

INSTITUTO FEDERAL DE MINAS GERAIS
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
IGOR ANTONIO DE SOUZA COSTA

PROJETOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONSIDERANDO O PERFIL DE
CONSUMO AO LONGO DO DIA

FORMIGA – MG
2025

IGOR ANTONIO DE SOUZA COSTA

**PROJETOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONSIDERANDO O PERFIL DE
CONSUMO AO LONGO DO DIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia Elétrica do Instituto Federal
de Minas Gerais como requisito para obtenção do
título de bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador(a): Prof. Dr. Renan Souza Moura

FORMIGA – MG

2025

Costa, Igor Antonio de Souza
C837p Projetos de sistemas fotovoltaicos considerando o perfil de consumo ao longo do dia / Igor Antonio de Souza Costa – Formiga : IFMG, 2025.
72 p. :il. color.

Orientador: Prof. Dr. Renan de Souza Moura
Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) –
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – *Campus*
Formiga.

1. Geração fotovoltaica. 2. Tarifa branca. 3. Tarifa convencional. 4. Viabilidade econômica. 5. Sistemas on-grid. 6. Projeto fotovoltaico. 7. Curva de carga. I. Moura, Renan de Souza. II. Título.

CDD 621.3

IGOR ANTONIO DE SOUZA COSTA

PROJETOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONSIDERANDO O PERFIL DE
CONSUMO AO LONGO DO DIA

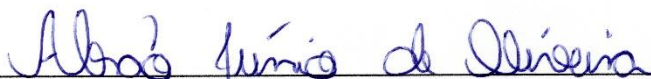
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia Elétrica do Instituto Federal
de Minas Gerais como requisito para obtenção do
título de bacharel em Engenharia Elétrica.

Nota: 80

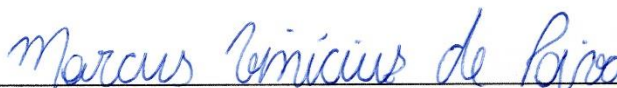
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Renan Souza Moura
Orientador



Prof. Abrão Júnio de Oliveira
Avaliador



Prof. Me. Marcus Vinícius de Paiva
Avaliador

Formiga, 01 de julho de 2025.

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, por
toda força, sabedoria e saúde e aos meus pais,
meu irmão e minha esposa, que sempre me deram
apoio nesta etapa da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus por toda a força, saúde e sabedoria durante toda essa etapa. Agradeço também a Nossa Senhora Aparecida e a São José, por sempre intercederem por mim e sempre levarem minhas preces ao Senhor.

Agradeço aos meus pais, Antonio e Antonia, por todo apoio durante toda a minha vida, sempre me dando forças nos momentos de fraqueza, com paciência e sabedoria, me auxiliando a me tornar quem eu sou, sendo os dois minha principal inspiração.

Agradeço ao meu irmão, Iago, pela irmandade de sempre, que mesmo sendo mais novo que eu, tenho por ele grande admiração, me inspirando em várias etapas de minha vida.

Agradeço a minha esposa, Karina, que desde o momento que chegou em minha vida foi mais uma grande inspiração para mim, sempre me dando forças, cuidando de mim, me apoiando com muita paciência e dedicação.

Agradeço ao meu orientador, Renan, por toda paciência, apoio, toda sabedoria compartilhada comigo e por nunca medir esforços para me auxiliar.

Agradeço a todos meus amigos e parentes, que sempre foram fundamentais com todo apoio e pelos momentos vividos que sempre estarão na minha memória.

Agradeço também a cada um dos professores, que durante essa graduação, puderam contribuir com minha formação, sempre com muita sabedoria e ensinamentos.

Enfim, tenho muito a agradecer a todos, que de certa forma, foram essenciais e muito especiais para mim, muito obrigado!

RESUMO

A busca incessante por energia elétrica tem contribuído muito pelo desenvolvimento de tecnologias de geração de energia de fontes renováveis, como por exemplo, a tecnologia fotovoltaica. Devido grande variedade cultural e de rotinas de cada cidadão, analisar o perfil de consumo de energia elétrica de cada pessoa pode auxiliar em uma melhor forma de consumo e de uso da energia elétrica proveniente dessas fontes renováveis. Diante disso, este trabalho de conclusão de curso (TCC) tem o objetivo de demonstrar projetos de sistemas fotovoltaicos *On-grid*, levando em consideração diferentes características de consumo ao longo do dia. Utilizando técnicas de viabilidade econômica, foi possível identificar o melhor sistema de tarifação para cada consumidor, recomendando assim a permanência na tarifa convencional ou a migração para a tarifa branca.

Palavras-chave: Geração Fotovoltaica. Tarifa Branca. Tarifa Convencional. Viabilidade Econômica. Sistemas *On-Grid*. Projeto Fotovoltaico. Curva de Carga.

ABSTRACT

The relentless pursuit of electricity has contributed significantly to the development of renewable energy generation technologies, such as photovoltaic technology. Given the wide variety of cultures and daily routines of each citizen, analyzing each person's electricity consumption profile can help determine the best way to consume and use electricity from these renewable sources. Therefore, this undergraduate thesis aims to demonstrate on-grid photovoltaic system designs, considering different consumption characteristics throughout the day. Using economic feasibility techniques, it was possible to identify the best pricing system for each consumer, thus recommending whether to remain on the conventional tariff or migrate to the white tariff.

Keywords: Photovoltaic Generation. White Tariff. Conventional Tariff. Economic Viability. On-Grid Systems. Photovoltaic Project. Load Curve.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Comparação da matriz elétrica mundial e a brasileira.	15
Figura 2: Sistema <i>On-Grid</i> de energia fotovoltaica.....	20
Figura 3: Diferença entre os materiais.....	21
Figura 4: Funcionamento do painel fotovoltaico.....	22
Figura 5: Construção de um painel fotovoltaico.	22
Figura 6: Funcionamento do medidor bidirecional de energia elétrica.	24
Figura 7: DPS CC.....	25
Figura 8: Fusível gPV.....	25
Figura 9: Disjuntor CC.	26
Figura 10: Chave seccionadora CC.	26
Figura 11: <i>String box</i> CC.....	27
Figura 12: Quadro de proteção CA.	27
Figura 13: Sistema fotovoltaico com SPDA.	28
Figura 14: Fluxograma da metodologia aplicada.	36
Figura 15: Curva de carga do consumidor 6.	39
Figura 16: Curva de carga do consumidor 2.	39
Figura 17: Curva de carga do consumidor 5.	40
Figura 18: Curva de carga do consumidor 1.	40
Figura 19: Curva de carga do consumidor 7.	41
Figura 20: Curva de carga do consumidor 3.	41
Figura 21: Curva de carga do consumidor 4.	42
Figura 22: Gráfico de Geração versus Payback.....	49
Figura 23: Gráfico de Geração versus Valor Presente Líquido.....	49
Figura 24: Gráfico de Geração versus Taxa Interna de Retorno.	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores de tarifas da Cemig - 26/05/2025.....	36
Tabela 2: Custo de disponibilidade Cemig.....	37
Tabela 3: Coordenadas geográficas de São José da Barra, MG.	37
Tabela 4: Valores de irradiação solar.	37
Tabela 5: Período de maior consumo de cada consumidor.	38
Tabela 6: Valor da fatura de cada consumidor em relação a ambos os sistemas de tarifação.	42
Tabela 7: Especificações do módulo escolhido.....	43
Tabela 8: Quantidade de módulos e energia gerada por cada sistema.	44
Tabela 9: Dados necessários para a escolha do inversor.	44
Tabela 10: Modelos de inversores escolhidos.	45
Tabela 11: Valores dos equipamentos.	45
Tabela 12: Valor de orçamento para cada consumidor.	46
Tabela 13: Créditos por ano.....	46
Tabela 14: Custo de disponibilidade para cada tarifação.	47
Tabela 15: Economia para o regime de tarifa convencional.	47
Tabela 16: Economia para o regime de tarifa branca.	47
Tabela 17: Viabilidade econômica considerando a tarifa convencional.	48
Tabela 18: Viabilidade econômica considerando a tarifa branca.	48
Tabela 19: Viabilidade econômica por período do dia.....	51
Tabela 20: Tarifa considerando a energia consumida por horário do consumidor 1.	57
Tabela 21: Tarifa considerando a energia consumida por horário do consumidor 2.	58
Tabela 22: Tarifa considerando a energia consumida por horário do consumidor 3.	59
Tabela 23: Tarifa considerando a energia consumida por horário do consumidor 4.	60
Tabela 24: Tarifa considerando a energia consumida por horário do consumidor 5.	61

Tabela 25: Tarifa considerando a energia consumida por horário do consumidor 6.	62
Tabela 26: Tarifa considerando a energia consumida por horário do consumidor 7.	63
Tabela 27: Créditos na fatura do consumidor 1.....	64
Tabela 28: Créditos na fatura do consumidor 2.....	64
Tabela 29: Créditos na fatura do consumidor 3.....	65
Tabela 30: Créditos na fatura do consumidor 4.....	65
Tabela 31: Créditos na fatura do consumidor 5.....	66
Tabela 32: Créditos na fatura do consumidor 6.....	66
Tabela 33: Créditos na fatura do consumidor 7.....	67
Tabela 34: Economia do consumidor 1 para cada sistema de tarifação.	68
Tabela 35: Economia do consumidor 2 para cada sistema de tarifação.	68
Tabela 36: Economia do consumidor 3 para cada sistema de tarifação.	69
Tabela 37: Economia do consumidor 4 para cada sistema de tarifação.	69
Tabela 38: Economia do consumidor 5 para cada sistema de tarifação.	70
Tabela 39: Economia do consumidor 6 para cada sistema de tarifação.	70
Tabela 40: Economia do consumidor 7 para cada sistema de tarifação.	71
Tabela 41: Links das lojas com as cotações dos equipamentos	72

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
A	Ampère
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
DPS	Dispositivo de Proteção Contra Surtos
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFMG	Instituto Federal de Minas Gerais
MG	Minas Gerais
PB	Payback
kW	Quilowatt
kWh	Quilowatt-hora
SPDA	Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas
TUSD	Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição
TIR	Taxa Interna de Retorno
VPL	Valor Presente Líquido
V	Volts
W	Watts

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Revisão Bibliográfica.....	16
1.2 Justificativa	17
1.3 Hipóteses	18
1.4 Objetivos	18
1.4.1 Objetivos Gerais	18
1.4.2 Objetivos Específicos.....	18
1.5 Estrutura do TCC	19
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	20
2.1 Sistemas Fotovoltaicos.....	20
2.1.1 Geração de Energia Fotovoltaica	20
2.1.2 Efeito Fotovoltaico	21
2.1.3 Pannel Fotovoltaico.....	21
2.1.4 Inversor	23
2.1.5 Medidor Bidirecional de Energia Elétrica.....	23
2.1.6 Proteção e Aterramento de Sistemas Fotovoltaicos.....	24
2.1.7 Dimensionamento de Sistema Fotovoltaico On-Grid	28
2.2 Sistemas de Tarifação	31
2.2.1 Tarifa Convencional	32
2.2.2 Tarifa Branca	32
2.3 Normas	32
2.4 Viabilidade Econômica.....	33
2.4.1 Payback	33
2.4.2 Valor Presente Líquido (VPL).....	34
2.4.3 Taxa Interna de Retorno (TIR)	34
3 METODOLOGIA	35
3.1 Dados Geográficos e Tarifários.....	36
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
4.1 Curvas de Carga	38
4.1.1 Maior Consumo Período da Manhã	38
4.1.2 Maior Consumo Período da Tarde	39
4.1.3 Maior Consumo Período da Noite	40
4.2 Fatura de Energia com Base nas Curvas de Carga.....	42
4.3 Modelo e Parâmetros dos Módulos.....	43
4.4 Quantidade de Módulos e Energia Gerada Pelo Sistema	44
4.5 Inversor	44
4.6 Orçamento	45
4.7 Créditos.....	46
4.8 Economia	46
4.9 Viabilidade Econômica.....	47

5 CONCLUSÃO52
 5.1 Trabalhos Futuros 52

6 REFERÊNCIAS.....53

7 ANEXOS57
 Anexo A..... 57
 Anexo B..... 64
 Anexo C..... 68
 Anexo D..... 72

1 INTRODUÇÃO

Desde o princípio, a civilização sempre necessitou de energia, como a energia do ser humano e de alguns animais em trabalhos braçais, a descoberta e utilização do fogo, o uso dos ventos para navegação, entre outras utilizações existentes nos dias de hoje. (KHAN ACADEMY, 2023).

A matriz energética de um país é caracterizada pelos conjuntos de fontes de energia existentes. Estas fontes podem ser renováveis ou não. As do tipo renováveis são recursos que não se esgotam ou que se regeneram na natureza, enquanto as energias não renováveis apresentam quantidades limitadas na natureza. (RIBEIRO, 2023).

Com um maior consumo de energia elétrica a cada ano e com a crescente demanda por utilização de energias renováveis, o Brasil possui uma matriz elétrica onde, segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2023), no ano de 2020, 82,9% é proveniente de energia renovável, enquanto, em cenário mundial, apenas 28,6%. A especificação da quantidade de cada matéria prima responsável pela matriz elétrica mundial e brasileira é mostrada na Figura 1.

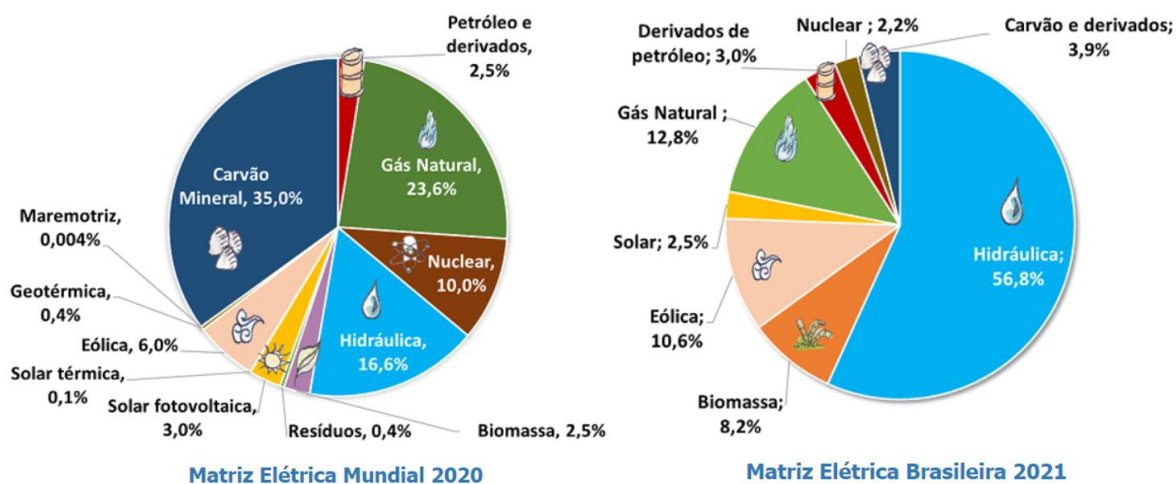


Figura 1: Comparação da matriz elétrica mundial e a brasileira.

Fonte: (EPE, 2023).

Devido à redução em seu valor, matéria prima inesgotável e maior acessibilidade aos seus equipamentos, a energia fotovoltaica está em crescente expansão no mundo, principalmente no Brasil, que segundo (PORTAL SOLAR, 2022), em 2022 são cerca de 1.890.095 sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica.

Quando um consumidor instala um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica, o mesmo não deixa de pagar tarifas para a concessionária de energia. Para os consumidores do Grupo B, existem duas modalidades disponíveis: tarifa convencional e tarifa branca.

Com sua implementação em 2018, a tarifa branca tem sua tarifação com base em horários pré-definidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), onde o consumidor paga valores diferentes de Quilowatt-hora (kWh) em cada período estabelecido. (PUCRS, 2019).

A partir de 2020, qualquer consumidor do grupo B pode aderir a tarifa branca, fazendo a solicitação à sua concessionária de energia, onde é realizada a troca do medidor para o que permite diferenciar valores de kWh em função do horário do dia. Em caso de arrependimento após a migração, o consumidor pode requerer a mudança para a tarifa convencional novamente. (ENETEC, 2020).

Mediante os dados tratados acima, este trabalho de conclusão de curso visa analisar a viabilidade econômica de projetos fotovoltaicos na tarifa convencional e branca, considerando o perfil de consumo ao longo do dia, onde, através dessa análise, é possível recomendar ou não a troca do sistema de tarifação.

1.1 Revisão Bibliográfica

Outros trabalhos podem ser citados com temas próximos ao deste TCC.

O projeto de pesquisa nomeado como *Análise de viabilidade financeira entre sistemas fotovoltaicos puros e sistemas fotovoltaicos híbridos para consumidores do tipo b conectados em sistemas de distribuição de energia elétrica*, realizado por alunos do Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG) Campus Formiga, demonstrou que todos os sistemas fotovoltaicos inseridos na tarifação convencional apresentam maior retorno financeiro que a tarifa branca. (FONSECA, 2022).

A dissertação nomeada como *Consumo de energia elétrica de habitações com sistemas fotovoltaicos sob a tarifa branca e convencional*, realizada pelo aluno Matheus Gomes Rodrigues, para o programa de pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Viçosa, realizou uma avaliação do impacto da inserção de novas tecnologias como a geração distribuída e a tarifa branca no território brasileiro, aferindo se a tarifa branca cumpre o seu propósito nos casos analisados. (RODRIGUES, 2019).

O trabalho de conclusão de curso nomeado como *Análise de viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos em empreendimentos habitacionais de interesse social*, realizado pelo aluno Thomaz de Melo Cunha, do IFMG Campus Piumhi, comparou a viabilidade econômica

na inserção de um sistema fotovoltaico ou a inserção de um sistema de aquecimento de água termossolar, em uma residência de baixa renda. (CUNHA, 2019).

O trabalho de conclusão de curso nomeado como *Estudo e análise de um sistema fotovoltaico aplicado a uma residência de baixa renda*, realizado pelo aluno Caio César Teodoro Dos Santos, da Universidade Federal de Uberlândia, avaliou a implementação de um sistema fotovoltaico *On-Grid* em uma residência de baixa renda contemplada pela tarifa social de energia elétrica. (SANTOS, 2019).

O trabalho de conclusão de curso nomeado como *Estudo de caso de duas usinas fotovoltaicas com tipos diferentes de inversores*, realizado pelo aluno Heitor Monte Duarte, da Universidade Federal de Uberlândia, realizou uma análise comparativa entre um sistema fotovoltaico instalado com um inversor *string* e um sistema fotovoltaico instalado com um micro inversor. (DUARTE, 2019).

O trabalho de conclusão de curso nomeado como *Utilização integrada de painéis fotovoltaicos e carros elétricos em residência*, realizado pela aluna Lauriana Goulart Estevão, do IFMG Campus Formiga, avaliou a instalação de uma tomada para carregamento de carros elétricos em uma residência que já possui sistema fotovoltaico. (ESTEVÃO, 2019).

1.2 Justificativa

Com a tecnologia de geração de energia elétrica com sistemas fotovoltaicos cada vez mais presente em grande parte das residências brasileiras, este trabalho tem o propósito de estudar uma nova forma de realizar os projetos desses sistemas.

Com uma estimativa de 213 milhões de brasileiros em 2021, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2021), e com o fato de ser um país com grande área territorial, a rotina dos brasileiros é diversificada, devido, principalmente, aos fatores comportamentais.

Com base nos fatos descritos acima, um método de projetar sistemas fotovoltaicos com base no perfil de consumo de cada consumidor ao longo do dia se torna interessante, pois em cada um dos casos pode se ter um sistema fotovoltaico melhor projetado em relação aos custos de implementação.

Além disso, conforme o perfil de consumo de cada um, ao realizar a implementação do sistema fotovoltaico, pode se observar por meio de técnicas de viabilidade econômica, se é satisfatório a troca do sistema tarifário do consumidor, saindo do sistema convencional para o de tarifa branca, visando sempre encontrar uma maior economia para cada consumidor.

1.3 Hipóteses

Durante a realização deste trabalho de conclusão de curso, alguns questionamentos foram levantados: “Existe algum impacto ao realizar projetos de sistemas fotovoltaicos com base no perfil de consumo ao longo do dia?”, “Conforme o perfil de consumo ao longo do dia, na presença de um sistema fotovoltaico, pode ser viável a adesão da tarifa branca?”, “O quanto viável cada sistema é em cada modalidade de tarifação?”.

Sendo assim, com esses questionamentos, são realizados projetos de vários consumidores com perfis de consumo distintos ao longo do dia. Para cada sistema projetado, uma análise de viabilidade econômica é calculada.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivos Gerais

Realizar projetos de sistemas fotovoltaicos de vários consumidores com diferentes perfis de consumo ao longo do dia, comparando a viabilidade econômica da tarifa convencional com a tarifa branca.

1.4.2 Objetivos Específicos

Para conseguir alcançar o objetivo geral, alguns objetivos específicos foram levantados para essa monografia, sendo eles:

- Realizar o estudo bibliográfico de temas referentes ao objeto de estudo, como sistemas fotovoltaicos e seus equipamentos, sistemas de tarifação, tarifa branca e viabilidade econômica.
- Levantar diferentes perfis de consumo ao longo do dia.
- Realizar projetos de sistemas fotovoltaicos considerando esses perfis de consumo.
- Fazer um estudo de viabilidade econômica de cada projeto realizado, com as ferramentas *Payback*, Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR).
- Verificar através da viabilidade econômica de cada sistema qual meio de tarifação é o mais adequado, tarifa convencional ou tarifa branca.

1.5 Estrutura do TCC

Após apresentar uma introdução do tema, objetivos gerais e específicos, hipótese e justificativa no Capítulo 1, o Capítulo 2 indicará os conceitos básicos necessários para melhor entendimento da metodologia presente no Capítulo 3. Os resultados e considerações finais são demonstrados, respectivamente, nos Capítulos 4 e 5.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo abordará os conceitos básicos para um melhor entendimento deste TCC. Assim, a energia fotovoltaica, desde seu princípio de funcionamento até os equipamentos que compõe o sistema serão tratados, bem como termos relativos à análise de viabilidade econômica e os sistemas de tarifação da energia elétrica.

2.1 Sistemas Fotovoltaicos

2.1.1 Geração de Energia Fotovoltaica

Sendo a forma mais utilizada de geração distribuída, a geração de energia fotovoltaica se destaca pela facilidade de instalação. Tais sistemas podem ser configurados de duas formas, isolados da rede elétrica, ou seja, com a energia elétrica sendo armazenada em baterias, sendo classificadas com o termo *Off-Grid*; ou a configuração *On-Grid*, que será abordada nesse trabalho, tendo seu funcionamento conectado à rede elétrica da concessionária, onde a energia não consumida pela residência é direcionada a rede elétrica, realizando assim uma compensação de créditos.

Como sua fonte de energia utilizada para produção de energia elétrica são os raios solares, os sistemas de geração fotovoltaica estão se tornando cada vez mais comuns em todo o mundo. Sendo uma fonte de energia alternativa, a geração fotovoltaica se destaca pelo fato de ser uma energia limpa e renovável. (PORTAL SOLAR, 2023).

A Figura 2 ilustra todos os equipamentos constituintes da configuração *On-Grid*.

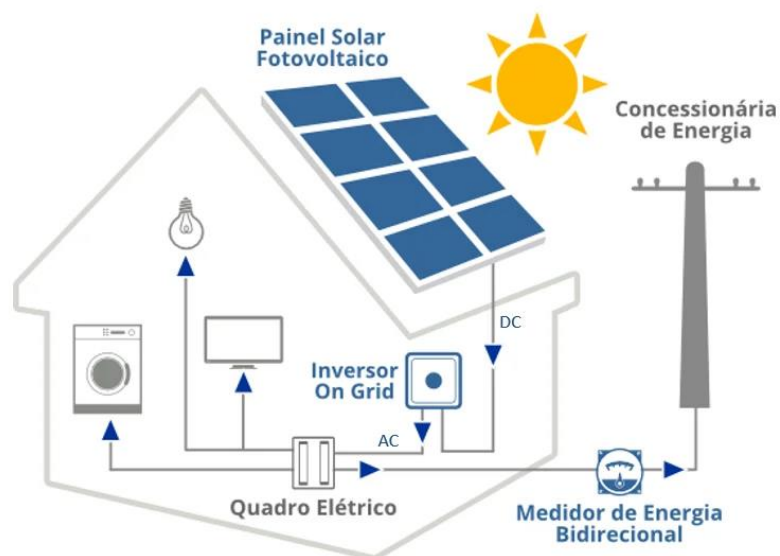


Figura 2: Sistema *On-Grid* de energia fotovoltaica.

Fonte: (MINHA CASA SOLAR, 2019).

2.1.2 Efeito Fotovoltaico

O efeito fotovoltaico ocorre devido a incidência da luz solar sobre uma célula fotovoltaica. A energia dos fótons presentes na luz causa a movimentação de elétrons no painel solar, consequentemente gerando corrente elétrica e realizando a conversão da radiação solar em energia elétrica. (NEO SOLAR, 2023).

Observado pela primeira vez pelo físico *Alexandre Edmond Becquerel*, em 1839, seu uso para geração de energia se deu somente um século após a descoberta do efeito. Composta por uma banda de valência e uma de condução, separadas por uma lacuna, conhecida como “*gap*”, o material semicondutor se diferencia do material condutor e isolante devido a sua estrutura. (PORTAL SOLAR, 2023). Tal diferença entre os materiais pode ser observada na Figura 3.

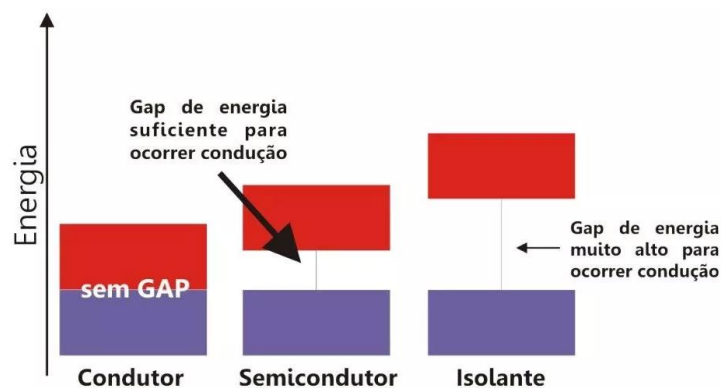


Figura 3: Diferença entre os materiais.

Fonte: (GREEN VOLT, 2019).

Com a banda de valência repleta de elétrons, ao receber os fótons da luz solar, os elétrons saltam para a banda de condução, onde inicialmente está vazia, passando pelo “*gap*”, que possui a energia de 1 elétron-volt (eV). Esse salto acontece quando o fóton possui a energia maior ou igual a energia do “*gap*”, gerando assim corrente elétrica. (PORTAL SOLAR, 2023).

O efeito fotovoltaico e fotoelétrico são fenômenos distintos. No efeito fotoelétrico, a luz solar retira elétrons de um metal, não gerando corrente elétrica.

2.1.3 Painel Fotovoltaico

Sendo um dos equipamentos mais importantes para a geração de energia elétrica fotovoltaica, o painel fotovoltaico é responsável por converter a energia solar em energia

elétrica. Sua construção é realizada de forma a garantir segurança contra grande parte das intempéries, com uma vida útil de aproximadamente 25 anos. (META SOL, 2022).

O painel fotovoltaico é composto por placas semicondutoras, uma carregada positivamente e a outra negativamente. A representação do funcionamento de um painel fotovoltaico por ser observada na Figura 4.

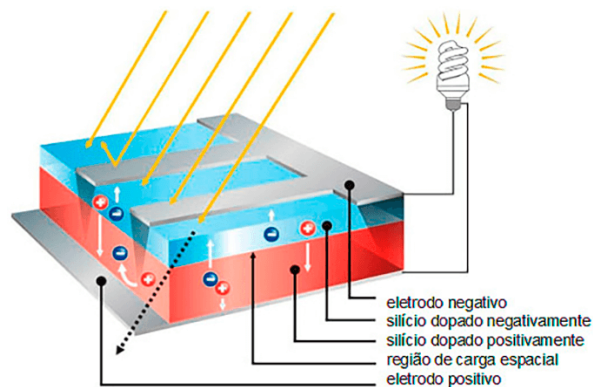


Figura 4: Funcionamento do painel fotovoltaico.

Fonte: (META SOL, 2022).

Para a proteção das células fotovoltaicas, as mesmas são envolvidas por uma película de um material encapsulante, para garantir uma boa ligação entre uma célula e outra, sendo finalizado com uma placa de vidro temperado e antirreflexivo, apoiado em uma moldura de alumínio. Para garantia de melhor conexão e desempenho, uma caixa de junção é fixada na parte oposta ao vidro (META SOL, 2022). A configuração da construção do painel fotovoltaico é mostrada na Figura 5.

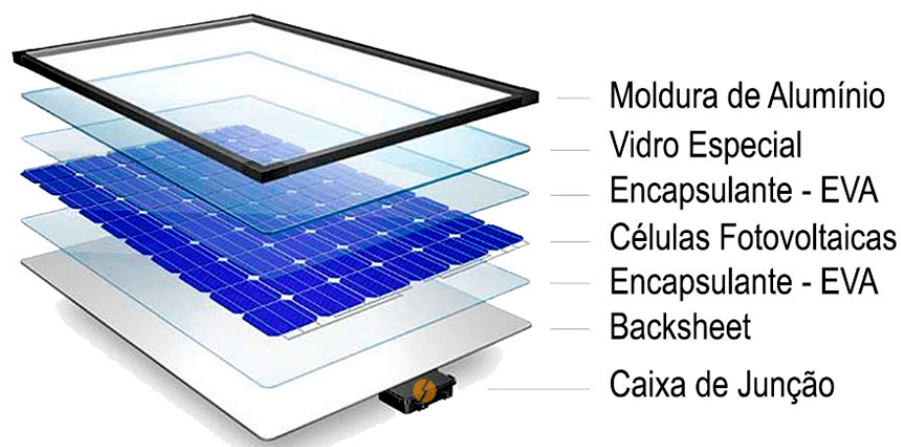


Figura 5: Construção de um painel fotovoltaico.

Fonte: (META SOL, 2022).

2.1.4 Inversor

Devido a geração em corrente contínua realizada pelos painéis, é imprescindível a utilização de um equipamento para realizar a conversão para a corrente alternada. O equipamento responsável por essa conversão é o inversor fotovoltaico, que também é responsável por adequar a energia gerada aos parâmetros exigidos pela rede elétrica da concessionária.

Para este trabalho de conclusão de curso, o inversor a ser utilizado será o inversor solar *grid-tie*. Este inversor apresenta funções complementares relacionados com a segurança da instalação, identificando problemas como quedas de tensão, flutuações na rede, ilhamento, entre outros. (BLUE SOL, 2021).

Quando existe a indisponibilidade da rede da distribuidora, para a segurança da equipe de manutenção, o inversor é desligado automaticamente. Caso a rede seja restabelecida, o inversor se conectará automaticamente. (BLUE SOL, 2021).

Por fim, sendo uma novidade no mercado, os inversores híbridos têm sua operação conectada à rede elétrica, porém, aceitam mais de um tipo de fonte de energia, como, por exemplo, painéis fotovoltaicos e baterias. Este inversor tem como sua principal vantagem a disponibilidade de mais de uma fonte de energia, como os painéis injetando energia durante o dia, por exemplo, e no período noturno, quando não se tem geração fotovoltaica, os bancos de baterias, que entram em ação para realizar a inserção de energia no sistema. Em casos da rede da concessionária ficar indisponível, mesmo com o banco de baterias conectado, o inversor deve ser desconectado do sistema para maior segurança das pessoas que realizarão a manutenção na rede elétrica.

2.1.5 Medidor Bidirecional de Energia Elétrica

Em sistemas fotovoltaicos *on-grid*, o sistema injeta energia elétrica na rede. Assim, o medidor unidirecional de energia elétrica não é adequado para este tipo de instalação, pois é capaz de realizar a medição somente da energia consumida pela residência.

Para implementação de sistema de geração distribuída, como a geração fotovoltaica, deve-se instalar um medidor bidirecional de energia elétrica, onde é possível realizar a quantificação da energia elétrica consumida e da energia elétrica injetada na rede pelo sistema fotovoltaico. O funcionamento do medidor bidirecional de energia elétrica é demonstrado na Figura 6.



Figura 6: Funcionamento do medidor bidirecional de energia elétrica.

Fonte: (SOLAR INOVE, 2021).

Em sistemas com microgeração distribuída, a concessionária é a responsável por realizar a troca do medidor unidirecional para o bidirecional, sem agregar custos ao consumidor. (SOLAR INOVE, 2021).

2.1.6 Proteção e Aterramento de Sistemas Fotovoltaicos

Descargas atmosféricas, ventos fortes e chuvas de granizo estão entre as intempéries que podem acarretar problemas nos sistemas fotovoltaicos. Em relação a parte elétrica, a proteção contra descargas atmosféricas é de grande importância e não pode ser negligenciada. No caso em que a descarga atinge diretamente os módulos fotovoltaicos ou outros aparelhos do sistema, um surto é causado de forma direta, diferentemente do surto de forma indireta, que ocorre quando a irradiação do campo eletromagnético gerado pela descarga é conduzida por alguma estrutura metálica do sistema, podendo ocorrer mesmo com a descarga atmosférica a certa distância do sistema. (SOLAR BRASIL, 2020).

Para a proteção contra eventuais surtos que podem atingir os módulos e cabos de corrente contínua (CC), é utilizado o dispositivo de proteção contra surtos (DPS) CC. Esse dispositivo é conectado entre os cabos oriundos dos módulos e o aterramento do mesmo, funcionando por meio da impedância entre dois pontos, como, por exemplo, cabo positivo e o cabo de aterramento. Com o sistema fotovoltaico em funcionamento normal, o DPS se comporta como um circuito aberto, enquanto na ocorrência de um surto, o DPS se torna um circuito fechado e redireciona a corrente do condutor em sobrecarga para o aterramento do sistema. (CANAL SOLAR, 2019). Um exemplo de DPS CC pode ser visto na Figura 7.



Figura 7: DPS CC.

Fonte: (JNG, 2025).

Outros dispositivos de proteção essencial da parte CC do sistema são os fusíveis gPV, fusíveis próprios para sistemas fotovoltaicos, com a função de proteger contra sobrecorrentes e curto-circuito. Sua construção é realizada em um suporte com encaixe para trilho DIN, onde após sua operação, sua troca pode ser feita facilmente substituindo somente o fusível. Segue na Figura 8 o fusível gPV.



Figura 8: Fusível gPV.

Fonte: (EMBRSTEC, 2025).

Para realização da manobra de interrupção da *String* no sistema, podem ser utilizados disjuntores CC ou uma Chave Seccionadora preferencialmente com câmara de extinção de arco elétrico. O disjuntor CC além da função de manobrar a inserção da *String* no sistema, serve como uma segunda proteção contra sobrecorrente e curto-circuito. As Figuras 9 e 10 ilustram, respectivamente, disjuntor CC e chave seccionadora CC.



Figura 9: Disjuntor CC.

Fonte: (LETOP, 2025).



Figura 10: Chave seccionadora CC.

Fonte: (JNG, 2025).

Para alocação dos dispositivos de proteção citados acima, existe a *String Box*. A *String box* é instalada após os módulos fotovoltaicos e antes do inversor, fazendo assim a proteção dos módulos e do inversor do sistema. (SOLAR VOLT, 2020). Um exemplo de *String box* CC pode ser visto na Figura 11.

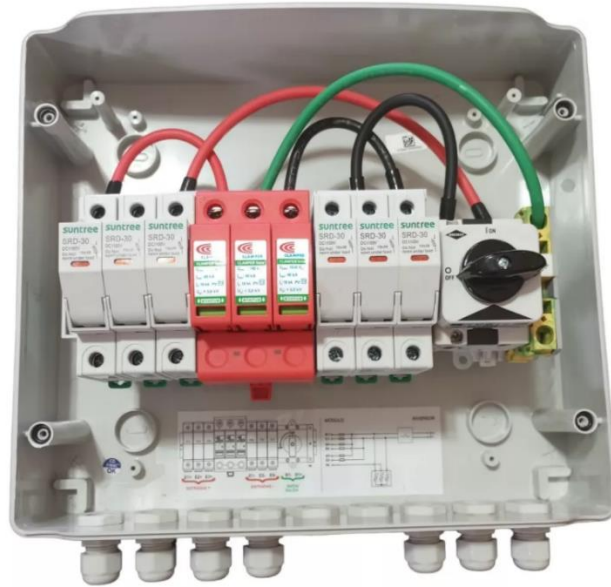


Figura 11: *String box* CC.

Fonte: (MERCADO LIVRE, 2025).

Para proteção do inversor pela entrada de corrente alternada (CA) é utilizado um quadro para alocação dos disjuntores e DPS de corrente alternada, realizando assim a proteção contra sobrecarga, curto-circuito e contra surtos de descargas atmosféricas oriundos da rede elétrica da concessionária. Segue na Figura 12 um exemplo de quadro de proteção CA.

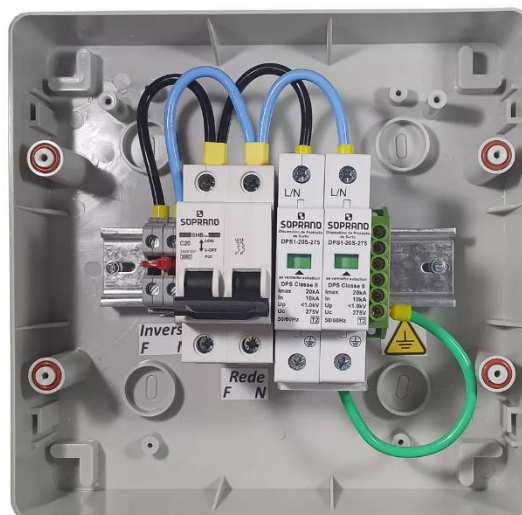


Figura 12: Quadro de proteção CA.

Fonte: (MERCADO LIVRE, 2025).

Por fim, um sistema de aterramento adequado é imprescindível a qualquer instalação elétrica, incluindo sistemas fotovoltaicos. Como ideal, um sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA), é composto por para-raios e uma malha de aterramento, onde todos os equipamentos do sistema fotovoltaico incluído as estruturas metálicas para a fixação dos módulos devem estar aterrados na malha de aterramento. (PRO AUTO ELECTRIC SOLAR, 2022).

De acordo com (DO NASCIMENTO, 2016), o aterramento do sistema fotovoltaico deve ser o mesmo da construção que o aloca e os condutores de proteção devem ser instalados em paralelo e o mais próximo possível dos cabos do sistema fotovoltaico. Na Figura 13 está representado um sistema fotovoltaico com SPDA.

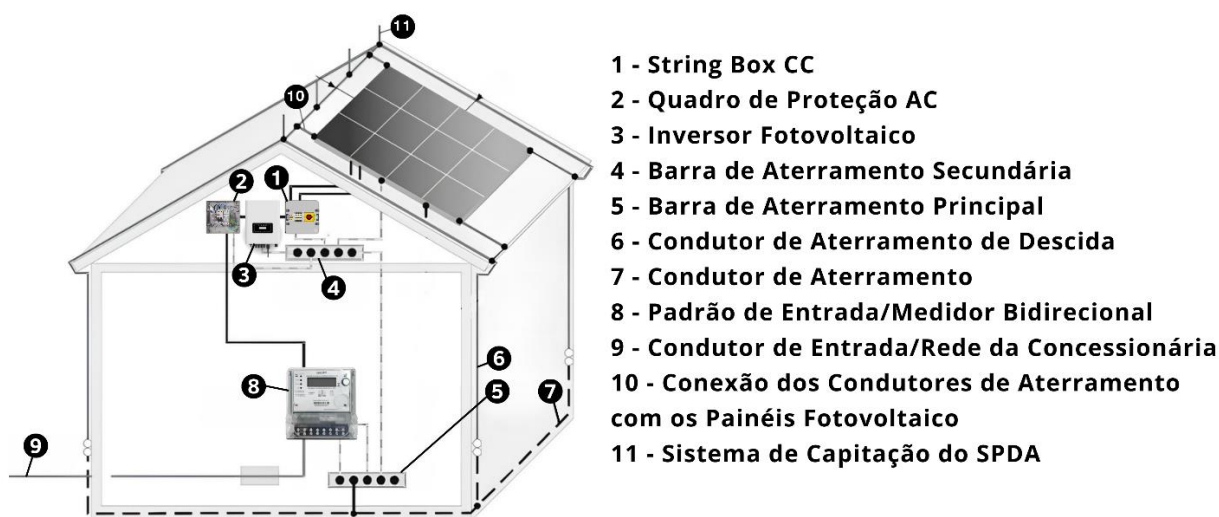


Figura 13: Sistema fotovoltaico com SPDA.

Fonte: (SCIENCE DIRECT, 2025).

2.1.7 Dimensionamento de Sistema Fotovoltaico On-Grid

Para a definição da quantidade de painéis necessários para cada consumidor, é levado em consideração a região da instalação e o consumo médio diário. Ao conhecer a região de instalação do sistema, é possível utilizar ferramentas como o ‘Atlas brasileiro de energia solar’ para encontrar a irradiação solar média na localidade.

De posse dos dados geográficos da localidade, podemos calcular a perda de energia por temperatura no módulo. É de grande importância o cálculo dessa perda, pois através do valor encontrado é possível definirmos o valor real da potência do módulo no local de instalação. Com o valor da temperatura ambiente no local da instalação e o coeficiente de temperatura do módulo, podemos calcular a perda por temperatura através da Equação (1).

$$P\% = T_{amb} * Coef\%_{P_{m\acute{a}x}} \quad (1)$$

Onde: P% é a perda percentual de temperatura, T_{amb} é a temperatura ambiente no local da instalação do sistema e $Coef\%_{P_{m\acute{a}x}}$ é o coeficiente de temperatura em relação a potência do módulo.

Com o valor da perda percentual de temperatura no módulo e a potência do módulo, podemos encontrar a potência corrigida do módulo, através da Equação (2).

$$P_M = \frac{(100\% - P\%)}{100} * P_{m\acute{a}x} \quad (2)$$

Onde: P_M é a potência corrigida do módulo, P% é a perda percentual de temperatura e $P_{m\acute{a}x}$ é a potência nominal máxima gerada pelo módulo.

Após a correção da potência do painel e de posse dos valores da energia média diária e da quantidade de horas de sol a pico, podemos calcular através da Equação (3), a potência pico do sistema fotovoltaico.

$$P_{pico} = \frac{EMD}{HSP} \quad (3)$$

Onde: P_{pico} é a potência pico do sistema fotovoltaico, EMD é a Energia média diária do consumidor e HSP é a quantidade de horas de sol a pico.

Com os valores da potência de pico do sistema fotovoltaico e da potência corrigida do módulo, é possível definir a quantidade de módulos necessária para o sistema, com a Equação (4).

$$N_M = \frac{P_{pico}}{P_M} \quad (4)$$

Onde: N_M é número de módulos para o sistema, P_{pico} é a potência pico do sistema fotovoltaico e P_M é a potência corrigida do módulo.

Para dimensionamento do inversor, deve se conhecer a tensão de circuito aberto dos painéis ligados em série, para que não ultrapasse a tensão máxima permitida na entrada do inversor. Essa tensão é chamada de $V_{oc,string}$, e pode ser encontrada através da Equação (5).

$$V_{OC,STRING} = N_M * V_{OC} * 1,1 \quad (5)$$

Onde $V_{OC,STRING}$ é a tensão de circuito aberto do conjunto de painéis, N_M é número de módulos e V_{OC} é a tensão de circuito aberto de cada painel. É considerado também um fator de 10% para possíveis perdas dos painéis.

Após a definição da quantidade de painéis em série, é necessário definir a quantidade de conjuntos de painéis conectados em paralelo. Essa quantidade de conjuntos em paralelo é importante, pois define o valor da corrente que entrará no inversor.

De posse de todas essas informações, fica possível definir o inversor correto para o sistema. Para saber a potência necessária para o inversor, utilizamos a Equação (6).

$$P_I = P_M * N_M \quad (6)$$

Onde: P_I é a potência necessária do inversor, P_M é a potência corrigida do módulo e N_M é número de módulos.

Por fim, é necessário o dimensionamento das proteções juntamente com a secções dos cabos. Para esses dimensionamentos, é essencial levar em consideração a tensão de operação do sistema, devendo ser menor que às tensões de isolamento dos cabos, de trabalho do DPS e dos disjuntores de corrente contínua.

A corrente de operação do sistema também é de extrema importância para o dimensionamento de equipamentos como fusíveis e disjuntores, que devem ser configurados para uma proteção em cadeia, por exemplo, primeiramente a proteção do inversor, em sequência os cabos, e assim por diante. (SENAI, 2019).

Para dimensionamento dos disjuntores, é considerado uma média de 20% de sobrecorrente em relação a corrente nominal do inversor, sendo encontrado o valor da corrente do disjuntor através da Equação (7).

$$I_{Disj} = I_{Inv} * 1,2 \quad (7)$$

Onde I_{Disj} é a corrente do disjuntor e I_{Inv} é a corrente nominal do inversor.

Os fusíveis são dimensionados com a função principal sobre o sistema fotovoltaico, onde o disjuntor se torna um componente de retaguarda com a função de desligar o circuito.

Com conhecimento da corrente nominal do inversor, os fusíveis são dimensionados para operar com 90% dessa corrente, conforme mostrado na Equação (8).

$$FU = I_{Inv} * 0,9 \quad (8)$$

Onde FU é a corrente do fusível e I_{Inv} é a corrente nominal do inversor.

O dimensionamento dos condutores é realizado de acordo com ABNT NBR 5410/2004, onde são dimensionados considerando o funcionamento contínuo do sistema suportando as diversas condições termodinâmicas. A seção dos condutores pode ser calculada através da Equação (9).

$$A = \frac{2 * l * I^2 * 100}{\sigma * P} \quad (9)$$

Onde A é área de seção transversal do cabo, l o comprimento do cabo, I é a corrente que irá circular dentro do condutor, σ é a condutância do material do cabo e P a potência pico que o condutor será submetido.

2.2 Sistemas de Tarifação

As modalidades tarifárias foram criadas para aplicar as tarifas em relação ao consumo de energia elétrica e a demanda de potência ativa. Para uma melhor divisão de tipos de consumidores, o sistema de tarifação no Brasil é dividido em dois grupos, A e B. (ANEEL, 2022).

O grupo A é composto por unidades consumidoras de média tensão, de alta tensão e de sistemas subterrâneos. Grande parte dos consumidores que compõe este grupo são consumidores industriais, como indústrias de médio e grande porte, onde se tem um elevado consumo de energia elétrica, não se tratando somente da potência ativa, mas também com uma grande variação de potência reativa, injetando ou consumindo valores que sobressaem no consumo de energia elétrica. Para consumidores nas categorias do grupo A, a tarifação é realizada em relação a demanda e ao consumo de energia elétrica. (ANEEL, 2022).

Para o presente trabalho de conclusão de curso, o grupo tarifário a ser abordado é o grupo B. Este grupo é composto por unidades consumidoras de baixa tensão, em sua grande maioria, consumidores residenciais, rurais e de iluminação pública. Este grupo é dividido em

duas modalidades de tarifação, sendo elas a tarifa convencional e a tarifa branca. A tarifação do grupo B é em relação ao consumo.

2.2.1 Tarifa Convencional

Estando presente na grande parte das contas de energia elétrica dos consumidores brasileiros, a tarifa convencional é o sistema de tarifação mais simples que há no país. Seu método de tarifação é único para o consumo, independente das horas de utilização do dia, ou seja, o valor do kWh é único em qualquer hora do dia. O valor total da conta de energia para um consumidor enquadrado nessa tarifa é dado pelo valor da tarifa do kWh multiplicado pelo consumo mais impostos, taxa de iluminação pública, uso do sistema de distribuição, etc.

2.2.2 Tarifa Branca

É um sistema de tarifação com base nos horários de utilização. O dia é dividido em três períodos neste sistema, sendo eles o horário de ponta, intermediário e o fora de ponta. Estes períodos são chamados de postos tarifários.

Os horários de ponta possuem a tarifa mais elevada devido a ser no horário de maior carga no sistema elétrico de potência. Este horário na distribuidora Cemig é definido das 17 às 20 h.

Para períodos de uma hora antes e após o horário de ponta, ficou definido o posto intermediário, onde se tem um valor de kWh intermediário em relação a menor e a maior tarifa. Este período ficou definido para ser uma transição entre o horário de fora de ponta para o horário de ponta. O horário intermediário da Cemig é das 16 às 17 h e das 20 às 21 h.

Por fim, para grande parte do dia, ou seja, o restante das horas que não pertencem ao período intermediário e de ponta, é definido o horário fora de ponta. O valor do kWh neste horário é o menor dentre os modelos tarifários citados.

A divisão do valor do kWh para esses três períodos do dia é válida para os dias úteis da semana. Para os fins de semana ou feriados nacionais, o preço do kWh é o valor da tarifa no horário fora de ponta durante todo o dia.

2.3 Normas

Em sistemas de geração fotovoltaica, como todo tipo de instalação elétrica, seguir normas e leis é fundamental para realização da implementação de todo sistema de forma correta e segura.

A definição da documentação antes e após a implementação, bem como os ensaios necessários de comissionamento e inspeção da segurança e operação dos sistemas, são apresentados na ABNT NBR 16274:2014. Em relação a projetos executivos de sistemas fotovoltaicos, sua documentação técnica, como por exemplo, o dimensionamento e características elétricas, são definidas pela ABNT NBR 16690:2019. (PORTAL SOLAR, 2025)

Em vigor desde 2022, a regulamentação da produção de energia elétrica no Brasil é dada através da lei 14.300/2022, conhecida como o marco legal da microgeração distribuída de energia elétrica no Brasil. O principal ponto inserido com essa lei foi a cobrança da tarifa de uso do sistema de distribuição (TUSD), conhecido como “Fio B”, essa tarifa é cobrada em cima do excedente de energia injetada na rede. (BANCO BV, 2024).

2.4 Viabilidade Econômica

Para realização dos estudos planejados neste TCC, outro tópico fundamental a ser tratado é o de viabilidade econômica. Com as técnicas de *payback*, valor presente líquido (VPL) e taxa interna de retorno (TIR), é possível mensurar o quão viável financeiramente cada caso será. Cada um dos métodos de viabilidade econômica será descrito nos subtópicos desta seção.

2.4.1 *Payback*

Ao realizar qualquer investimento, o primeiro ponto a se pensar é em quanto tempo se tem retorno do valor investido. A ferramenta de *payback* é responsável por calcular esse tempo de retorno. Com sua aplicação em sistemas fotovoltaicos, o *payback* tem grande importância devido ao fato de mostrar ao consumidor em quantos anos o sistema previsto irá retornar financeiramente.

O *payback* de um sistema fotovoltaico pode ser calculado através da Equação (10).

$$P_b = \frac{V_T}{E_G * V_{kWh}} \quad (10)$$

Onde: P_b é o *payback* do sistema, em anos, V_T é o valor total do sistema em R\$, E_G é a energia gerada pelo sistema durante o ano em kW e V_{kWh} é o valor do kWh em R\$.

2.4.2 Valor Presente Líquido (VPL)

Uma técnica mais complexa quando se trata de viabilidade econômica é o valor presente líquido. Essa ferramenta realiza o cálculo do fluxo de caixa de um projeto no futuro com base no presente momento, mostrando assim o valor a ser recebido no futuro com o investimento no presente. (VOITTO, 2020).

O valor presente líquido de um sistema fotovoltaico pode ser calculado através da Equação (11). (BIGSUN, 2020).

$$VPL = \sum_{j=1}^n \frac{F_c * j}{(1 + T_{MA})^j} - I_i \quad (11)$$

Onde: VPL é o valor presente líquido do sistema, em R\$, F_c é o fluxo de caixa em R\$, T_{MA} é a taxa mínima de atratividade, j é o período de cada fluxo de caixa em anos e I_i é o investimento inicial em R\$.

2.4.3 Taxa Interna de Retorno (TIR)

Para expressar em percentual o quão vale a pena realizar um investimento, a taxa interna de retorno é a ferramenta ideal para a ocasião. Esta ferramenta indica o valor de desconto no seu fluxo de caixa que faz com que o VPL seja igual a zero. Para definir o quão viável é o sistema, a TIR será comprada com a taxa SELIC, que possui o valor de 11,75%, no dia de 09 de janeiro de 2024.

A taxa interna de retorno de um sistema fotovoltaico pode ser calculada através da Equação (12). (SOUZA, 2020).

$$FC_0 = \sum_{n=1}^t \frac{F_c * n}{(1 + TIR)^n} \quad (12)$$

Onde: FC_0 é o valor do investimento no momento inicial, em R\$, F_c é o fluxo de caixa em R\$, TIR é a taxa interna de retorno, n é o período de tempo.

3 METODOLOGIA

A metodologia utilizada foi dividida em alguns passos:

1. Definição das curvas de carga em três grupos:
 - a. Consumidores com maior consumo durante a manhã.
 - b. Consumidores com maior consumo durante a tarde.
 - c. Consumidores com maior consumo durante a noite.
2. Projetos de sistemas fotovoltaicos para cada curva de carga.
3. Análise de viabilidade econômica para os sistemas projetados considerando a tarifa convencional.
4. Análise de viabilidade econômica para os sistemas projetados considerando a tarifa branca.
5. Comparação entre os projetos considerando a tarifa convencional com os projetos considerando a tarifa branca.

Para um melhor entendimento da metodologia aplicada, segue na Figura 14 um fluxograma.

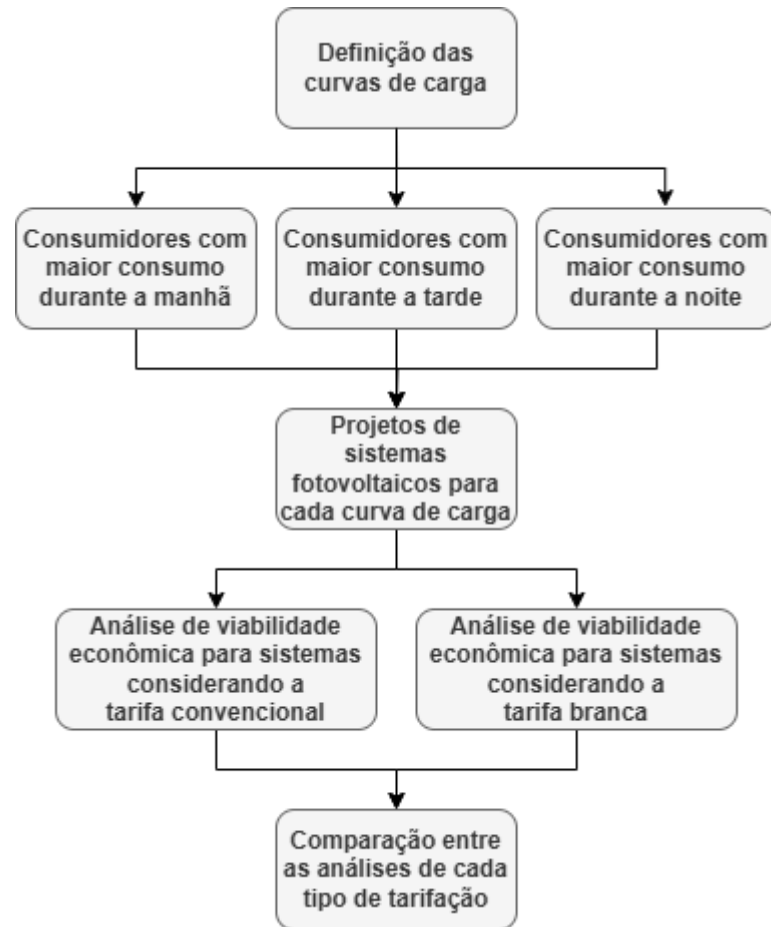


Figura 14: Fluxograma da metodologia aplicada.

Fonte: Próprio Autor, 2025.

3.1 Dados Geográficos e Tarifários

Para realização dos projetos, foram levantados os valores de tarifação e do custo de disponibilidade da concessionária que atua na localidade escolhida. Para a cidade de São José da Barra, em Minas Gerais, a concessionária atuante é a Companhia Energética de Minas Gerais (Cemig). Segue nas Tabelas 1 e 2, os valores de tarifação e o custo de disponibilidade, respectivamente.

Tabela 1: Valores de tarifas da Cemig - 26/05/2025.

Tipo de tarifa		kWh em R\$	Período
Convencional		0,79969	Dia Todo
Branca	Ponta	1,57676	17h às 20h
	Intermediário	1,03052	16h às 17h e de 20h às 21h
	Fora de Ponta	0,65499	Restante do Dia

Fonte: CEMIG, 2025.

Tabela 2: Custo de disponibilidade Cemig.

Ligação do Consumidor	Quantidade de Energia [kWh]
Bifásico a 3 condutores	50

Fonte: CEMIG, 2025.

Outros dados importantes são os dados geográficos do local de instalação. Na Tabela 3 e 4, estão representadas as coordenadas do local e a média mensal da irradiação solar, respectivamente.

Tabela 3: Coordenadas geográficas de São José da Barra, MG.

Graus Decimais		Graus, Minutos e Segundos	
Latitude (Sul)	Longitude (Oeste)	Latitude (Sul)	Longitude (Oeste)
20,701	46,349	20°43'36"	46°18'31"

Fonte: GOOGLE MAPS, 2025.

Tabela 4: Valores de irradiação solar.

Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m2.dia]
Plano Horizontal	0° N	5,06
Ângulo igual a latitude	21° N	5,32
Maior média anual	21° N	5,32
Maior mínimo mensal	19° N	5,32

Fonte: CRESESB, 2025.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base em toda a pesquisa realizada e de acordo com a metodologia aplicada, este capítulo tem a função de apresentar e discutir os resultados obtidos.

4.1 Curvas de Carga

Para análise dos projetos fotovoltaicos para diferentes tipos de consumidores, foram selecionadas curvas de carga que abrangem o maior consumo durante alguns períodos do dia. Para realização de uma análise geral e mais simplificada, foi utilizada a mesma curva de carga para todos os dias do ano.

A divisão dos consumidores por períodos do dia está representada na Tabela 5.

Tabela 5: Período de maior consumo de cada consumidor.

Consumidor	Período do Dia Maior Consumo
1	Noite
2	Tarde
3	Noite
4	Noite
5	Tarde
6	Manhã
7	Noite

Fonte: Próprio Autor, 2025.

4.1.1 Maior Consumo Período da Manhã

A Figura 15 ilustra a curva de carga do consumidor 6 ao longo do dia. É observado que o maior consumo ocorre durante o período da manhã.

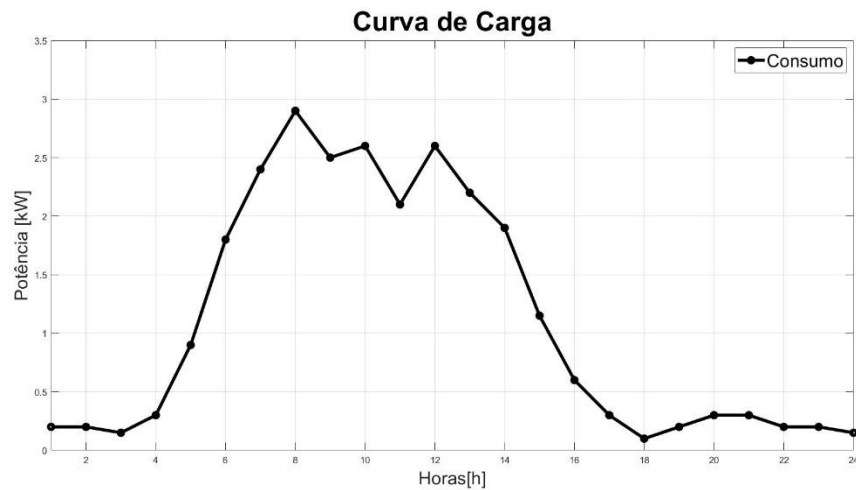


Figura 15: Curva de carga do consumidor 6.

Fonte: Próprio Autor, 2025.

4.1.2 Maior Consumo Período da Tarde

Para o período da tarde, temos como o maior consumo nesse período os consumidores 2 e 5, como podemos ver nas Figuras 16 e 17, respectivamente.

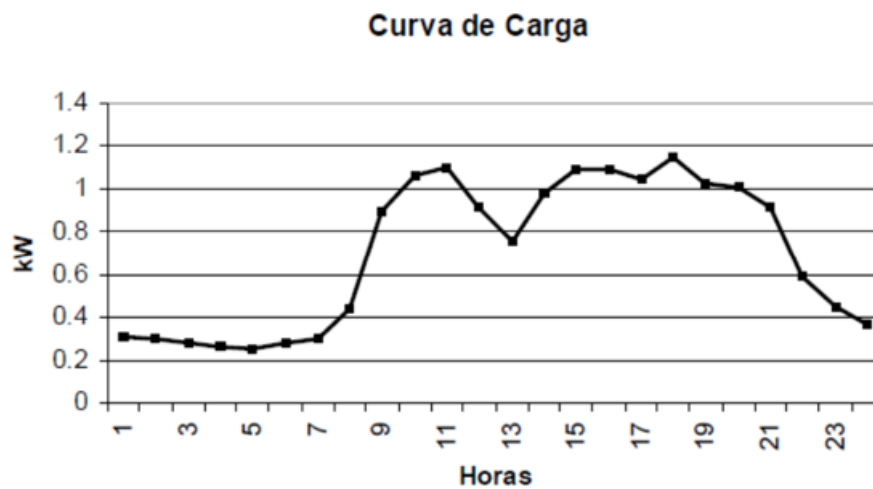


Figura 16: Curva de carga do consumidor 2.

Fonte: ENGELSDORFF, 2019.

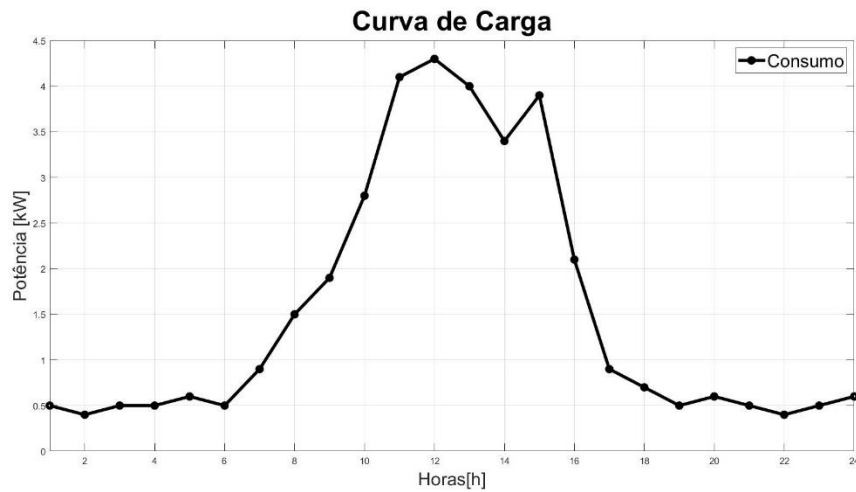


Figura 17: Curva de carga do consumidor 5.

Fonte: Próprio Autor, 2025.

4.1.3 Maior Consumo Período da Noite

No período noturno temos como maior consumo os consumidores 1, 3, 4 e 7. Nas Figuras 18 e 19 estão representados os consumidores 1 e 7, respectivamente.

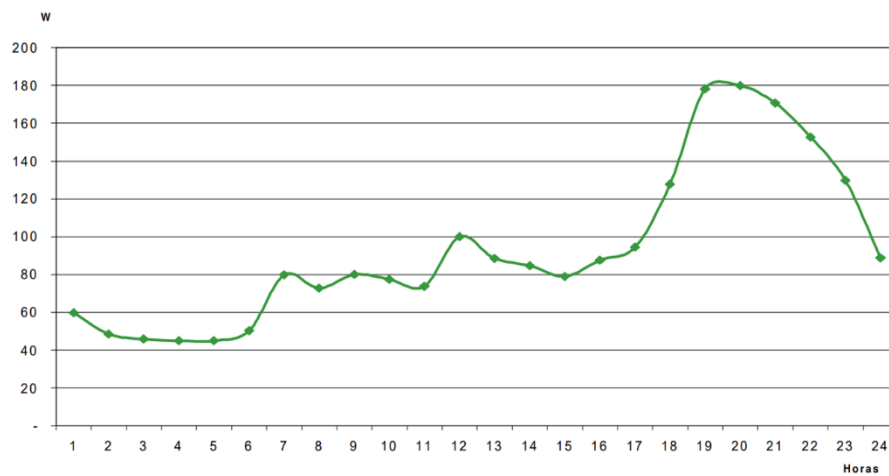


Figura 18: Curva de carga do consumidor 1.

Fonte: RAHDE, 2000.

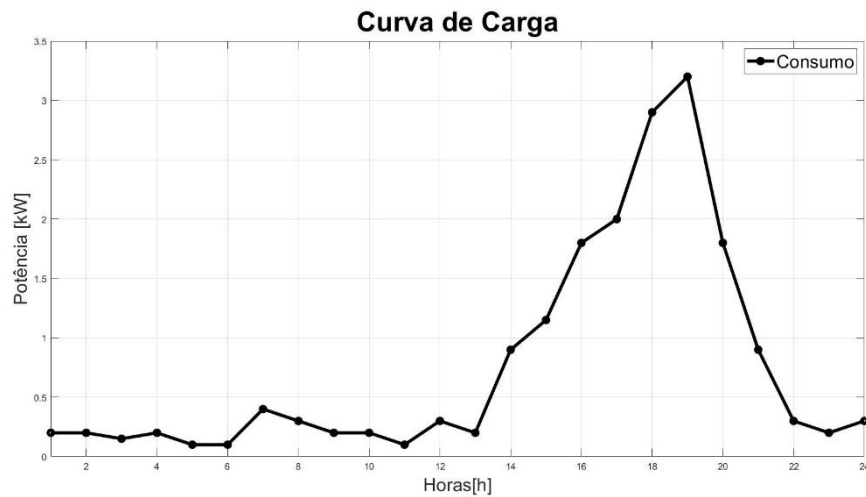


Figura 19: Curva de carga do consumidor 7.

Fonte: Próprio Autor, 2025.

Os consumidores 3 e 4 tem como o período de maior consumo também a noite, porém tem um alto consumo também no período da manhã. Nas Figuras 20 e 21 estão representadas as curvas dos consumidores 3 e 4, respectivamente.



Figura 20: Curva de carga do consumidor 3.

Fonte: CANAL SOLAR, 2023.

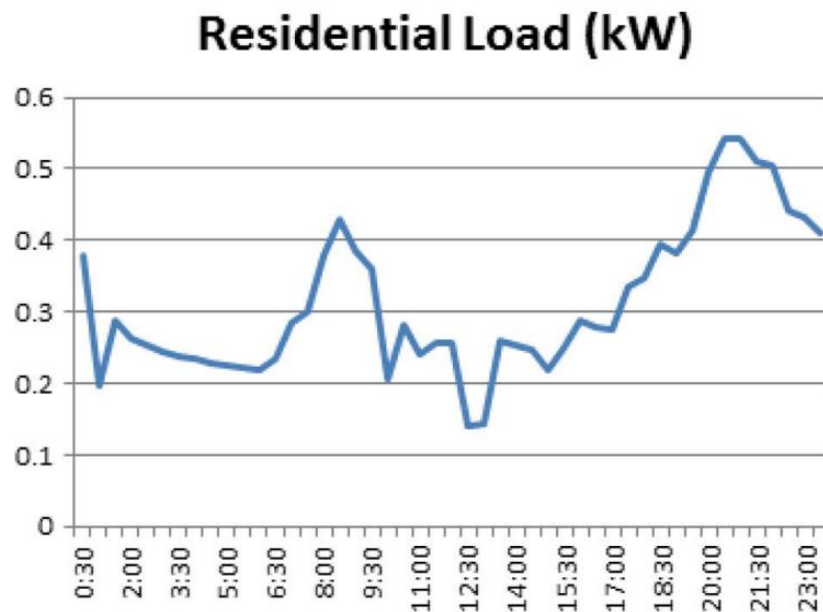


Figura 21: Curva de carga do consumidor 4.

Fonte: CHUAN, 2013.

4.2 Fatura de Energia com Base nas Curvas de Carga

A partir das curvas de carga foi calculado o valor da fatura de energia de cada consumidor considerando os dois sistemas de tarifação. Segue na Tabela 6 os valores obtidos para cada consumidor.

Tabela 6: Valor da fatura de cada consumidor em relação a ambos os sistemas de tarifação.

Consumidor	Energia [kWh]	Tarifa Convencional	Tarifa Branca
1	67,2	R\$ 53,74	R\$ 58,26
2	503,1	R\$ 402,32	R\$ 441,67
3	622,5	R\$ 497,81	R\$ 500,11
4	224,4	R\$ 179,45	R\$ 183,30
5	1098	R\$ 878,06	R\$ 807,67
6	787,5	R\$ 629,76	R\$ 542,54
7	810	R\$ 647,75	R\$ 795,09

Fonte: Próprio Autor, 2025.

Para o cálculo das faturas na modalidade de tarifa branca, foi indicado em uma tabela para cada consumidor o valor da energia consumida em cada horário do dia, permitindo assim a realizar os cálculos de forma correta. Essas tabelas podem ser encontradas no Anexo A.

4.3 Modelo e Parâmetros dos Módulos

Para a definição da quantidade de módulos para cada caso, foi realizada a escolha de um módulo considerando sua eficiência e bom custo-benefício. Levando em consideração a qualidade da marca e um bom valor de mercado para o Brasil, o módulo escolhido foi o CANADIAN CS7N-660MB-AG, da marca Canadian Solar, cujas especificações estão indicadas na Tabela 7.

Tabela 7: Especificações do módulo escolhido.

Marca		CANADIAN			
Modelo		CS7N-660MB-AG			
Dimensões		ALTURA (mm)	2384	ÁREA (m²)	3,11
		LARGURA (mm)	1303		
Potência Nominal Máx. (P _{máx}) [W]		660			
Tensão de Operação (V _{mp}) [V]		38,3			
Corrente de Operação (I _{mp}) [A]		17,24			
Tensão de Circuito Aberto (V _{oc}) [V]		45,4			
Corrente de Curto-Circuito (I _{sc}) [A]		18,47			
Eficiência [%]		21,2			
Coeficiente de Temperatura	P _{máx} [%/°C]	-0,34			
	V _{oc} [%/°C]	-0,26			
	I _{sc} [%/°C]	0,05			

Fonte: CANADIAN, 2025.

Com a escolha do módulo, foi realizado a correção da temperatura de acordo com as características do local da instalação. Através da Equação (1) foi calculado a perda percentual de potência devido a temperatura ambiente, que no local da instalação é de 29 [°C]:

$$P\% = 29 * (-0,34)$$

$$P\% = -9,86 \%$$

Após calcular a perda percentual foi possível através da Equação (2) encontrar a potencial corrigida do módulo:

$$P_M = \frac{(100 - 9,86)}{100} * 660$$

$$P_M = 594,92 \text{ W}$$

4.4 Quantidade de Módulos e Energia Gerada Pelo Sistema

Com a potência do módulo corrigida, foi realizado o cálculo da potência de pico do sistema através da Equação (3), possibilitando assim o cálculo da quantidade de módulos de cada sistema pela Equação (4). A Tabela 8 apresenta a quantidade de módulos e a energia gerada por cada sistema.

Tabela 8: Quantidade de módulos e energia gerada por cada sistema.

Consumidor	1	2	3	4	5	6	7
Energia média Diária (EMD) [kWh]	2,24	16,77	20,75	7,48	36,6	26,25	27
Potência de pico do sistema fotovoltaico (Ppico) [kWp]	0,42	3,15	3,90	1,41	6,88	4,93	5,08
Número de módulos (NM)	1	6	7	3	13	9	10
Energia gerada pelo sistema (EG) [kWh]	0,59	3,57	4,16	1,78	7,73	5,35	5,95
Energia gerada pelo sistema no dia (EGD) [kWh]	2,97	17,85	20,82	8,92	38,67	26,77	29,75
Energia gerada pelo sistema no mês (EGM) [kWh]	89,24	535,43	624,67	267,72	1160,10	803,15	892,39

Fonte: Próprio Autor, 2025.

4.5 Inversor

De posse dos valores de energia gerada e dados técnicos dos painéis de cada consumidor, foi possível calcular a tensão de circuito aberto da string a partir da Equação (5) e a potência necessária para o inversor através da Equação (6). Tais valores necessários para a escolha do inversor podem ser encontrados na Tabela 9.

Tabela 9: Dados necessários para a escolha do inversor.

Consumidor	1	2	3	4	5	6	7
Voc String (V)	49,94	299,64	349,58	149,82	649,22	449,46	499,40
Corrente de curto-circuito (A)	18,47	18,47	18,47	18,47	18,47	18,47	18,47
Potência necessária do inversor (W)	594,92	3569,54	4164,47	1784,77	7734,01	5354,32	5949,24

Fonte: Próprio Autor, 2025.

A escolha dos inversores foi realizada de acordo com a potência dos sistemas de cada consumidor, visando escolher um inversor com a potência maior que a necessária do sistema, respeitando também os valores de tensão e corrente de entrada do inversor. Para uma análise financeira coerente, os inversores escolhidos foram somente uma única marca, Growatt, variando somente os parâmetros necessários de cada sistema. Os modelos dos inversores escolhidos estão indicados na Tabela 10.

Tabela 10: Modelos de inversores escolhidos.

Consumidor	Marca	Modelo	Potência [kW]	Qtd. MPPT
1	Growatt	MIC1500TL X	1,5	1
2	Growatt	MIN5000TL X	5	2
3	Growatt	MIN5000TL X	5	2
4	Growatt	MIC2000TL X	2	2
5	Growatt	MIN8000TL X(E)	8	2
6	Growatt	MIN6000TL X	6	2
7	Growatt	MIN6000TL X	6	2

Fonte: Próprio Autor, 2025.

4.6 Orçamento

Com a definição da marca e modelo dos painéis e dos inversores, foi realizado o levantamento de valores de cada equipamento. Para considerar a mão de obra e equipamentos como conectores, cabos e demais equipamentos, foi estimado um valor de 20% em relação aos custos dos painéis e do inversor. Os valores dos equipamentos são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11: Valores dos equipamentos.

Produto	Valor
Módulo Canadian - CS7N-660MB-AG	R\$ 799,00
Inversor Growatt - MIC1500TL X	R\$ 1.106,10
Inversor Growatt - MIC2000TL X	R\$ 1.394,10
Inversor Growatt - MIN5000TL X	R\$ 4.139,10
Inversor Growatt - MIN6000TL X	R\$ 4.499,10
Inversor Growatt - MIN8000TL X(E)	R\$ 5.759,10
Mão de Obra/Demais Equipamentos	20% do valor dos módulos e do inversor

Fonte: Próprio Autor, 2025.

A partir dos valores dos equipamentos foi possível calcular o valor total da implementação dos sistemas. Os valores totais para cada consumidor estão presentes na Tabela 12.

Tabela 12: Valor de orçamento para cada consumidor.

Consumidor	Valor Módulos	Valor do Inversor	Valor Aproximado Mão de Obra	Valor Total
1	R\$ 799,00	R\$ 1.106,10	R\$ 381,02	R\$ 2.286,12
2	R\$ 4.794,00	R\$ 4.139,10	R\$ 1.786,62	R\$ 10.719,72
3	R\$ 5.593,00	R\$ 4.139,10	R\$ 1.946,42	R\$ 11.678,52
4	R\$ 2.397,00	R\$ 1.394,10	R\$ 758,22	R\$ 4.549,32
5	R\$ 10.387,00	R\$ 5.759,10	R\$ 3.229,22	R\$ 19.375,32
6	R\$ 7.191,00	R\$ 4.499,10	R\$ 2.338,02	R\$ 14.028,12
7	R\$ 7.990,00	R\$ 4.499,10	R\$ 2.497,82	R\$ 14.986,92

Fonte: Próprio Autor, 2025.

Os links dos sites onde foram cotados os equipamentos estão presentes no Anexo D.

4.7 Créditos

Através dos projetos realizados foi possível realizar a compensação de créditos, onde foi calculado qual o saldo de crédito de cada consumidor com a concessionária. Na Tabela 13 podemos ver o valor acumulado de créditos durante o ano.

Tabela 13: Créditos por ano.

Consumidor	Crédito Anual
1	R\$ 264,46
2	R\$ 387,98
3	R\$ 26,04
4	R\$ 519,79
5	R\$ 745,22
6	R\$ 187,77
7	R\$ 988,63

Fonte: Próprio Autor, 2025.

Para conhecimento do saldo de crédito durante o ano, foi calculado o saldo a cada mês, tais valores para cada consumidor podem ser encontrados nas tabelas presentes no Anexo B.

4.8 Economia

Diante dos valores de tarifa para ambos os sistemas de tarifação, foi realizado o cálculo da economia de cada consumidor após a instalação do sistema fotovoltaico.

Para o cálculo da fatura após a instalação dos sistemas, foi utilizado o valor do custo de disponibilidade, sendo a quantia de 50 kWh multiplicado pelo valor do kWh da tarifa convencional e o valor do kWh fora de ponta da tarifa branca, valores esses presentes na Tabela 1. Os valores de custo de disponibilidade estão presentes na Tabela 14.

Tabela 14: Custo de disponibilidade para cada tarifação.

Tarifa	Custo de Disponibilidade [R\$]
Convencional	R\$ 39,98
Branca	R\$ 32,75

Os valores da fatura antes e após a implementação, assim como a economia gerada para cada consumidor estão demonstrados nas Tabelas 15 e 16, para a tarifa convencional e tarifa branca respectivamente.

Tabela 15: Economia para o regime de tarifa convencional.

Consumidor	Fatura Sem Sistema Fotovoltaico	Fatura com Sistema Fotovoltaico	Economia
1	R\$ 644,87	R\$ 479,81	R\$ 165,06
2	R\$ 4.827,89	R\$ 479,81	R\$ 4.348,07
3	R\$ 5.973,68	R\$ 479,81	R\$ 5.493,87
4	R\$ 2.153,41	R\$ 479,81	R\$ 1.673,59
5	R\$ 10.536,72	R\$ 479,81	R\$ 10.056,90
6	R\$ 7.557,07	R\$ 479,81	R\$ 7.077,26
7	R\$ 7.772,99	R\$ 479,81	R\$ 7.293,17

Fonte: Próprio Autor, 2025.

Tabela 16: Economia para o regime de tarifa branca.

Consumidor	Fatura Sem Sistema Fotovoltaico	Fatura com Sistema Fotovoltaico	Economia
1	R\$ 699,08	R\$ 392,99	R\$ 306,09
2	R\$ 5.300,09	R\$ 392,99	R\$ 4.907,09
3	R\$ 6.001,35	R\$ 392,99	R\$ 5.608,36
4	R\$ 2.199,57	R\$ 392,99	R\$ 1.806,57
5	R\$ 9.692,02	R\$ 392,99	R\$ 9.299,03
6	R\$ 6.510,43	R\$ 392,99	R\$ 6.117,44
7	R\$ 9.541,07	R\$ 392,99	R\$ 9.148,08

Fonte: Próprio Autor, 2025.

No Anexo C estão representadas as tabelas com os cálculos das economias a cada mês para cada consumidor, considerando ambos os sistemas de tarifação.

4.9 Viabilidade Econômica

Com todos os cálculos realizados foi possível fazer uma análise de viabilidade econômica para cada sistema projetado, considerando ambos os sistemas de tarifação e ferramentas como Payback, Valor Presente Líquido e Taxa Interna de Retorno. As análises foram realizadas considerando o tempo de garantia dos módulos, ou seja, 25 anos.

Com a Tabela 17, podemos notar todos os valores encontrados com as ferramentas de viabilidade econômica considerando que os consumidores estão com a modalidade de tarifação convencional.

Tabela 17: Viabilidade econômica considerando a tarifa convencional.

Consumidor	Geração [kWh/Mês]	Valor do Sistema	Economia	Payback [Anos]	VPL	TIR
1	89,24	R\$ 2.286,12	R\$ 165,06	13,9	R\$ 2.639,24	-2,39%
2	535,43	R\$ 10.719,72	R\$ 4.348,07	2,5	R\$ 268.062,46	40,50%
3	624,67	R\$ 11.678,52	R\$ 5.493,87	2,1	R\$ 356.551,45	47,02%
4	267,72	R\$ 4.549,32	R\$ 1.673,59	2,7	R\$ 109.544,46	36,68%
5	1160,10	R\$ 19.375,32	R\$ 10.056,90	1,9	R\$ 671.851,39	51,89%
6	803,15	R\$ 14.028,12	R\$ 7.077,26	2,0	R\$ 469.034,11	50,43%
7	892,39	R\$ 14.986,92	R\$ 7.293,17	2,1	R\$ 478.266,01	48,64%

Fonte: Próprio Autor, 2025.

Finalizando a análise, na Tabela 18 estão presentes os valores encontrados para os consumidores considerando a modalidade de tarifação Branca.

Tabela 18: Viabilidade econômica considerando a tarifa branca.

Consumidor	Geração [kWh/Mês]	Valor do Sistema	Economia	Payback [Anos]	VPL	TIR
1	89,24	R\$ 2.286,12	R\$ 306,09	7,5	R\$ 13.468,66	10,39%
2	267,72	R\$ 4.549,32	R\$ 4.907,09	2,2	R\$ 315.709,55	45,75%
3	535,43	R\$ 10.719,72	R\$ 5.608,36	2,1	R\$ 366.309,61	48,00%
4	624,67	R\$ 11.678,52	R\$ 1.806,57	2,5	R\$ 121.670,30	39,64%
5	803,15	R\$ 14.028,12	R\$ 9.299,03	2,1	R\$ 607.254,97	47,97%
6	892,39	R\$ 14.986,92	R\$ 6.117,44	2,3	R\$ 387.225,00	43,57%
7	1160,10	R\$ 19.375,32	R\$ 9.148,08	1,6	R\$ 577.467,88	61,04%

Fonte: Próprio Autor, 2025.

A partir de todos os resultados obtidos com as análises econômicas, para um melhor entendimento dos dados encontrados foram criados gráficos de Payback, VPL e TIR por Geração, presentes nas Figuras 22, 23 e 24, respectivamente.

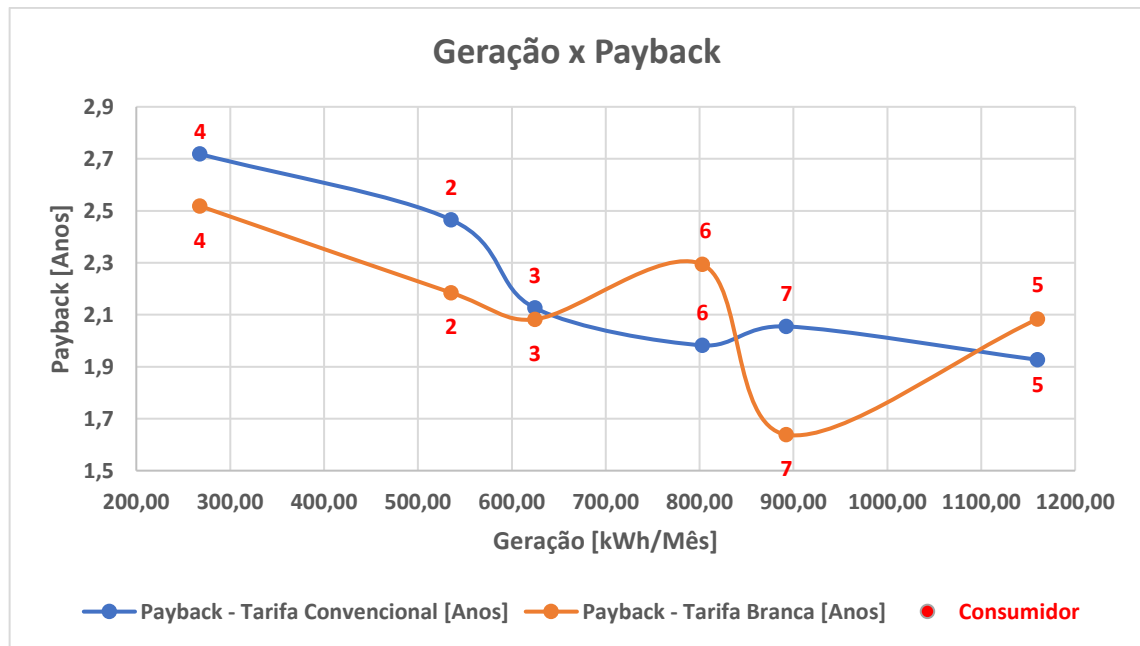


Figura 22: Gráfico de Geração versus Payback.

Fonte: Próprio Autor, 2025.

Conforme podemos notar no gráfico, os valores de *payback* para os consumidores 5 e 6 são consideravelmente maiores para os sistemas com a tarifa branca em relação a convencional, não recomendando assim a adesão a tarifa branca. Para Os consumidores 2, 3, 4 e 7, podemos notar um melhor valor para os sistemas na tarifa branca, recomentando assim a troca do método de tarifação.

Devido a discrepância do valor do payback para o consumidor 1 em relação aos demais consumidores, sua análise gráfica foi desconsiderada.

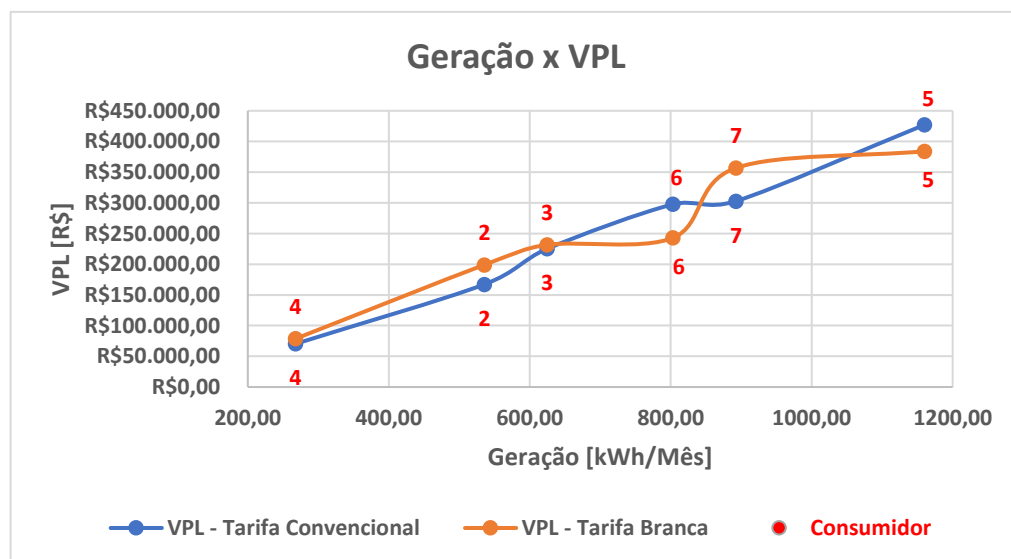


Figura 23: Gráfico de Geração versus Valor Presente Líquido.

Fonte: Próprio Autor, 2025.

Podemos notar no gráfico que os valores de VPL, como no gráfico do *payback*, os melhores valores para os sistemas na tarifa convencional se dão aos consumidores 5 e 6, enquanto para a tarifa branca, os consumidores 2, 3, 4 e 7.

Como no caso do gráfico de Geração vs Payback, com a grande discrepância dos valores de VPL do consumidor 1, sua análise gráfica foi desconsiderada.

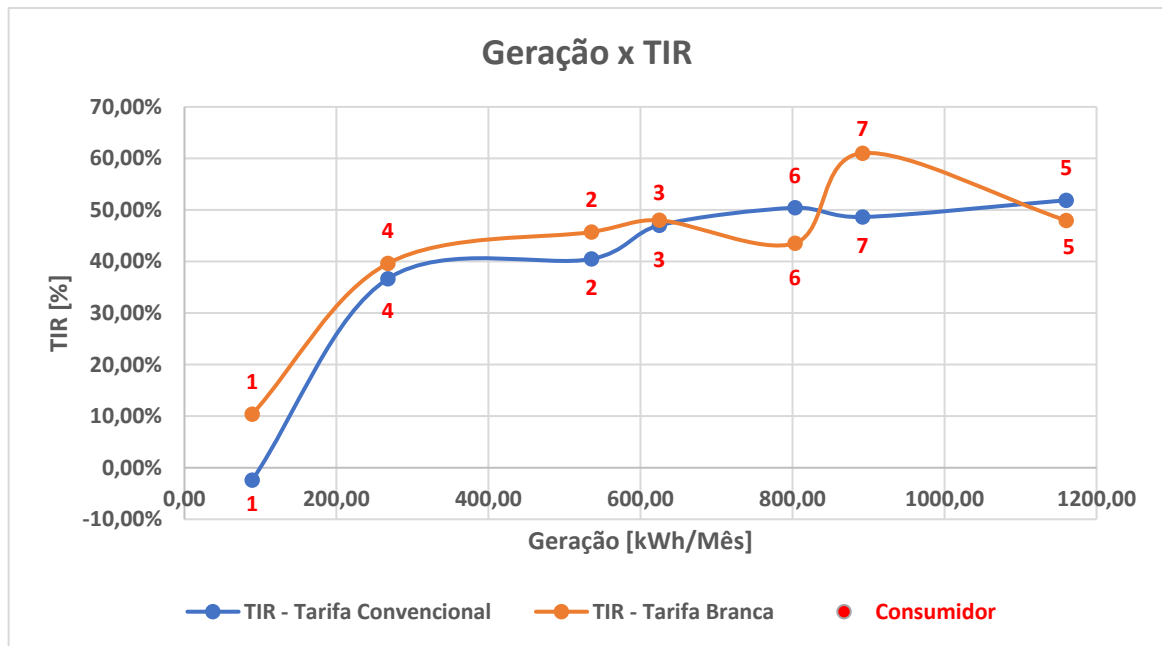


Figura 24: Gráfico de Geração versus Taxa Interna de Retorno.

Fonte: Próprio Autor, 2025.

Por fim, no gráfico da TIR, podemos notar em termos percentuais os melhores valores para tarifa convencional também nos consumidores 5 e 6, e o restante dos consumidores para a tarifa branca. Considerando a taxa Selic, com um valor de 14,75% no dia 18 de maio de 2025, a implementação do sistema somente é inviável para o consumidor 1, onde seus índices de viabilidade econômica reprovam a instalação.

Para a análise de cada consumidor considerando o período do dia, foi organizado cada caso de acordo com os períodos de maior consumo definidos como manhã, tarde e noite. Para uma visualização mais simplificada, os melhores valores de Payback, VPL e TIR foram destacados com negrito e com as cores verde, amarelo e azul, respectivamente. Tais dados podem ser encontrados na Tabela 19.

Tabela 19: Viabilidade econômica por período do dia.

Período de maior consumo	Consumidor	Payback Tarifa Convencional [Anos]	Payback Tarifa Branca [Anos]	VPL Tarifa Convencional [R\$]	VPL Tarifa Branca [R\$]	TIR Tarifa Convencional [%]	TIR Tarifa Branca [%]
Manhã	6	2,0	2,3	R\$ 469.034,11	R\$ 387.225,00	50,43%	43,57%
Tarde	2	2,5	2,2	R\$ 268.062,46	R\$ 315.709,55	40,50%	45,75%
Tarde	5	1,9	2,1	R\$ 671.851,39	R\$ 607.254,97	51,89%	47,97%
Noite	1	13,9	7,5	R\$ 2.639,24	R\$ 13.468,66	-2,39%	10,39%
Noite	3	2,13	2,08	R\$ 356.551,45	R\$ 366.309,61	47,02%	48,00%
Noite	4	2,7	2,5	R\$ 109.544,46	R\$ 121.670,30	36,68%	39,64%
Noite	7	2,1	1,6	R\$ 478.266,01	R\$ 577.467,88	48,64%	61,04%

Fonte: Próprio Autor, 2025.

A partir da Tabela 19 e dos gráficos das Figuras 22, 23 e 24, podemos ver que ao analisar considerando o período do dia, os dois únicos consumidores que se recomenda continuar na tarifa convencional, tem seu maior consumo no período da manhã e da tarde. Apenas o consumidor 2 tem seu maior consumo no período da tarde e se tem a recomendação da troca do sistema de tarifação para a tarifa branca. O restante dos consumidores, com seus maiores consumos no período noturno, tem a recomendação de trocar para a tarifa branca.

5 CONCLUSÃO

Diante de todo o trabalho realizado, foi possível concluir que através da análise de consumo realizado com o estudo da curva de carga de um consumidor, pode-se realizar o projeto fotovoltaico definindo de forma mais clara a melhor opção de sistema de tarifação. Para um projeto mais fidedigno, a escolha dos equipamentos corretos é de extrema importância, podendo acarretar uma melhor viabilidade econômica, sempre levando em consideração todos os dados técnicos.

Nos casos dos consumidores analisados, é notável que alguns projetos foram mais viáveis considerando a tarifa convencional e outros considerando a tarifa branca, porém em um dos casos, foi inviabilizado a implementação do projeto devido os índices de viabilidade econômica não serem favoráveis, como por exemplo, uma TIR abaixo da Taxa Selic.

Por fim, conclui-se que diferenciando do método tradicional de projetar sistemas fotovoltaicos, nota-se que não somente o consumo é importante na hora de realizar um projeto fotovoltaico, mas também o horário de consumo da energia pode ser relevante, tendo a finalidade de em alguns casos gerar mais economia para os consumidores com a escolha correta do regime de tarifação.

5.1 Trabalhos Futuros

Diante do trabalho realizado, pode-se indicar como trabalhos futuros a realização do levantamento de curvas de cargas dos consumidores através da medição com medidores de energia inteligentes, onde com o histórico de consumo diário, durante todo o ano, pode se implementar um sistema fotovoltaico mais fidedigno em relação a viabilidade econômica.

Outro trabalho que pode se tornar interessante seria realizar um estudo da implementação do sistema fotovoltaico considerando a análise da curva de carga do consumidor e da curva de geração encontrada com a instalação do sistema para cada época do ano.

6 REFERÊNCIAS

NEO SOLAR. **Energia Solar Fotovoltaica: Tudo Sobre**. Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/energia-solar-fotovoltaica>>. Acesso em: 24 mar. 2023.

PORTAL SOLAR. **Efeito fotoelétrico x efeito fotovoltaico: quais as diferenças**. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/efeito-fotovoltaico-x-efeito-fotoeletrico-o-que-sao-quais-diferencas>>. Acesso em: 24 mar. 2023.

GREEN VOLT. **O Efeito Fotovoltaico**. Disponível em: <<https://greenvolt.com.br/o-efeito-fotovoltaico/>>. Acesso em: 24 mar. 2023.

META SOL. **Como Funciona um Pannel Fotovoltaico**. Disponível em: <<https://metalsol.com.br/como-funciona-um-pannel-fotovoltaico/>>. Acesso em: 24 mar. 2023.

BLUE SOL. **Inversor Solar Fotovoltaico: o que É, como Funciona e Tipos**. Disponível em: <<https://blog.bluesol.com.br/inversor-fotovoltaico-o-que-e-como-funciona/>>. Acesso em: 11 abr. 2023.

MINHA CASA SOLAR. **Inversor Solar: Tudo o que você precisa saber está aqui**. Disponível em: <<http://blog.minhacasasolar.com.br/inversor-solar-tudo-o-que-voce-precisa-saber-esta-aqui/>>. Acesso em: 11 abr. 2023.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. L.; RÜTHER, R.; ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J. G. **Atlas brasileiro de energia solar**. 2.ed. São José dos Campos: INPE, 2017. 80p. Disponível em: <http://labren.ccst.inpe.br/atlas_2017.html>. Acesso em: 11 abr. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Modalidades Tarifárias**. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/tarifas/entenda-a-tarifa/modalidades-tarifarias>>. Acesso em: 03 mai. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Tarifa Branca**. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/tarifas/tarifa-branca#:~:text=A%20Tarifa%20Branca%20%C3%A9%20uma,Rural%3A%20denominada%20subgrupo%20B2%3B%20e>>. Acesso em: 03 mai. 2023.

ALDO. **Como calcular payback na energia solar**. Disponível em: <<https://www.aldo.com.br/blog/como-calcular-payback-na-energia-solar/>>. Acesso em: 08 mai. 2023.

VOITTO. **O que é VPL: aprenda a calcular o ganho real do seu investimento**. Disponível em: <<https://www.voitto.com.br/blog/artigo/o-que-e-vpl>>. Acesso em: 08 mai. 2023.

BIGSUN. **Retorno do Investimento em Energia Solar Fotovoltaica: Principais variáveis que devemos analisar**. Disponível em: <[https://www.bigsun.com.br/analise-financeira-da-energia-solar-fotovoltaica/#:~:text=3%20%E2%80%93%20VPL%20\(Valor%20presente%20l%C3%ADqui do\)&text=O%20VPL%20%C3%A9%20um%20grandeza,que%20o%20investimento%20%C3%A9%20invi%C3%A1vel](https://www.bigsun.com.br/analise-financeira-da-energia-solar-fotovoltaica/#:~:text=3%20%E2%80%93%20VPL%20(Valor%20presente%20l%C3%ADqui do)&text=O%20VPL%20%C3%A9%20um%20grandeza,que%20o%20investimento%20%C3%A9%20invi%C3%A1vel)>. Acesso em: 08 mai. 2023.

SOUZA, Gabriela Romana; DA PENHA, Roberto Silva. **Viabilidade econômica de um projeto de investimento de energia fotovoltaica**. RAGC, v. 8, n. 35, 2020.

SOLAR INOVE. **Qual a Diferença entre o Medidor Convencional e o Bidirecional**.

Disponível em: <<https://blog.solarinove.com.br/qual-a-diferenca-entre-o-medidor-convencional-e-o-bidirecional/>>. Acesso em: 18 mai. 2023.

SOLAR BRASIL. **Sistemas de proteção para instalações fotovoltaicas**. Disponível em: <<https://www.solarbrasil.com.br/blog/sistemas-de-protecao-para-instalacoes-fotovoltaicas/>>. Acesso em: 20 mai. 2023.

CANAL SOLAR. **O que é DPS e como é usado nos sistemas fotovoltaicos?**. Disponível em: <<https://canalsolar.com.br/o-que-e-dps-e-como-e-usado-nos-sistemas-fotovoltaicos/>>. Acesso em: 20 mai. 2023.

SOLAR VOLT. **String Box: O Que É e Como Funciona?**. Disponível em: <<https://www.solarvoltenergia.com.br/blog/string-box-o-que-e-e-como-funciona/>>. Acesso em: 20 mai. 2023.

DO NASCIMENTO, Douglas Aguiar et al. **Instalações de Sistemas de Geração Solar Fotovoltaica**.

PRO AUTO ELECTRIC SOLAR. **Importância da Proteção do Sistema Fotovoltaico**. Disponível em: <https://proauto-electric.com/noticias-post/protecao_sistema_fotovoltaico/>. Acesso em: 20 mai. 2023.

KHAN ACADEMY. **Evolução do uso da energia ao longo da história**. Disponível em: <<https://pt.khanacademy.org/science/7-ano/desenvolvimento-tecnologico/as-maquinas-termicas/a/evolucao-do-uso-da-energia-ao-longo-da-historia#:~:text=Ao%20longo%20dos%20s%C3%A9culos%2C%20a,a%20ca%C3%A7a%20e%20a%20pesca.>>. Acesso em: 31 mai. 2023.

RIBEIRO, Amarolina. **"O que é matriz energética?"**; **Brasil Escola**. Disponível em: <https://brasilestola.uol.com.br/o-que-e/geografia/o-que-e-matriz-energetica.htm>. Acesso em 31 de mai de 2023.

EPE. **Matriz Energética e Elétrica**. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcedenergia/matriz-energetica-e-eletrica>>. Acesso em: 31 mai. 2023.

PORTAL SOLAR. **Energia Solar no Brasil**. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/energia-solar-no-brasil.html>>. Acesso em: 6 jun. 2023.

PUCRS. **Tarifa Branca: uma realidade para os consumidores residenciais brasileiros**. Disponível em: <<https://www.pucrs.br/labelo/tarifa-branca-novidade-na-modalidade-tarifaria-no-brasil-tem-novos-criterios-de-adesao-para-2019-e-2020/#:~:text=A%20tarifa%20branca%20%C3%A9%20uma,pode%20utilizar%20a%20tarifa%20branca.>>. Acesso em: 6 jun. 2023.

ENETEC. **Entenda sobre Tarifa Branca e como ela pode te ajudar a economizar**. Disponível em: <<https://enetec.unb.br/blog/entenda-sobre-tarifa-branca-e-como-ela-pode-te-ajudar-a-economizar/?gclid=Cj0KCQjwqNqkBhDIARIsAFaxvwzqUddQDYLSUB7VaeS->>

OaodpRBQ25HyepMgBAGEzT4mEuGINygqrGsaApHzEALw_wcB>. Acesso em: 6 jun. 2023.

IBGE. **Estimativa de população.** Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/indicadores.html>>. Acesso em: 16 jun. 2023.

SENAI. **Instalação de sistema de microgeração solar fotovoltaica.** SENAI. Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial. – São Paulo: SENAI-SP Editora, 2019.

JNG. **Disp. Proteção contra Surtos CC (DPS).** Disponível em: <<https://www.jng.com.br/produtos/linha/disp-protecao-contrasurtos-cc-dps>>. Acesso em: 25 mar. 2025.

EMBRASPEC. **Fusível gPV.** Disponível em: <<https://www.embrastec.com.br/fusivel-gpv>>. Acesso em: 25 mar. 2025.

LETOP. **O que é disjuntor CC? Princípio e aplicação abrangentes.** Disponível em: <<https://letopv.com/pt/o-que-e-um-disjuntor-de-corrente-continua/>>. Acesso em: 25 mar. 2025.

JNG. **Chave Seccionadora Fotovoltaica.** Disponível em: <<https://www.jng.com.br/produtos/chave-seccionadora-fotovoltaica>>. Acesso em: 25 mar. 2025.

MERCADO LIVRE. **String Box Quadro Caixa Solar 3 Entradas 1 Saída 1040v 15a.** Disponível em: <https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-3416564941-string-box-quadro-caixa-solar-3-entradas-1-saida-1040v-15a-_JM>. Acesso em: 25 mar. 2025.

MERCADO LIVRE. **Kit Dps + Disjuntor Ac Para String Box Energia Solar On-grid.** Disponível em: <https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1753972079-kit-dps-disjuntor-ac-para-string-box-energia-solar-on-grid-_JM>. Acesso em: 25 mar. 2025.

SCIENCE DIRECT. **Lightning protections of renewable energy generation systems.** Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/lightning-protection-system>>. Acesso em: 25 mar. 2025.

FONSECA, Gabriel Henrique; ILA, Gabriel Henrique; COSTA, Igor Antônio de Souza, MOURA, Renan Souza, ALVEZ, Cristian Adolfo. **Análise de viabilidade financeira entre sistemas fotovoltaicos puros e sistemas fotovoltaicos híbridos para consumidores do tipo b conectados em sistemas de distribuição de energia elétrica.** 2022. EDITAL 36/2021 - PIBIC, PIBIC-JR, PIBITI. Instituto Federal de Minas Gerais, Campus Formiga. Formiga. 2022.

RODRIGUES, Matheus Gomes. **Consumo de energia elétrica de habitações com sistemas fotovoltaicos sob a Tarifa Branca e Convencional.** 2019. 138 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2019.

CUNHA, Thomaz de Melo. **Análise de viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos em empreendimentos habitacionais de interesse social.** 2019. Trabalho de Conclusão de Curso - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - Campus Avançado Piumhi, Piumhi. 2019.

SANTOS, Caio César Teodoro dos. **Estudo e análise de um sistema fotovoltaico aplicado a uma residência de baixa renda**. 2020. 75 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 2020.

DUARTE, Heitor Monte. **Estudo de caso de duas usinas fotovoltaicas com tipos diferentes de inversores**. 2019. 61 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 2019.

ESTEVÃO, Lauriana Goulart. **Utilização integrada de painéis fotovoltaicos e carros elétricos em residência**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Formiga, Formiga. 2022.

CEMIG. **Valores de tarifas e serviços**. Disponível em: <<https://www.cemig.com.br/atendimento/valores-de-tarifas-e-servicos/>>. Acesso em: 21 abr. 25.

CRESESB. **Potencial Solar - SunData v 3.0**. Disponível em: <<https://cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>>. Acesso em: 21 abr. 25.

ENGELSDORFF, Tiago Simon. **Métodos em machine learning para construção de curvas de carga a partir de medições**. 2019. 63 f., il. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Energia)—Universidade de Brasília, Brasília, 2019.

RAHDE, Sérgio Barbosa; KAEHLER, José Wagner. **Modelagem da curva de carga das faixas de consumo de Energia elétrica residencial a partir da aplicação de um Programa de gerenciamento de energia pelo lado da demanda**. Disponível em: <<https://abcm.org.br/anais/encit/2000/arquivos/s09/s09p18.pdf>>. Acesso em: 21 abr. 25.

CANAL SOLAR. **Lei 14.300: O que é e como calcular o fator de simultaneidade?**. Disponível em: <<https://canalsolar.com.br/lei-14-300-o-que-e-e-como-calcular-o-fator-de-simultaneidade/>>. Acesso em: 21 abr. 25.

CHUAN, Luo; UKIL, Abhisek. **Modeling and Validation of Electrical Load Profiling in Residential Buildings in Singapore**. Disponível em: <<https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1508/1508.02353.pdf>>. Acesso em: 21 abr. 25.

CANADIAN. **Canadian Solar - Datasheet - CS7N-MB-AG**. Disponível em: <https://static.csisolar.com/wp-content/uploads/sites/2/2020/10/12130516/CS-Datasheet-BiHiKu7_CS7N-MB-AG_v1.6C1_AU.pdf>. Acesso em: 21 abr. 25.

PORTAL SOLAR. **Norma técnica de instalação de energia solar: entenda mais**. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/norma-tecnica-energia-solar>>. Acesso em: 07 jul. 2025.

BANCO BV. **Lei 14.300 energia solar: confira tudo o que precisa!**. Disponível em: <<https://www.bv.com.br/bv-inspira/financiamento-para-energia-solar/lei-14300-energia-solar#:~:text=A%20Lei%202014.300%20Energia%20Solar%2C%20tamb%C3%A9m%20conhecida%20como%20Marco%20Legal,de%20energia%20solar%20no%20Brasil.>>. Acesso em: 07 jul. 2025.

7 ANEXOS

Anexo A

Tabela 20: Tarifa considerando a energia consumida por horário do consumidor 1.

Hora	Demanda [W]	Energia Diária[kWh]	Tarifa Convencional	Tarifa Branca
01:00:00	60	0,06	0,0479814	0,0392994
02:00:00	50	0,05	0,0399845	0,0327495
03:00:00	45	0,045	0,03598605	0,02947455
04:00:00	45	0,045	0,03598605	0,02947455
05:00:00	45	0,045	0,03598605	0,02947455
06:00:00	50	0,05	0,0399845	0,0327495
07:00:00	80	0,08	0,0639752	0,0523992
08:00:00	70	0,07	0,0559783	0,0458493
09:00:00	80	0,08	0,0639752	0,0523992
10:00:00	75	0,075	0,05997675	0,04912425
11:00:00	70	0,07	0,0559783	0,0458493
12:00:00	100	0,1	0,079969	0,065499
13:00:00	90	0,09	0,0719721	0,0589491
14:00:00	85	0,085	0,06797365	0,05567415
15:00:00	80	0,08	0,0639752	0,0523992
16:00:00	90	0,09	0,0719721	0,0927468
17:00:00	95	0,095	0,07597055	0,1497922
18:00:00	130	0,13	0,1039597	0,2049788
19:00:00	180	0,18	0,1439442	0,2838168
20:00:00	180	0,18	0,1439442	0,1854936
21:00:00	170	0,17	0,1359473	0,1113483
22:00:00	150	0,15	0,1199535	0,0982485
23:00:00	130	0,13	0,1039597	0,0851487
00:00:00	90	0,09	0,0719721	0,0589491
Dia	2240	2,24	1,7913056	1,94188755
Mês	67200	67,2	R\$ 53,74	R\$ 58,26

Fonte: Próprio Autor, 2025.

Tabela 21: Tarifa considerando a energia consumida por horário do consumidor 2.

Hora	Demanda [W]	Energia Diária[kWh]	Tarifa Convencional	Tarifa Branca
01:00:00	-	0,3	0,239907	0,196497
02:00:00	-	0,3	0,239907	0,196497
03:00:00	-	0,25	0,1999225	0,1637475
04:00:00	-	0,25	0,1999225	0,1637475
05:00:00	-	0,22	0,1759318	0,1440978
06:00:00	-	0,3	0,239907	0,196497
07:00:00	-	0,3	0,239907	0,196497
08:00:00	-	0,45	0,3598605	0,2947455
09:00:00	-	0,9	0,719721	0,589491
10:00:00	-	1,05	0,8396745	0,6877395
11:00:00	-	1,1	0,879659	0,720489
12:00:00	-	0,9	0,719721	0,589491
13:00:00	-	0,75	0,5997675	0,4912425
14:00:00	-	1	0,79969	0,65499
15:00:00	-	1,1	0,879659	0,720489
16:00:00	-	1,1	0,879659	1,133572
17:00:00	-	1,05	0,8396745	1,655598
18:00:00	-	1,15	0,9196435	1,813274
19:00:00	-	1	0,79969	1,57676
20:00:00	-	1	0,79969	1,03052
21:00:00	-	0,9	0,719721	0,589491
22:00:00	-	0,6	0,479814	0,392994
23:00:00	-	0,45	0,3598605	0,2947455
00:00:00	-	0,35	0,2798915	0,2292465
Dia	0	16,77	13,4108013	14,7224593
Mês	0	503,1	R\$ 402,32	R\$ 441,67

Fonte: Próprio Autor, 2025.

Tabela 22: Tarifa considerando a energia consumida por horário do consumidor 3.

Hora	Demanda [W]	Energia Diária[kWh]	Tarifa Convencional	Tarifa Branca
01:00:00	-	0,1	0,079969	0,065499
02:00:00	-	0,05	0,0399845	0,0327495
03:00:00	-	0,1	0,079969	0,065499
04:00:00	-	0,05	0,0399845	0,0327495
05:00:00	-	0,5	0,399845	0,327495
06:00:00	-	0,1	0,079969	0,065499
07:00:00	-	3	2,39907	1,96497
08:00:00	-	2	1,59938	1,30998
09:00:00	-	0,25	0,1999225	0,1637475
10:00:00	-	0,05	0,0399845	0,0327495
11:00:00	-	0,1	0,079969	0,065499
12:00:00	-	0,05	0,0399845	0,0327495
13:00:00	-	0,25	0,1999225	0,1637475
14:00:00	-	0,9	0,719721	0,589491
15:00:00	-	0,75	0,5997675	0,4912425
16:00:00	-	0,8	0,639752	0,824416
17:00:00	-	0,7	0,559783	1,103732
18:00:00	-	0,8	0,639752	1,261408
19:00:00	-	0,7	0,559783	1,103732
20:00:00	-	2	1,59938	2,06104
21:00:00	-	2,25	1,7993025	1,4737275
22:00:00	-	3,7	2,958853	2,423463
23:00:00	-	0,75	0,5997675	0,4912425
00:00:00	-	0,8	0,639752	0,523992
Dia	0	20,75	16,5935675	16,6704205
Mês	0	622,5	R\$ 497,81	R\$ 500,11

Fonte: Próprio Autor, 2025.

Tabela 23: Tarifa considerando a energia consumida por horário do consumidor 4.

Hora	Demanda [W]	Energia Diária[kWh]	Tarifa Convencional	Tarifa Branca
01:00:00	-	0,3	0,239907	0,196497
02:00:00	-	0,27	0,2159163	0,1768473
03:00:00	-	0,25	0,1999225	0,1637475
04:00:00	-	0,21	0,1679349	0,1375479
05:00:00	-	0,21	0,1679349	0,1375479
06:00:00	-	0,21	0,1679349	0,1375479
07:00:00	-	0,27	0,2159163	0,1768473
08:00:00	-	0,4	0,319876	0,261996
09:00:00	-	0,37	0,2958853	0,2423463
10:00:00	-	0,25	0,1999225	0,1637475
11:00:00	-	0,25	0,1999225	0,1637475
12:00:00	-	0,15	0,1199535	0,0982485
13:00:00	-	0,2	0,159938	0,130998
14:00:00	-	0,25	0,1999225	0,1637475
15:00:00	-	0,25	0,1999225	0,1637475
16:00:00	-	0,27	0,2159163	0,2782404
17:00:00	-	0,3	0,239907	0,473028
18:00:00	-	0,35	0,2798915	0,551866
19:00:00	-	0,37	0,2958853	0,5834012
20:00:00	-	0,45	0,3598605	0,463734
21:00:00	-	0,55	0,4398295	0,3602445
22:00:00	-	0,5	0,399845	0,327495
23:00:00	-	0,45	0,3598605	0,2947455
00:00:00	-	0,4	0,319876	0,261996
Dia	0	7,48	5,9816812	6,1099122
Mês	0	224,4	R\$ 179,45	R\$ 183,30

Fonte: Próprio Autor, 2025.

Tabela 24: Tarifa considerando a energia consumida por horário do consumidor 5.

Hora	Demanda [W]	Energia Diária[kWh]	Tarifa Convencional	Tarifa Branca
01:00:00	-	0,5	0,399845	0,327495
02:00:00	-	0,4	0,319876	0,261996
03:00:00	-	0,5	0,399845	0,327495
04:00:00	-	0,5	0,399845	0,327495
05:00:00	-	0,6	0,479814	0,392994
06:00:00	-	0,5	0,399845	0,327495
07:00:00	-	0,9	0,719721	0,589491
08:00:00	-	1,5	1,199535	0,982485
09:00:00	-	1,9	1,519411	1,244481
10:00:00	-	2,8	2,239132	1,833972
11:00:00	-	4,1	3,278729	2,685459
12:00:00	-	4,3	3,438667	2,816457
13:00:00	-	4	3,19876	2,61996
14:00:00	-	3,4	2,718946	2,226966
15:00:00	-	3,9	3,118791	2,554461
16:00:00	-	2,1	1,679349	2,164092
17:00:00	-	0,9	0,719721	1,419084
18:00:00	-	0,7	0,559783	1,103732
19:00:00	-	0,5	0,399845	0,78838
20:00:00	-	0,6	0,479814	0,618312
21:00:00	-	0,5	0,399845	0,327495
22:00:00	-	0,4	0,319876	0,261996
23:00:00	-	0,5	0,399845	0,327495
00:00:00	-	0,6	0,479814	0,392994
Dia	0	36,6	29,268654	26,922282
Mês	0	1098	R\$ 878,06	R\$ 807,67

Fonte: Próprio Autor, 2025.

Tabela 25: Tarifa considerando a energia consumida por horário do consumidor 6.

Hora	Demanda [W]	Energia Diária[kWh]	Tarifa Convencional	Tarifa Branca
01:00:00	-	0,2	0,159938	0,130998
02:00:00	-	0,2	0,159938	0,130998
03:00:00	-	0,15	0,1199535	0,0982485
04:00:00	-	0,3	0,239907	0,196497
05:00:00	-	0,9	0,719721	0,589491
06:00:00	-	1,8	1,439442	1,178982
07:00:00	-	2,4	1,919256	1,571976
08:00:00	-	2,9	2,319101	1,899471
09:00:00	-	2,5	1,999225	1,637475
10:00:00	-	2,6	2,079194	1,702974
11:00:00	-	2,1	1,679349	1,375479
12:00:00	-	2,6	2,079194	1,702974
13:00:00	-	2,2	1,759318	1,440978
14:00:00	-	1,9	1,519411	1,244481
15:00:00	-	1,15	0,9196435	0,7532385
16:00:00	-	0,6	0,479814	0,618312
17:00:00	-	0,3	0,239907	0,473028
18:00:00	-	0,1	0,079969	0,157676
19:00:00	-	0,2	0,159938	0,315352
20:00:00	-	0,3	0,239907	0,309156
21:00:00	-	0,3	0,239907	0,196497
22:00:00	-	0,2	0,159938	0,130998
23:00:00	-	0,2	0,159938	0,130998
00:00:00	-	0,15	0,1199535	0,0982485
Dia	0	26,25	20,9918625	18,0845265
Mês	0	787,5	R\$ 629,76	R\$ 542,54

Fonte: Próprio Autor, 2025.

Tabela 26: Tarifa considerando a energia consumida por horário do consumidor 7.

Hora	Demanda [W]	Energia Diária[kWh]	Tarifa Convencional	Tarifa Branca
01:00:00	-	0,9	0,719721	0,589491
02:00:00	-	0,2	0,159938	0,130998
03:00:00	-	0,15	0,1199535	0,0982485
04:00:00	-	0,2	0,159938	0,130998
05:00:00	-	0,1	0,079969	0,065499
06:00:00	-	0,1	0,079969	0,065499
07:00:00	-	0,4	0,319876	0,261996
08:00:00	-	0,3	0,239907	0,196497
09:00:00	-	0,2	0,159938	0,130998
10:00:00	-	0,2	0,159938	0,130998
11:00:00	-	0,1	0,079969	0,065499
12:00:00	-	0,3	0,239907	0,196497
13:00:00	-	0,2	0,159938	0,130998
14:00:00	-	0,9	0,719721	0,589491
15:00:00	-	1,15	0,9196435	0,7532385
16:00:00	-	1,8	1,439442	1,854936
17:00:00	-	2	1,59938	3,15352
18:00:00	-	2,9	2,319101	4,572604
19:00:00	-	3,2	2,559008	5,045632
20:00:00	-	1,8	1,439442	1,854936
21:00:00	-	2	1,59938	1,30998
22:00:00	-	2,9	2,319101	1,899471
23:00:00	-	3,2	2,559008	2,095968
00:00:00	-	1,8	1,439442	1,178982
Dia	0	27,0	21,59163	26,502975
Mês	0	810	R\$ 647,75	R\$ 795,09

Fonte: Próprio Autor, 2025.

Anexo B

Devido a utilização da mesma curva de carga para todos os dias do ano, visando simplicidade na análise, foi utilizado o mesmo valor de consumo e de geração para todos os meses do ano.

Tabela 27: Créditos na fatura do consumidor 1.

MÊS	CONSUMO kWh	GERAÇÃO kWh	CONSUMO-GERAÇÃO kWh	CRÉDITO R\$
mar/24	67,2	89,24	22,04	R\$ 22,04
abr/24	67,2	89,24	22,04	R\$ 44,08
mai/24	67,2	89,24	22,04	R\$ 66,12
jun/24	67,2	89,24	22,04	R\$ 88,15
jul/24	67,2	89,24	22,04	R\$ 110,19
ago/24	67,2	89,24	22,04	R\$ 132,23
set/24	67,2	89,24	22,04	R\$ 154,27
out/24	67,2	89,24	22,04	R\$ 176,31
nov/24	67,2	89,24	22,04	R\$ 198,35
dez/24	67,2	89,24	22,04	R\$ 220,39
jan/25	67,2	89,24	22,04	R\$ 242,42
fev/25	67,2	89,24	22,04	R\$ 264,46
TOTAL	806,4	1070,86		R\$ 264,46

Fonte: Próprio Autor, 2025.

Tabela 28: Créditos na fatura do consumidor 2.

MÊS	CONSUMO kWh	GERAÇÃO kWh	CONSUMO-GERAÇÃO kWh	CRÉDITO R\$
mar/24	503,1	535,43	32,33	R\$ 32,33
abr/24	503,1	535,43	32,33	R\$ 64,66
mai/24	503,1	535,43	32,33	R\$ 96,99
jun/24	503,1	535,43	32,33	R\$ 129,33
jul/24	503,1	535,43	32,33	R\$ 161,66
ago/24	503,1	535,43	32,33	R\$ 193,99
set/24	503,1	535,43	32,33	R\$ 226,32
out/24	503,1	535,43	32,33	R\$ 258,65
nov/24	503,1	535,43	32,33	R\$ 290,98
dez/24	503,1	535,43	32,33	R\$ 323,32
jan/25	503,1	535,43	32,33	R\$ 355,65
fev/25	503,1	535,43	32,33	R\$ 387,98
TOTAL	6037,2	6425,18		R\$ 387,98

Fonte: Próprio Autor, 2025.

Tabela 29: Créditos na fatura do consumidor 3.

MÊS	CONSUMO kWh	GERAÇÃO kWh	CONSUMO-GERAÇÃO kWh	CRÉDITO R\$
mar/24	622,5	624,67	2,17	R\$ 2,17
abr/24	622,5	624,67	2,17	R\$ 4,34
mai/24	622,5	624,67	2,17	R\$ 6,51
jun/24	622,5	624,67	2,17	R\$ 8,68
jul/24	622,5	624,67	2,17	R\$ 10,85
ago/24	622,5	624,67	2,17	R\$ 13,02
set/24	622,5	624,67	2,17	R\$ 15,19
out/24	622,5	624,67	2,17	R\$ 17,36
nov/24	622,5	624,67	2,17	R\$ 19,53
dez/24	622,5	624,67	2,17	R\$ 21,70
jan/25	622,5	624,67	2,17	R\$ 23,87
fev/25	622,5	624,67	2,17	R\$ 26,04
TOTAL	7470	7496,04		R\$ 26,04

Fonte: Próprio Autor, 2025.

Tabela 30: Créditos na fatura do consumidor 4.

MÊS	CONSUMO kWh	GERAÇÃO kWh	CONSUMO-GERAÇÃO kWh	CRÉDITO R\$
mar/24	224,4	267,72	43,32	R\$ 43,32
abr/24	224,4	267,72	43,32	R\$ 86,63
mai/24	224,4	267,72	43,32	R\$ 129,95
jun/24	224,4	267,72	43,32	R\$ 173,26
jul/24	224,4	267,72	43,32	R\$ 216,58
ago/24	224,4	267,72	43,32	R\$ 259,89
set/24	224,4	267,72	43,32	R\$ 303,21
out/24	224,4	267,72	43,32	R\$ 346,53
nov/24	224,4	267,72	43,32	R\$ 389,84
dez/24	224,4	267,72	43,32	R\$ 433,16
jan/25	224,4	267,72	43,32	R\$ 476,47
fev/25	224,4	267,72	43,32	R\$ 519,79
TOTAL	2692,8	3212,59		R\$ 519,79

Fonte: Próprio Autor, 2025.

Tabela 31: Créditos na fatura do consumidor 5.

MÊS	CONSUMO kWh	GERAÇÃO kWh	CONSUMO-GERAÇÃO kWh	CRÉDITO R\$
mar/24	1098	1160,10	62,10	R\$ 62,10
abr/24	1098	1160,10	62,10	R\$ 124,20
mai/24	1098	1160,10	62,10	R\$ 186,31
jun/24	1098	1160,10	62,10	R\$ 248,41
jul/24	1098	1160,10	62,10	R\$ 310,51
ago/24	1098	1160,10	62,10	R\$ 372,61
set/24	1098	1160,10	62,10	R\$ 434,71
out/24	1098	1160,10	62,10	R\$ 496,81
nov/24	1098	1160,10	62,10	R\$ 558,92
dez/24	1098	1160,10	62,10	R\$ 621,02
jan/25	1098	1160,10	62,10	R\$ 683,12
fev/25	1098	1160,10	62,10	R\$ 745,22
TOTAL	13176	13921,22		R\$ 745,22

Fonte: Próprio Autor, 2025.

Tabela 32: Créditos na fatura do consumidor 6.

MÊS	CONSUMO kWh	GERAÇÃO kWh	CONSUMO-GERAÇÃO kWh	CRÉDITO R\$
mar/24	787,5	803,15	15,65	R\$ 15,65
abr/24	787,5	803,15	15,65	R\$ 31,29
mai/24	787,5	803,15	15,65	R\$ 46,94
jun/24	787,5	803,15	15,65	R\$ 62,59
jul/24	787,5	803,15	15,65	R\$ 78,24
ago/24	787,5	803,15	15,65	R\$ 93,88
set/24	787,5	803,15	15,65	R\$ 109,53
out/24	787,5	803,15	15,65	R\$ 125,18
nov/24	787,5	803,15	15,65	R\$ 140,83
dez/24	787,5	803,15	15,65	R\$ 156,47
jan/25	787,5	803,15	15,65	R\$ 172,12
fev/25	787,5	803,15	15,65	R\$ 187,77
TOTAL	9450	9637,77		R\$ 187,77

Fonte: Próprio Autor, 2025.

Tabela 33: Créditos na fatura do consumidor 7.

MÊS	CONSUMO kWh	GERAÇÃO kWh	CONSUMO-GERAÇÃO kWh	CRÉDITO R\$
mar/24	810	892,39	82,39	R\$ 82,39
abr/24	810	892,39	82,39	R\$ 164,77
mai/24	810	892,39	82,39	R\$ 247,16
jun/24	810	892,39	82,39	R\$ 329,54
jul/24	810	892,39	82,39	R\$ 411,93
ago/24	810	892,39	82,39	R\$ 494,32
set/24	810	892,39	82,39	R\$ 576,70
out/24	810	892,39	82,39	R\$ 659,09
nov/24	810	892,39	82,39	R\$ 741,47
dez/24	810	892,39	82,39	R\$ 823,86
jan/25	810	892,39	82,39	R\$ 906,25
fev/25	810	892,39	82,39	R\$ 988,63
TOTAL	9720	10708,63		R\$ 988,63

Fonte: Próprio Autor, 2025.

Anexo C

Devido a utilização da mesma curva de carga para todos os dias do ano, visando simplicidade na análise, foi encontrado os mesmos valores de fatura para todos os meses do ano.

Tabela 34: Economia do consumidor 1 para cada sistema de tarifação.

MÊS	Fatura Convencional Sem Sistema	Fatura Branca Sem Sistema	Fatura Convencional Com Sistema	Fatura Branca Com Sistema
mar/24	R\$ 53,74	R\$ 58,26	R\$ 39,98	R\$ 32,75
abr/24	R\$ 53,74	R\$ 58,26	R\$ 39,98	R\$ 32,75
mai/24	R\$ 53,74	R\$ 58,26	R\$ 39,98	R\$ 32,75
jun/24	R\$ 53,74	R\$ 58,26	R\$ 39,98	R\$ 32,75
jul/24	R\$ 53,74	R\$ 58,26	R\$ 39,98	R\$ 32,75
ago/24	R\$ 53,74	R\$ 58,26	R\$ 39,98	R\$ 32,75
set/24	R\$ 53,74	R\$ 58,26	R\$ 39,98	R\$ 32,75
out/24	R\$ 53,74	R\$ 58,26	R\$ 39,98	R\$ 32,75
nov/24	R\$ 53,74	R\$ 58,26	R\$ 39,98	R\$ 32,75
dez/24	R\$ 53,74	R\$ 58,26	R\$ 39,98	R\$ 32,75
jan/25	R\$ 53,74	R\$ 58,26	R\$ 39,98	R\$ 32,75
fev/25	R\$ 53,74	R\$ 58,26	R\$ 39,98	R\$ 32,75
TOTAL	R\$ 644,87	R\$ 699,08	R\$ 479,81	R\$ 392,99
ECONOMIA	R\$ 165,06	R\$ 306,09		

Fonte: Próprio Autor, 2025.

Tabela 35: Economia do consumidor 2 para cada sistema de tarifação.

MÊS	Fatura Convencional Antes do Sistema	Fatura Branca Antes do Sistema	Fatura Convencional Com Sistema	Fatura Branca Com Sistema
mar/24	R\$ 402,32	R\$ 441,67	R\$ 39,98	R\$ 32,75
abr/24	R\$ 402,32	R\$ 441,67	R\$ 39,98	R\$ 32,75
mai/24	R\$ 402,32	R\$ 441,67	R\$ 39,98	R\$ 32,75
jun/24	R\$ 402,32	R\$ 441,67	R\$ 39,98	R\$ 32,75
jul/24	R\$ 402,32	R\$ 441,67	R\$ 39,98	R\$ 32,75
ago/24	R\$ 402,32	R\$ 441,67	R\$ 39,98	R\$ 32,75
set/24	R\$ 402,32	R\$ 441,67	R\$ 39,98	R\$ 32,75
out/24	R\$ 402,32	R\$ 441,67	R\$ 39,98	R\$ 32,75
nov/24	R\$ 402,32	R\$ 441,67	R\$ 39,98	R\$ 32,75
dez/24	R\$ 402,32	R\$ 441,67	R\$ 39,98	R\$ 32,75
jan/25	R\$ 402,32	R\$ 441,67	R\$ 39,98	R\$ 32,75
fev/25	R\$ 402,32	R\$ 441,67	R\$ 39,98	R\$ 32,75
TOTAL	R\$ 4.827,89	R\$ 5.300,09	R\$ 479,81	R\$ 392,99
ECONOMIA	R\$ 4.348,07	R\$ 4.907,09		

Fonte: Próprio Autor, 2025.

Tabela 36: Economia do consumidor 3 para cada sistema de tarifação.

MÊS	Fatura Convencional Antes do Sistema	Fatura Branca Antes do Sistema	Fatura Convencional Com Sistema	Fatura Branca Com Sistema
mar/24	R\$ 497,81	R\$ 500,11	R\$ 39,98	R\$ 32,75
abr/24	R\$ 497,81	R\$ 500,11	R\$ 39,98	R\$ 32,75
mai/24	R\$ 497,81	R\$ 500,11	R\$ 39,98	R\$ 32,75
jun/24	R\$ 497,81	R\$ 500,11	R\$ 39,98	R\$ 32,75
jul/24	R\$ 497,81	R\$ 500,11	R\$ 39,98	R\$ 32,75
ago/24	R\$ 497,81	R\$ 500,11	R\$ 39,98	R\$ 32,75
set/24	R\$ 497,81	R\$ 500,11	R\$ 39,98	R\$ 32,75
out/24	R\$ 497,81	R\$ 500,11	R\$ 39,98	R\$ 32,75
nov/24	R\$ 497,81	R\$ 500,11	R\$ 39,98	R\$ 32,75
dez/24	R\$ 497,81	R\$ 500,11	R\$ 39,98	R\$ 32,75
jan/25	R\$ 497,81	R\$ 500,11	R\$ 39,98	R\$ 32,75
fev/25	R\$ 497,81	R\$ 500,11	R\$ 39,98	R\$ 32,75
TOTAL	R\$ 5.973,68	R\$ 6.001,35	R\$ 479,81	R\$ 392,99
ECONOMIA	R\$ 5.493,87	R\$ 5.608,36		

Fonte: Próprio Autor, 2025.

Tabela 37: Economia do consumidor 4 para cada sistema de tarifação.

MÊS	Fatura Convencional Antes do Sistema	Fatura Branca Antes do Sistema	Fatura Convencional Com Sistema	Fatura Branca Com Sistema
mar/24	R\$ 179,45	R\$ 183,30	R\$ 39,98	R\$ 32,75
abr/24	R\$ 179,45	R\$ 183,30	R\$ 39,98	R\$ 32,75
mai/24	R\$ 179,45	R\$ 183,30	R\$ 39,98	R\$ 32,75
jun/24	R\$ 179,45	R\$ 183,30	R\$ 39,98	R\$ 32,75
jul/24	R\$ 179,45	R\$ 183,30	R\$ 39,98	R\$ 32,75
ago/24	R\$ 179,45	R\$ 183,30	R\$ 39,98	R\$ 32,75
set/24	R\$ 179,45	R\$ 183,30	R\$ 39,98	R\$ 32,75
out/24	R\$ 179,45	R\$ 183,30	R\$ 39,98	R\$ 32,75
nov/24	R\$ 179,45	R\$ 183,30	R\$ 39,98	R\$ 32,75
dez/24	R\$ 179,45	R\$ 183,30	R\$ 39,98	R\$ 32,75
jan/25	R\$ 179,45	R\$ 183,30	R\$ 39,98	R\$ 32,75
fev/25	R\$ 179,45	R\$ 183,30	R\$ 39,98	R\$ 32,75
TOTAL	R\$ 2.153,41	R\$ 2.199,57	R\$ 479,81	R\$ 392,99
ECONOMIA	R\$ 1.673,59	R\$ 1.806,57		

Fonte: Próprio Autor, 2025.

Tabela 38: Economia do consumidor 5 para cada sistema de tarifação.

MÊS	Fatura Convencional Antes do Sistema	Fatura Branca Antes do Sistema	Fatura Convencional Com Sistema	Fatura Branca Com Sistema
mar/24	R\$ 878,06	R\$ 807,67	R\$ 39,98	R\$ 32,75
abr/24	R\$ 878,06	R\$ 807,67	R\$ 39,98	R\$ 32,75
mai/24	R\$ 878,06	R\$ 807,67	R\$ 39,98	R\$ 32,75
jun/24	R\$ 878,06	R\$ 807,67	R\$ 39,98	R\$ 32,75
jul/24	R\$ 878,06	R\$ 807,67	R\$ 39,98	R\$ 32,75
ago/24	R\$ 878,06	R\$ 807,67	R\$ 39,98	R\$ 32,75
set/24	R\$ 878,06	R\$ 807,67	R\$ 39,98	R\$ 32,75
out/24	R\$ 878,06	R\$ 807,67	R\$ 39,98	R\$ 32,75
nov/24	R\$ 878,06	R\$ 807,67	R\$ 39,98	R\$ 32,75
dez/24	R\$ 878,06	R\$ 807,67	R\$ 39,98	R\$ 32,75
jan/25	R\$ 878,06	R\$ 807,67	R\$ 39,98	R\$ 32,75
fev/25	R\$ 878,06	R\$ 807,67	R\$ 39,98	R\$ 32,75
TOTAL	R\$ 10.536,72	R\$ 9.692,02	R\$ 479,81	R\$ 392,99
ECONOMIA	R\$ 10.056,90	R\$ 9.299,03		

Fonte: Próprio Autor, 2025.

Tabela 39: Economia do consumidor 6 para cada sistema de tarifação.

MÊS	Fatura Convencional Antes do Sistema	Fatura Branca Antes do Sistema	Fatura Convencional Com Sistema	Fatura Branca Com Sistema
mar/24	R\$ 629,76	R\$ 542,54	R\$ 39,98	R\$ 32,75
abr/24	R\$ 629,76	R\$ 542,54	R\$ 39,98	R\$ 32,75
mai/24	R\$ 629,76	R\$ 542,54	R\$ 39,98	R\$ 32,75
jun/24	R\$ 629,76	R\$ 542,54	R\$ 39,98	R\$ 32,75
jul/24	R\$ 629,76	R\$ 542,54	R\$ 39,98	R\$ 32,75
ago/24	R\$ 629,76	R\$ 542,54	R\$ 39,98	R\$ 32,75
set/24	R\$ 629,76	R\$ 542,54	R\$ 39,98	R\$ 32,75
out/24	R\$ 629,76	R\$ 542,54	R\$ 39,98	R\$ 32,75
nov/24	R\$ 629,76	R\$ 542,54	R\$ 39,98	R\$ 32,75
dez/24	R\$ 629,76	R\$ 542,54	R\$ 39,98	R\$ 32,75
jan/25	R\$ 629,76	R\$ 542,54	R\$ 39,98	R\$ 32,75
fev/25	R\$ 629,76	R\$ 542,54	R\$ 39,98	R\$ 32,75
TOTAL	R\$ 7.557,07	R\$ 6.510,43	R\$ 479,81	R\$ 392,99
ECONOMIA	R\$ 7.077,26	R\$ 6.117,44		

Fonte: Próprio Autor, 2025.

Tabela 40: Economia do consumidor 7 para cada sistema de tarifação.

MÊS	Fatura Convencional Antes do Sistema	Fatura Branca Antes do Sistema	Fatura Convencional Com Sistema	Fatura Branca Com Sistema
mar/24	R\$ 647,75	R\$ 795,09	R\$ 39,98	R\$ 32,75
abr/24	R\$ 647,75	R\$ 795,09	R\$ 39,98	R\$ 32,75
mai/24	R\$ 647,75	R\$ 795,09	R\$ 39,98	R\$ 32,75
jun/24	R\$ 647,75	R\$ 795,09	R\$ 39,98	R\$ 32,75
jul/24	R\$ 647,75	R\$ 795,09	R\$ 39,98	R\$ 32,75
ago/24	R\$ 647,75	R\$ 795,09	R\$ 39,98	R\$ 32,75
set/24	R\$ 647,75	R\$ 795,09	R\$ 39,98	R\$ 32,75
out/24	R\$ 647,75	R\$ 795,09	R\$ 39,98	R\$ 32,75
nov/24	R\$ 647,75	R\$ 795,09	R\$ 39,98	R\$ 32,75
dez/24	R\$ 647,75	R\$ 795,09	R\$ 39,98	R\$ 32,75
jan/25	R\$ 647,75	R\$ 795,09	R\$ 39,98	R\$ 32,75
fev/25	R\$ 647,75	R\$ 795,09	R\$ 39,98	R\$ 32,75
TOTAL	R\$ 7.772,99	R\$ 9.541,07	R\$ 479,81	R\$ 392,99
ECONOMIA	R\$ 7.293,17	R\$ 9.148,08		

Fonte: Próprio Autor, 2025.

Anexo D

Tabela 41: Links das lojas com as cotações dos equipamentos

Consumidor	Equipamento	Link
Todos	Módulo	https://www.energiatotal.com.br/painel-solar/painel-solar-660w-canadian-bifacial-mono?parceiro=6982&srsltid=AfmBOooU51UPyfwQwzw0mAh5SgR__trczhhcKsPjsp2m2FJPFH-wf5GXiOQ
1	Inversor	https://www.minhacasasolar.com.br/produto/inversor-solar-monofasico-1-5kw-220v-1-mppt-growatt-mic1500tl-x-81995
2	Inversor	https://www.minhacasasolar.com.br/produto/inversor-solar-monofasico-5kw-220v-2-mppt-growatt-min5000tl-x-81999
3	Inversor	https://www.minhacasasolar.com.br/produto/inversor-solar-monofasico-5kw-220v-2-mppt-growatt-min5000tl-x-81999
4	Inversor	https://www.minhacasasolar.com.br/produto/inversor-solar-monofasico-2kw-220v-1-mppt-growatt-mic2000tl-x-81996
5	Inversor	https://www.minhacasasolar.com.br/produto/inversor-solar-monofasico-8kw-220v-2-mppt-growatt-min8000tl-x-e-82001
6	Inversor	https://www.minhacasasolar.com.br/produto/inversor-solar-monofasico-6kw-220v-2-mppt-growatt-min6000tl-x-82000
7	Inversor	https://www.minhacasasolar.com.br/produto/inversor-solar-monofasico-6kw-220v-2-mppt-growatt-min6000tl-x-82000

Fonte: Próprio Autor, 2025.