	2207,280474	23:30:00	3650,734108
07:20:00	1645,991836	15:30:00	2432,876436	23:40:00	3567,596927
07:30:00	1662,147361	15:40:00	2468,303802	23:50:00	3464,775514
07:40:00	2059,124745	15:50:00	2220,058219	00:00:00	31363,39000
07:50:00	2010,815474	16:00:00	2240,634193		
08:00:00	2154,912128	16:10:00	2189,808061		

Fonte: adaptado de Yamakawa (2007)

Tabela 8 - EMULAÇÃO DA CURVA DE CARGA PARA SÁBADOS

Horário	Pot. Ativa [W]	Horário	Pot. Ativa [W]	Horário	Pot. Ativa [W]
00:00:00	3174,098295	08:10:00	1873,739034	16:20:00	2190,723187
00:10:00	3288,390131	08:20:00	2029,508054	16:30:00	2382,299015
00:20:00	3277,996389	08:30:00	2028,436688	16:40:00	2245,60308
00:30:00	3037,550098	08:40:00	1838,694299	16:50:00	2309,483301
00:40:00	3029,746555	08:50:00	1865,016113	17:00:00	1970,999545
00:50:00	3027,73668	09:00:00	2022,445326	17:10:00	2043,538915
01:00:00	2923,275269	09:10:00	2029,080783	17:20:00	2599,647156
01:10:00	3132,650871	09:20:00	2164,810575	17:30:00	2908,835205
01:20:00	2971,306069	09:30:00	2156,478788	17:40:00	2783,449201
01:30:00	3178,172251	09:40:00	2300,436207	17:50:00	3140,166379
01:40:00	2932,779394	09:50:00	2318,05742	18:00:00	2992,248731
01:50:00	3011,127312	10:00:00	2415,616596	18:10:00	3072,214328
02:00:00	3082,692036	10:10:00	2350,274938	18:20:00	3472,295273
02:10:00	2884,367025	10:20:00	2339,120186	18:30:00	3696,405352
02:20:00	2922,843746	10:30:00	2470,619781	18:40:00	3687,360384
02:30:00	2692,61795	10:40:00	2840,16147	18:50:00	3879,026555
02:40:00	2699,264036	10:50:00	2566,970481	19:00:00	3581,674554
02:50:00	2868,836464	11:00:00	2243,169122	19:10:00	3596,670495
03:00:00	2628,1032	11:10:00	2158,008249	19:20:00	3829,651232
03:10:00	2508,433275	11:20:00	2449,31362	19:30:00	3773,199364
03:20:00	2778,505823	11:30:00	2757,605675	19:40:00	3482,238361
03:30:00	2572,802413	11:40:00	2478,962197	19:50:00	3890,792454
03:40:00	2463,751557	11:50:00	2749,219682	20:00:00	4720,612487
03:50:00	2511,550654	12:00:00	2366,375194	20:10:00	4060,786839
04:00:00	2590,312026	12:10:00	2219,440695	20:20:00	4165,436377
04:10:00	2710,00002	12:20:00	1896,794669	20:30:00	3746,880739
04:20:00	2530,143325	12:30:00	1975,620876	20:40:00	3997,64212
04:30:00	2479,075923	12:40:00	1999,433269	20:50:00	3640,98765
04:40:00	2479,534017	12:50:00	1743,857117	21:00:00	3523,084205
04:50:00	2488,961616	13:00:00	1558,241827	21:10:00	4082,873142
05:00:00	2421,393259	13:10:00	2016,629337	21:20:00	3888,103409
05:10:00	2375,889948	13:20:00	1864,38371	21:30:00	3886,498486
05:20:00	2289,141156	13:30:00	1819,728563	21:40:00	3905,863858
05:30:00	2253,167479	13:40:00	2091,629236	21:50:00	3959,634122
05:40:00	2206,244182	13:50:00	2139,247646	22:00:00	3856,727679
05:50:00	2046,286417	14:00:00	1985,770159	22:10:00	3903,886932
06:00:00	1978,518242	14:10:00	2142,040851	22:20:00	3951,641388
06:10:00	1586,093102	14:20:00	2191,899777	22:30:00	3704,536258
06:20:00	1591,362779	14:30:00	2118,987342	22:40:00	3885,106134
06:30:00	1771,40335	14:40:00	2284,311505	22:50:00	3726,080501
06:40:00	1724,758523	14:50:00	2559,612277	23:00:00	3728,386914
06:50:00	1868,041023	15:00:00	2357,120842	23:10:00	3490,391587
07:00:00	1892,176527	15:10:00	2724,021315	23:20:00	3588,364217
07:10:00	1754,251922	15:20:00	2759,12557	23:30:00	3463,079184
07:20:00	1664,775822	15:30:00	2392,30056	23:40:00	3447,918499
07:30:00	1750,81037	15:40:00	2795,256551	23:50:00	3217,457811
07:40:00	1935,946308	15:50:00	2646,156999	00:00:00	28627,77000S
07:50:00	1914,294716	16:00:00	2207,690739		
08:00:00	1787,182621	16:10:00	2199,88507		

Fonte: adaptado de Yamakawa (2007)

Tabela 9 - EMULAÇÃO DA CURVA DE CARGA PARA DOMINGOS

Horário	Pot. Ativa [W]	Horário	Pot. Ativa [W]	Horário	Pot. Ativa [W]
00:00:00	3042,741124	08:10:00	1594,20275	16:20:00	2706,670069
00:10:00	3071,59149	08:20:00	1590,366876	16:30:00	2766,663398
00:20:00	3032,666241	08:30:00	1689,153659	16:40:00	2843,227831
00:30:00	3005,118945	08:40:00	1509,5478	16:50:00	2866,082585
00:40:00	3097,983453	08:50:00	1693,977997	17:00:00	3111,933536
00:50:00	3217,890396	09:00:00	1601,08054	17:10:00	3317,180977
01:00:00	3121,13262	09:10:00	1745,030518	17:20:00	3849,053805
01:10:00	3043,942159	09:20:00	1777,055658	17:30:00	3358,567818
01:20:00	2820,630291	09:30:00	1761,518719	17:40:00	3903,366129
01:30:00	2899,199285	09:40:00	1788,214661	17:50:00	4157,667908
01:40:00	2760,203313	09:50:00	1812,338474	18:00:00	3564,49868
01:50:00	2697,771775	10:00:00	1914,099149	18:10:00	3512,384358
02:00:00	2671,766695	10:10:00	2023,236097	18:20:00	4107,319002
02:10:00	2686,131295	10:20:00	2254,373829	18:30:00	4559,578041
02:20:00	2647,808689	10:30:00	1885,596339	18:40:00	4518,838484
02:30:00	2627,68762	10:40:00	1774,797073	18:50:00	4725,735489
02:40:00	2627,13068	10:50:00	1798,54782	19:00:00	5443,912342
02:50:00	2778,202906	11:00:00	1795,591997	19:10:00	4663,302888
03:00:00	2876,518841	11:10:00	1843,763095	19:20:00	4591,942234
03:10:00	2613,515399	11:20:00	1748,355155	19:30:00	4651,207502
03:20:00	2608,714445	11:30:00	1952,509972	19:40:00	4916,306911
03:30:00	2913,875304	11:40:00	2003,788884	19:50:00	5249,907871
03:40:00	2831,626676	11:50:00	1879,270176	20:00:00	5426,640811
03:50:00	2850,9591	12:00:00	1785,598954	20:10:00	5499,383187
04:00:00	2901,030599	12:10:00	1721,995078	20:20:00	5416,819952
04:10:00	2741,057954	12:20:00	2008,046715	20:30:00	4763,934802
04:20:00	2811,084714	12:30:00	2067,794522	20:40:00	5081,582182
04:30:00	2925,368047	12:40:00	2255,801255	20:50:00	5143,313293
04:40:00	2856,978096	12:50:00	1752,426985	21:00:00	4350,300222
04:50:00	2720,023885	13:00:00	1648,84031	21:10:00	4105,012588
05:00:00	2378,08795	13:10:00	1596,311471	21:20:00	3975,492045
05:10:00	2331,213544	13:20:00	1708,547729	21:30:00	4265,717546
05:20:00	2315,250398	13:30:00	1500,134018	21:40:00	4399,999718
05:30:00	2158,046512	13:40:00	1612,058857	21:50:00	4273,019419
05:40:00	1793,962627	13:50:00	1747,380509	22:00:00	3828,508654
05:50:00	1665,087241	14:00:00	1630,698294	22:10:00	3768,754469
06:00:00	1665,571907	14:10:00	1414,867921	22:20:00	3634,174695
06:10:00	1744,250376	14:20:00	1446,387138	22:30:00	3625,654782
06:20:00	1599,85931	14:30:00	1488,394691	22:40:00	3477,079222
06:30:00	1690,977533	14:40:00	1622,166688	22:50:00	3455,833644
06:40:00	1680,531711	14:50:00	1657,679083	23:00:00	3176,347314
06:50:00	1784,185346	15:00:00	1677,749134	23:10:00	3390,603586
07:00:00	1621,979624	15:10:00	1685,60157	23:20:00	3260,444262
07:10:00	1593,86476	15:20:00	2230,371183	23:30:00	3217,265433
07:20:00	1617,734548	15:30:00	2295,587423	23:40:00	3271,956136
07:30:00	1540,183777	15:40:00	2477,834499	23:50:00	3243,66271
07:40:00	1406,828422	15:50:00	2898,420206	00:00:00	27403,39
07:50:00	1383,697324	16:00:00	2621,166953		
08:00:00	1514,780277	16:10:00	2741,266275		

Fonte: adaptado de Yamakawa (2007)