



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

INSTALAÇÃO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO EM UNIDADE RESIDENCIAL
UNIFAMILIAR – ESTUDO DE CASO

LEANDRO CARVALHO DOS SANTOS

Varginha – MG

2022

LEANDRO CARVALHO DOS SANTOS

INSTALAÇÃO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO EM UNIDADE RESIDENCIAL
UNIFAMILIAR – ESTUDO DE CASO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas
Gerais como requisito parcial para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Valéria Antônia Justino Rodrigues

Varginha – MG

2022

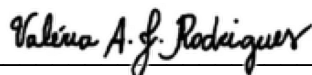
LEANDRO CARVALHO DOS SANTOS

INSTALAÇÃO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO EM UNIDADE RESIDENCIAL
UNIFAMILIAR – ESTUDO DE CASO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas
Gerais como requisito parcial para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Civil.

Data de aprovação: 20/12/2022

Banca examinadora:



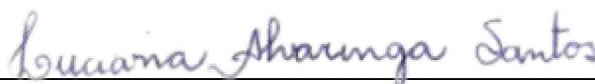
Valéria Antônia Justino Rodrigues, Dra.

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG) – Unidade
Varginha



Armando Belato Pereira, Dr.

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG) – Unidade
Varginha



Luciana Alvarenga Santos, Dra.

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG) – Unidade
Varginha

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus.

Agradeço a todos os professores do CEFET-MG que participaram e sempre contribuíram em meu processo de aprendizado.

Agradeço à instituição CEFET-MG por oferecer um curso de graduação em Engenharia Civil com excelente qualidade.

Agradeço a todos os meus colegas de turma, que estiveram sempre juntos nesta jornada apoiando uns aos outros nos momentos mais difíceis.

Agradeço aos meus pais por cuidarem de mim sempre com muito carinho e demonstrarem ao máximo a importância dos estudos em nossas vidas, ressaltando que nunca devemos desistir.

Agradeço, por fim, a todos aqueles que não foram citados, mas que, de certo modo, deixaram algum bom ensinamento em minha vida.

RESUMO

O Brasil apresenta um grande potencial para a utilização de energia solar fotovoltaica, visto que o seu território possui uma alta incidência solar durante os doze meses do ano. Inicialmente, a tecnologia fotovoltaica era utilizada para fornecer energia a satélites. Entretanto, com a crise mundial do petróleo ocorrida durante a década de 70, passou-se a buscar formas mais sustentáveis de energia para atender a necessidade da população. Uma importante característica da energia solar é ser uma fonte renovável, na qual o seu recurso natural (Sol) provavelmente se esgotará somente daqui a alguns bilhões de anos. As energias renováveis são consideradas limpas por não serem poluentes e causarem poucos impactos ambientais. Na fabricação dos painéis solares ocorre a emissão de carbono, mas o fato é compensado ao longo dos anos, devido à durabilidade das células que funcionam até 25 anos, gerando uma energia limpa após a etapa de fabricação e instalação dos painéis fotovoltaicos. O objetivo deste trabalho é apresentar um estudo de caso do detalhamento da implantação do sistema fotovoltaico on-grid com microinversores em uma residencial familiar. A pesquisa será realizada a partir da revisão bibliográfica a partir de uma busca qualitativa e informativa, visando identificar e compreender os passos e os materiais utilizados na instalação de um sistema fotovoltaico que permita a geração de energia elétrica em uma unidade residencial no Brasil. Ademais, será feito consultas aos órgãos responsáveis pela regulamentação no Governo Federal, Estado de Minas Gerais e na cidade de Três Corações. Entre as legislações existentes, destacam-se a Resolução Normativa N° 482 elaborada pela ANEEL para implantação do sistema de geração distribuída de energia elétrica através de células solares no país, e a Lei 14300/2022, também conhecida como Marco Legal da Microgeração e Minigeração Distribuída (MMGD). Na construção civil, os empreendimentos encontram na energia solar fotovoltaica uma forma para aplicação da sustentabilidade das construções. Tais sistemas são interessantes por permitir a possibilidade de geração no ponto de utilização, não sendo preciso realizar grandes investimentos em sistemas de transmissão. Por fim, será realizada uma análise de payback com a utilização de softwares para o tempo de retorno do projeto, considerando sua vida útil de 25 anos. Segundo estimativas, a implantação do sistema é vantajosa e permite um retorno financeiro em cerca de 5 anos, restando 20 anos de grande rentabilidade, considerando que o sistema fotovoltaico exige pouca manutenção.

Palavras-chave: energia solar fotovoltaica; geração distribuída, microinversor; painel solar.

ABSTRACT

Brazil has great potential for the use of photovoltaic solar energy, since its territory has a high solar incidence during the twelve months of the year. Initially, photovoltaic technology was used to power satellites. However, with the world oil crisis that occurred during the 1970s, more sustainable forms of energy were sought to meet the needs of the population. An important characteristic of solar energy is that it is a renewable source, in which its natural resource (Sun) will probably run out only in a few billion years. Renewable energies are considered clean because they are non-polluting and cause little environmental impact. In the manufacture of solar panels, carbon emissions occur, but this fact is compensated over the years, due to the durability of the cells that work for up to 25 years, generating clean energy after the manufacturing and installation stage of the photovoltaic panels. The objective of this work is to present a case study detailing the implementation of an on-grid photovoltaic system with microinverters in a family residence. The research will be carried out from the bibliographic review from a qualitative and informative search, aiming to identify and understand the steps and materials used in the installation of a photovoltaic system that allows the generation of electric energy in a residential unit in Brazil. In addition, consultations will be carried out with the bodies responsible for regulation in the Federal Government, in the State of Minas Gerais and in the city of Três Corações. Among the existing laws, we highlight Normative Resolution No. 482 prepared by ANEEL for the implementation of the distributed generation system of electricity through solar cells in the country, and Law 14300/2022, also known as Marco Legal da Microgeração e Minigeração Distribuída (MMGD). In civil construction, projects find in photovoltaic solar energy a way to apply the sustainability of constructions. Such systems are interesting because they allow the possibility of generation at the point of use, not requiring large investments in transmission systems. Finally, a payback analysis will be carried out using software for the payback time of the project, considering its useful life of 25 years. According to estimates, the implementation of the system is advantageous and allows a financial return in about 5 years, leaving 20 years of great profitability, considering that the photovoltaic system requires little maintenance.

Keywords: photovoltaic solar energy; distributed generation, microinverter; solar panel.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Recursos Naturais Primários.	17
Figura 2 - Participação de Renováveis na Oferta Interna de Energia (OIE).	18
Figura 3 - Sistemas de aplicação de turbinas eólicas.	19
Figura 4 - Central Hidrelétrica em Desvio.	20
Figura 5 - Sistemas de utilização da energia solar.	21
Figura 6 - Composição da matriz elétrica brasileira.	22
Figura 7 - Capacidade de energia instalada: biênio 2020/2021.	23
Figura 8 - MMGD: Biênio 2020/2021.	23
Figura 9 - Evolução da MMGD.	24
Figura 10 - Adicional de capacidade instalada de MMGD.	24
Figura 11 - Emissões antrópicas de CO ₂	25
Figura 12 - Influência da irradiação nos módulos fotovoltaicos.	28
Figura 13 - Influência da temperatura nos módulos fotovoltaicos.	28
Figura 14 - Características elétricas dos módulos fotovoltaicos.	29
Figura 15 - Precipitação acumulada anual (mm) no território brasileiro.	33
Figura 16 - Irradiação solar média no plano inclinado na latitude para o Brasil.	35
Figura 17 - Mapa de identificação LABREN.	36
Figura 18 - Regras de Transição da Lei 14300/2022.	40
Figura 19 - Componentes de um módulo fotovoltaico.	46
Figura 20 - Diferenças entre microinversores e inversores strings.	48
Figura 21 - Histórico de Consumo Mensal.	51
Figura 22 - Módulo Fotovoltaico Monocristalino.	53
Figura 23 - Previsão de consumo mensal (kWh).	57
Figura 24 - Módulos Fotovoltaicos CanadianSolar - CS6K-305MS.	58
Figura 25 - Microinversor APsystems YC500A.	60
Figura 26 - Vista aérea do telhado da residência.	61
Figura 27 - Ganchos de fixação dos suportes para módulos fotovoltaicos.	61
Figura 28 - Furos nas vigas de madeira.	62
Figura 29 - Fixação dos ganchos nas vigas de madeira.	63
Figura 30 - Disposição dos módulos fotovoltaicos instalados no telhado da residência.	64
Figura 31 - Microinversor fixado na estrutura de madeira.	65
Figura 32 - Diagrama Unifilar do sistema fotovoltaico.	66
Figura 33 - Quadro de Distribuição da residência.	67
Figura 34 - Tela de monitoramento dos microinversores.	68
Figura 35 - Gráfico Senoidal: produção de energia solar fotovoltaica.	69
Figura 36 - Monitoramento em tempo real dos módulos fotovoltaicos.	70
Figura 37 - Estatísticas de produção do sistema fotovoltaico.	71
Figura 38 - Dados da Rede Bifásica da residência.	72
Figura 39 - Faixas do fator de dimensionamento.	73
Figura 40 - Coordenadas geográficas da residência.	74
Figura 41 - Irradiação global horizontal em Três Corações.	74
Figura 42 - Estimativa de consumo médio mensal.	75
Figura 43 - Modelagem 3D da residência.	76
Figura 44 - Tarifas aplicadas: consumidor residencial B1.	77
Figura 45 - Incidências de tributos na conta de energia elétrica.	77
Figura 46 - Dados da área de montagem do projeto fotovoltaico.	78
Figura 47 - Fluxo de energia fotovoltaica.	79
Figura 48 - Previsão de rendimento com consumo em kWh.	80
Figura 49 - Estimativa de produção no prazo de projeto.	81
Figura 50 - Irradiação global x energia produzida.	82
Figura 51 - Relatório de análise financeira.	83
Figura 52 - Fluxo de caixa acumulado.	84
Figura 53 - Evolução dos custos de energia.	85

Figura 54 - Valor Faturado com utilização da energia solar fotovoltaica.....	86
Figura 55 – Dados Estatísticos do Sistema Fotovoltaico.....	87
Figura 56 - Economia real com a instalação do Sistema Fotovoltaico.....	88
Figura 57 – Economia estimada para consumo médio de 220 kWh/mês.	89
Figura 58 - Economia estimada para consumo igual ao valor de produção.	90
Figura 59 - Alterações do Custo de Disponibilidade na fatura da CEMIG.	91
Figura 60 – Percentuais de Redução da TUSD.	93
Figura 61 - Estimativa de Faturamento Anual - Lei 14.300/2022.....	94
Figura 62 – Paralelo entre a Lei 14.300/2022, regras atuais e consumidores sem sistema fotovoltaico.	95

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados de Irradiação Solar para o município de Três Corações - MG.....	37
Tabela 2 - Pagamento da TUSD no fio B.	39
Tabela 3 - TUSD Fio B, 40% da TUSD fio A, TFSEE e P&D.....	40
Tabela 4 – Potência Instalada: Lei 14.300/2022 versus REN 482/2012.....	41
Tabela 5 – Demanda Contratada: Lei 14.300/2022 versus REN 482/2012.	41
Tabela 6 – Custo de Disponibilidade: Lei 14.300/2022 versus REN 482/2012.....	42
Tabela 7 - Custo de Disponibilidade: Lei 14.300/2022 versus REN 482/2012.....	43
Tabela 8 - Convênio ICMS 68/2022: Isenção do ICMS (%).....	44
Tabela 9 – Custeio de Iluminação Pública por faixa de consumo.....	45
Tabela 10 – Simulação de Payback versus TIR.....	85

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Especificações técnicas do módulo CS6K-305MS	59
Quadro 2 - Especificações técnicas do microinversor YC500A.....	60

LISTA DE SIGLAS

AIE - Agência Internacional de Energia.
ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica.
A-Si - Amorphous Silicon (Silício Amorfo).
CdTe - Cadmium Telluride (Telureto de Cádmio).
CIGS - Copper Indium Gallium Selenide (Disseleneto de Cobre, Gálio e Índio).
CIS - Copper Indium Selenide (Disseleneto de Cobre e Índio).
CA - Corrente alternada.
CC - Corrente contínua.
C-Si - Crystalline Silicon (Silício Cristalino).
DNI - Irradiância direta normal.
DTM - Disjuntores termomagnéticos.
ECU - Energy Communication Unit (Unidade de Comunicação de Energia).
EMA - Energy Monitoring & Analysis (Monitoramento e Análise de Energia).
EPE – Empresa de Pesquisa Energética.
G - Irradiância global horizontal.
G0 - Irradiância extraterrestre.
Gdif - Irradiância difusa horizontal.
Gdir - Irradiância direta horizontal.
Gi - Irradiância no plano inclinado.
Gn - Irradiância direta normal.
GOES - Geostationary Operational Environmental Satellite (Satélite de Ambiente Operacional Geoestacionário).
ICMS - Imposto sobre Operações relativas à Circulação de Mercadorias e sobre Prestações de Serviços.
I_{MP} - Corrente de máxima potência.
INMET - Instituto Nacional de Meteorologia.
IPCA - Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo.
LABREN – Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia.
MC-Si - Polycrystalline Silicon (Silício Multicristalino).
MMGD - Micro e Minigeração Distribuída.
MPPT - Maximum Power Point Tracking (Rastreador de Ponto de Potência Máxima).
OIE - Oferta Interna de Energia.
P_{MP} - Ponto de máxima potência.
SC-Si - Single-Crystalline Silicon (Silício Monocristalino).
TIR – Tarifa Interna de Retorno.
UFM - Unidades Fiscais Municipais.
V_{MP} - Voltagem de máxima potência.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
1.1. Contextualização.....	14
1.2. Objetivo Geral	15
1.3. Objetivos Específicos	15
1.4. Justificativa	16
2. REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1. Fontes Renováveis	17
2.2. Energia Solar Fotovoltaica	25
2.3. Células fotovoltaicas	26
2.4. Radiação Solar e Eficiência dos Projetos	29
2.5. Radiação Solar no Brasil.....	32
2.6. Radiação solar em Três Corações	35
2.7. Legislações Vigentes	37
2.7.1. Resolução Normativa nº 482	37
2.7.2. Lei 14300/2022.....	39
2.7.3. Demais Legislações.....	43
2.8. Dimensionamento do Sistema – Equipamentos Necessários.....	46
2.8.1. Módulos Fotovoltaicos	46
2.8.2. Microinversores	47
2.8.3. Cabo de Terminação AC para Microinversores YC500.....	48
2.8.4. Terminal de proteção para cabos dos microinversores YC500	49
2.8.5. Suporte painel solar telha cerâmica.....	49
2.8.6. Interface de monitoramento Wi-fi para microinversores YC500 - APsystems (ECU) 49	
3. METODOLOGIA.....	51
3.1. Consumo Energético Mensal	51
3.2. Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico.....	52
3.3. Análises de Rendimento do Sistema Fotovoltaico.....	54
4. Resultados e Discussões.....	56
4.1. Dimensionamento do Projeto	56
4.2. Características da Instalação	60
4.3. Sistema de Monitoramento.....	67
4.4. Análise de Tempo de Retorno do Investimento (PayBack).....	71
4.4.1. Parâmetros de Configuração do Software PV*SOL	71
4.4.2. Informações dos Relatórios	78
4.4.3. Relatórios de Análise Financeira	82
4.4.4. Análise Real	85
4.5. Alterações da Lei 14300/2022 nos Projetos de Sistemas Fotovoltaicos	91

5. CONCLUSÃO	96
5.1. Sugestão para trabalhos futuros	97
REFERÊNCIAS	98
ANEXO A – PLANTA DE COBERTURA DA RESIDÊNCIA.....	103
ANEXO B – CONTA DE ENERGIA DA RESIDÊNCIA	104
ANEXO C – FLUXO DE CAIXA DO TEMPO DE PROJETO	105

1. INTRODUÇÃO

1.1. Contextualização

Durante a década de 70, o mundo passou pela crise do petróleo, responsável pelo surgimento de importantes pesquisas pela busca de fontes alternativas renováveis para o abastecimento energético da população. De certo modo, os avanços foram beneficiados também pela preocupação com a preservação do meio ambiente, ou seja, na busca de alternativas que reduzissem os desastres ambientais crescentes ao longo do século XX (GALDINO; LIMA, 2002).

Desde o ano de 1950, os Estados Unidos da América (EUA) haviam iniciado pesquisas que procuravam fornecer energia para satélites, sendo que, em 1954, os cientistas Daryl Chapin, Calvin Fuller e Gerald Pearson conseguiram produzir pela primeira vez uma célula solar de silício, no laboratório Bell, permitindo alimentar um aparelho elétrico por várias horas (ZANESCO, 2012).

No Brasil, o início dos estudos da conversão da energia solar em energia elétrica começou também durante a década de 50. O Instituto Nacional de Tecnologia e o Centro Tecnológico de Aeronáutica conseguiram desenvolver os primeiros módulos fotovoltaicos em 1955, mas foi um período bastante marcado por momentos com elevada produtividade científica, associada à disponibilidade de recursos financeiros e outros períodos foram de baixa produtividade por falta de investimentos (DHERE *et al.*, 2005).

É importante ressaltar que muitos autores acreditam que a decisão de adotar geração própria de energia solar seja fundamental para garantir eficiência de produção e a redução de custos em médio e longo prazo. Porém, o custo para a produção dos painéis fotovoltaicos e equipamentos necessários ainda é um fator considerável. Por outro lado, os custos de manutenção do sistema são baixos e sua durabilidade é elevada (ZANESCO, 2012).

Os painéis fotovoltaicos transformam a energia solar em energia elétrica, e por este motivo, temos uma das formas de energias renováveis mais promissoras. A produção ocorre por um sistema de produção (semicondutores) que apresentam partes móveis e não liberam calor residual, de modo que não há influência no efeito estufa por não queimar combustíveis. Outro ponto positivo é que a instalação dos painéis é bastante prática e, havendo necessidade de elevar a potência instalada, basta colocar novos painéis (VILLALVA *et al.*, 2012).

Com a evolução constante de novas pesquisas na área, os custos dos painéis têm diminuído consideravelmente ao longo dos anos, com a expansão notável de muitas usinas construídas em diversos países, pois a utilização de energia elétrica gerada a partir de fontes limpas, em pequenas e grandes escalas, é considerada uma boa opção por inúmeros países desenvolvidos, entre eles Alemanha, Japão, Estados Unidos da América, Espanha etc. No Brasil, a inserção deste tipo de tecnologia de produção de energia limpa ainda é carente, mas tem crescido consideravelmente nos últimos anos (FIGUEIRAS, 2013).

Por ser uma fonte de energia renovável e pelo fato de não gerar poluição, a energia solar fotovoltaica apresenta inúmeras vantagens, fazendo com que a sua aplicação em projetos tenha crescido bastante no Brasil. Os painéis possuem vida útil em torno 25 anos, havendo necessidade de poucas manutenções no sistema. Ademais, a luz solar é gratuita para todos os habitantes do planeta, sendo um recurso abundante e renovável (PINHO *et al.*, 2008).

1.2. Objetivo Geral

Avaliar a instalação, o funcionamento e a viabilidade de um sistema fotovoltaico projetado para uma residência unifamiliar localizada em Três Corações/MG.

1.3. Objetivos Específicos

- Relatar a fase de instalação do sistema fotovoltaico na residência em estudo;
- Apresentar as justificativas de escolha dos painéis e dos microinversores com base no dimensionamento do sistema fotovoltaico;
- Fazer o diagrama unifilar do sistema elétrico adaptado para a implantação de energia solar;
- Levantar os custos da implantação do sistema fotovoltaico com base nas informações de instalação do projeto;
- Determinar o período de retorno para o custo com a implantação e manutenção periódica do projeto;
- Apresentar as principais alterações e impactos ocasionados no setor de energia solar fotovoltaica com a publicação da Lei 14.300/2022 no Brasil.

1.4. Justificativa

Nos últimos anos, foi observada a crescente demanda de recursos ambientais para produção de energia elétrica. Este fato está relacionado com o aumento populacional e o uso de tecnologias que demandam energia elétrica para o seu funcionamento. Diante disto, torna-se importante a utilização de recursos naturais com menor dano no meio ambiente, ou seja, que minimize as interferências ambientais negativas causados por outros sistemas, como, por exemplo, a inundação de área devido à instalação de Usinas Hidroelétricas ou pela emissão de CO₂ quando utilizamos Usinas Termelétricas.

Do ponto de vista ambiental, temos que a energia solar, por ser gerada sem emitir gases responsáveis pelo efeito estufa, pode ser classificada como uma energia limpa e renovável, sendo uma alternativa viável de utilização como fonte de energia elétrica. Outro fato positivo é que a instalação da energia solar permite uma grande redução de custos com a tarifa de energia cobrada pela fornecedora de energia elétrica convencional, sendo que a instalação de usinas de microgeração distribuída de energia solar conectadas à rede permitem uma redução de até 90% dos valores cobrados na conta de energia. É importante relatar que esta redução de consumo foi baseada no modelo fotovoltaico atual e que com a modificação da lei que trata da tarifação do uso a partir de 2023 este percentual diminuirá, porém, ela ainda será vantajosa no aspecto econômico e ambiental em relação energia elétrica convencional.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

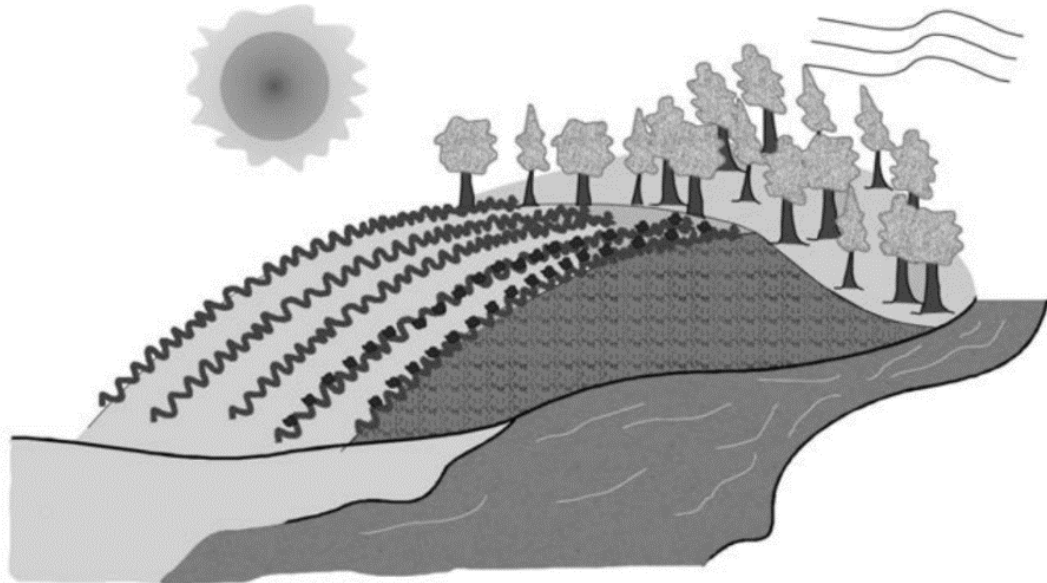
2.1. Fontes Renováveis

Na natureza, encontramos os principais recursos energéticos naturais, denominados por aqueles que não requerem atividade humana para existirem. A ocorrência de tais elementos permite ao homem sua sobrevivência, desenvolvimento e conforto.

Os elementos ou recursos naturais como luz solar, solo, vento, água e aqueles formados principalmente por cadeias de carbono são considerados primários, ou seja, o homem não precisa interferir para que existam; a natureza é responsável por sua criação. Basicamente, o Sol é o grande provedor de tudo, pois fornece energia de forma constante ao planeta. Essa energia é responsável pela criação, variações e transformações dos recursos. (PHILIPPI JR.; REIS, 2016, p. 48).

Na Figura 1, foi mostrado a representação dos recursos naturais primários, demonstrando o sol como o fator mais importante para que a vida no planeta possa existir.

Figura 1 - Recursos Naturais Primários.

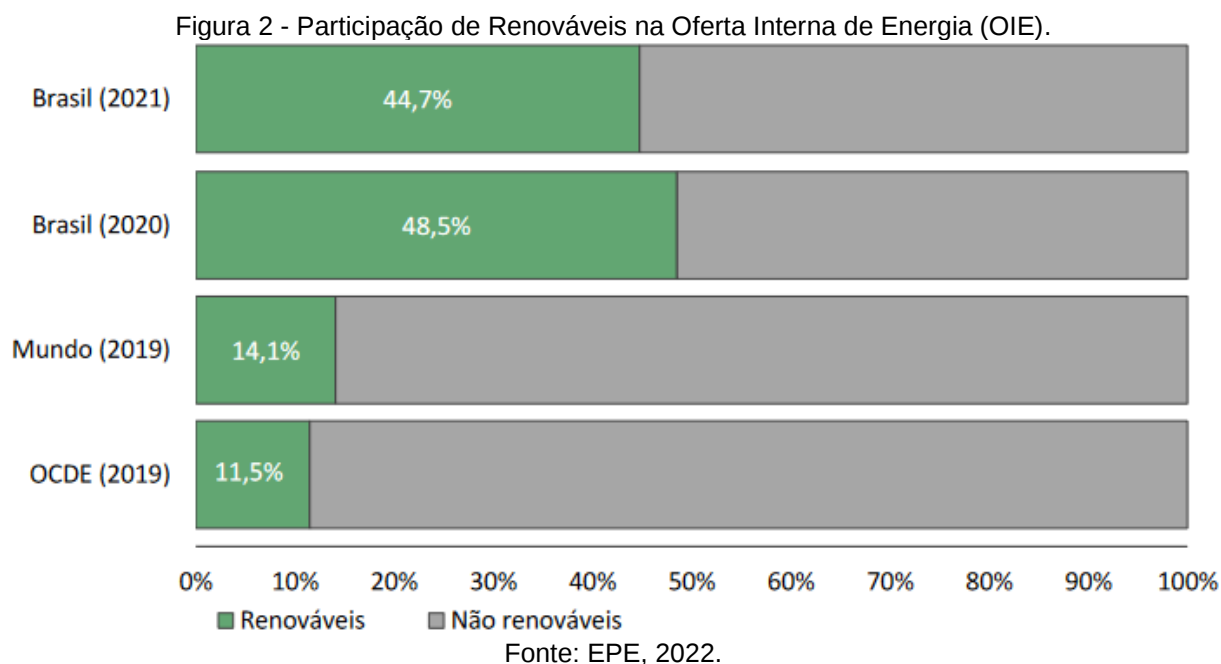


Fonte: PHILIPPI JR.; REIS, 2016.

Segundo PHILIPPI JR. e REIS (2016), podemos incluir na lista dos elementos considerados primários a biomassa, as chuvas, os rios, as marés, o petróleo, os minérios, o gás natural e até mesmo as altas temperaturas no centro do planeta; em que alguns recursos são aproveitados em seu estado natural e outros necessitam da intervenção humana para que seja possível a utilização ou até mesmo uma melhora

em sua eficiência de uso. Exemplifica-se neste caso a luz solar, a qual é um recurso aproveitado naturalmente na agricultura. Porém, para a produção de energia elétrica, necessita de equipamentos especiais para realizarem a sua transformação em energia elétrica fotovoltaica.

Na Figura 2, foi apresentado a participação de fontes renováveis na Oferta Interna de Energia (OIE).

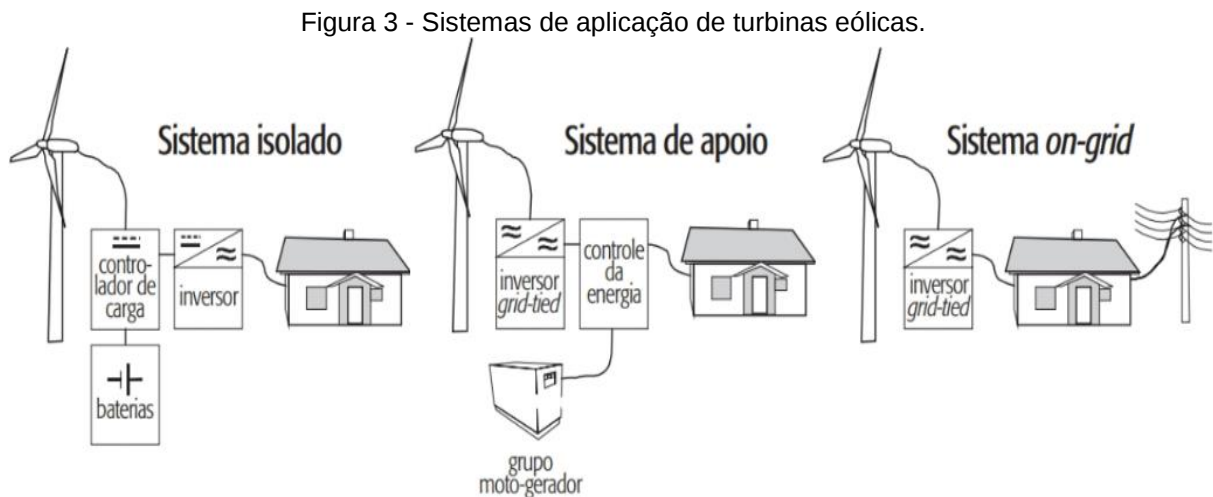


Torna-se importante ressaltar que no Brasil a participação das fontes renováveis na matriz energética alcança um dos maiores índices do mundo, com percentual superior a 44% do total, enquanto o percentual médio mundial não atinge 15%, conforme mostrado gráfico da Figura 2 elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE).

Além da energia solar, temos a biomassa, a hídrica e a eólica como fontes renováveis com grandes índices de aproveitamento nos dias atuais. Neste sentido, acredita-se que a geração de energia eólica pode figurar entre as principais fontes de energia do futuro, uma vez que em todos os lugares do globo terrestre este recurso está disponível.

As máquinas de geração de energia, geralmente elétrica, com base nos ventos operam em três tipos de sistemas: isoladas, como apoio ou interligadas à rede convencional de fornecimento de eletricidade (on-grid). Os grandes sistemas de geração de energia elétrica com base eólica, estruturas chamadas de fazendas eólicas, utilizam o sistema on-grid. (PHILIPPI JR.; REIS, 2016, p. 65).

Na Figura 3, foi mostrada a configuração com diferentes formas de uso de sistemas ligado a uma rede de energia eólica (on grid).



Fonte: PHILIPPI JR.; REIS, 2016.

Apesar de ser uma fonte renovável, o uso de energia hídrica, dependendo principalmente das dimensões das hidrelétricas, podem causar grandes impactos ambientais em sua implantação, que envolve a construção, desvio do rio e a formação do reservatório, assim como durante sua operação.

Há diversos tipos de usinas hidrelétricas, com ou sem reservatório de regulação, com diferentes tipos de turbinas e diferentes dimensões, desde microusinas (até 100 kW) até as usinas médias e grandes (acima de 30 MW, no geral), passando por miniusinas (acima de 100 kW até 1,0 MW) e PCHs (Pequenas Centrais Hidrelétricas, acima de 1,0 MW até 30 MW). Os desníveis podem ser naturais, como as quedas-d'água, ou criados artificialmente. Já a estrutura da usina com reservatório é composta principalmente por barragem, sistema de captação e adução de água, casa de força e vertedouro, que funcionam em conjunto e de maneira integrada. (PHILIPPI JR.; REIS, 2016, p. 68).

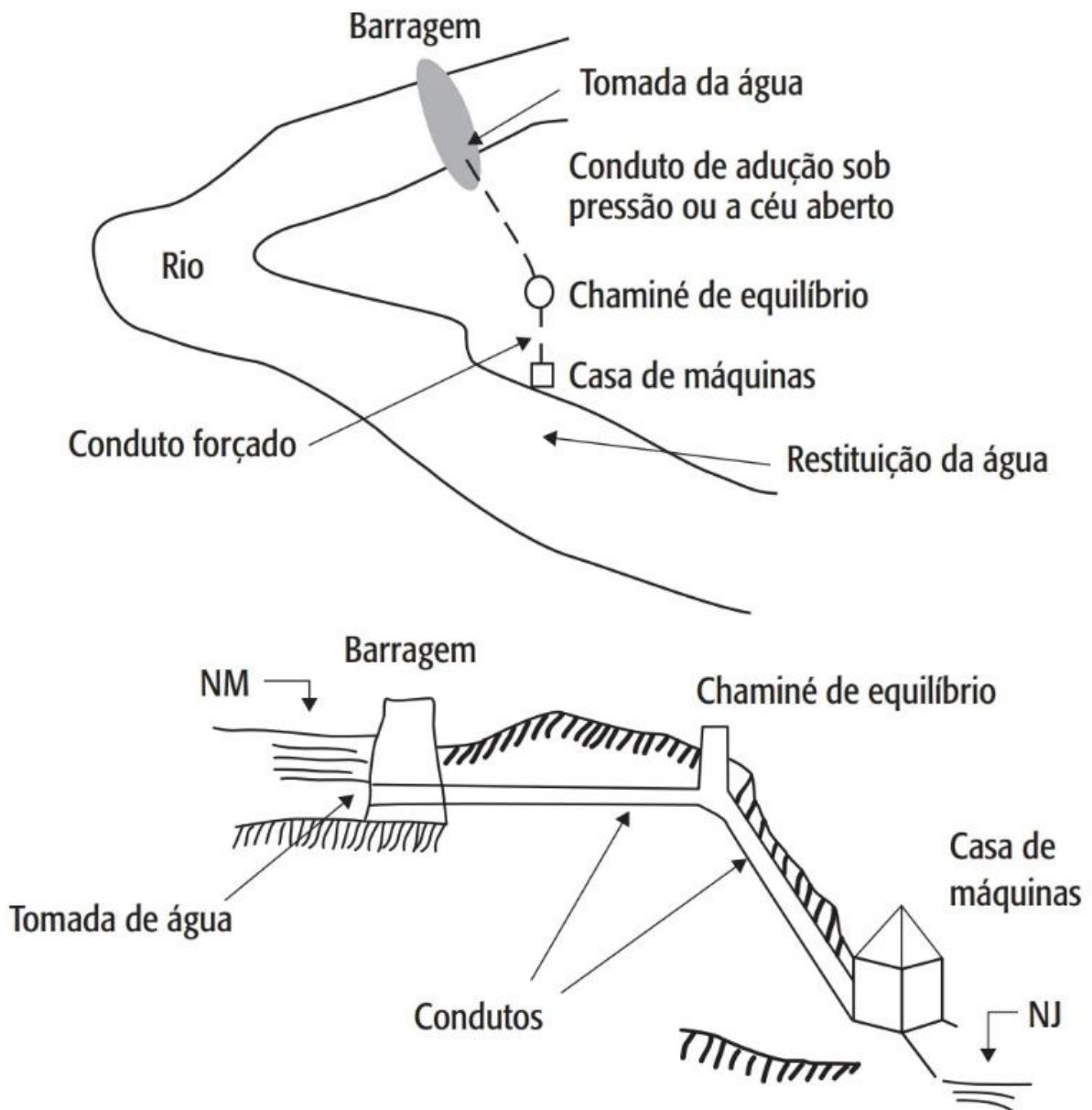
O Brasil apresenta grande potencial hídrico, porém, dados da Empresa de Pesquisa Energética – EPE mostram que a matriz elétrica brasileira apresentou mudanças em função da escassez hídrica ocorrida ao longo do ano. Neste sentido, foi observado maior tendência do uso de energia solar nas edificações.

A escassez de chuvas em 2021 provocou uma redução do nível dos reservatórios das principais hidrelétricas do país e a consequente redução da oferta de hidreletricidade. Esta queda foi compensada pelo aumento da oferta de outras fontes, como o carvão vapor (+47,2%), gás natural (+46,2%), eólica (+26,7%) e solar fotovoltaica (+55,9%). (EPE, 2022).

Na Figura 4, foi mostrada a representação de uma central hidrelétrica utilizada

por usinas menores.

Figura 4 - Central Hidrelétrica em Desvio.

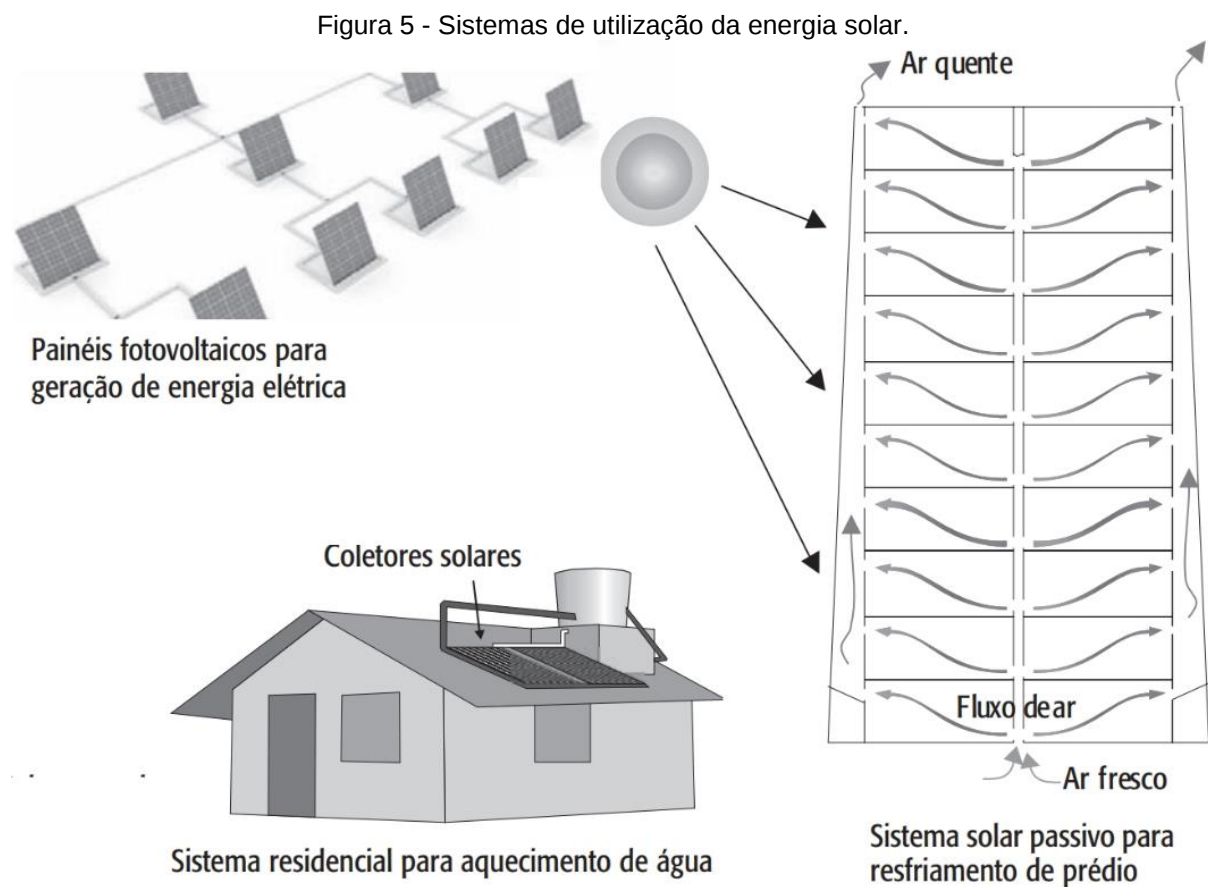


Fonte: REIS, 2011a.

Segundo PHILIPPI JR. e REIS (2016), a utilização da energia solar em sua forma térmica pode ser feita com sistemas passivos e ativos. A forma passiva, por se tratar de um sistema mais simples, consiste apenas na absorção da energia diretamente por uma edificação em função do seu projeto arquitetônico, permitindo uma redução da energia requerida para aquecer o ambiente interno. Porém, no sistema solar ativo, a captação da energia solar é realizada por meio de equipamentos na forma de coletores solares planos, em que uma estrutura simplificada faz a captação da radiação incidente e o calor produzido é utilizado para aquecer água para

uso interno das edificações ou até mesmo em piscinas.

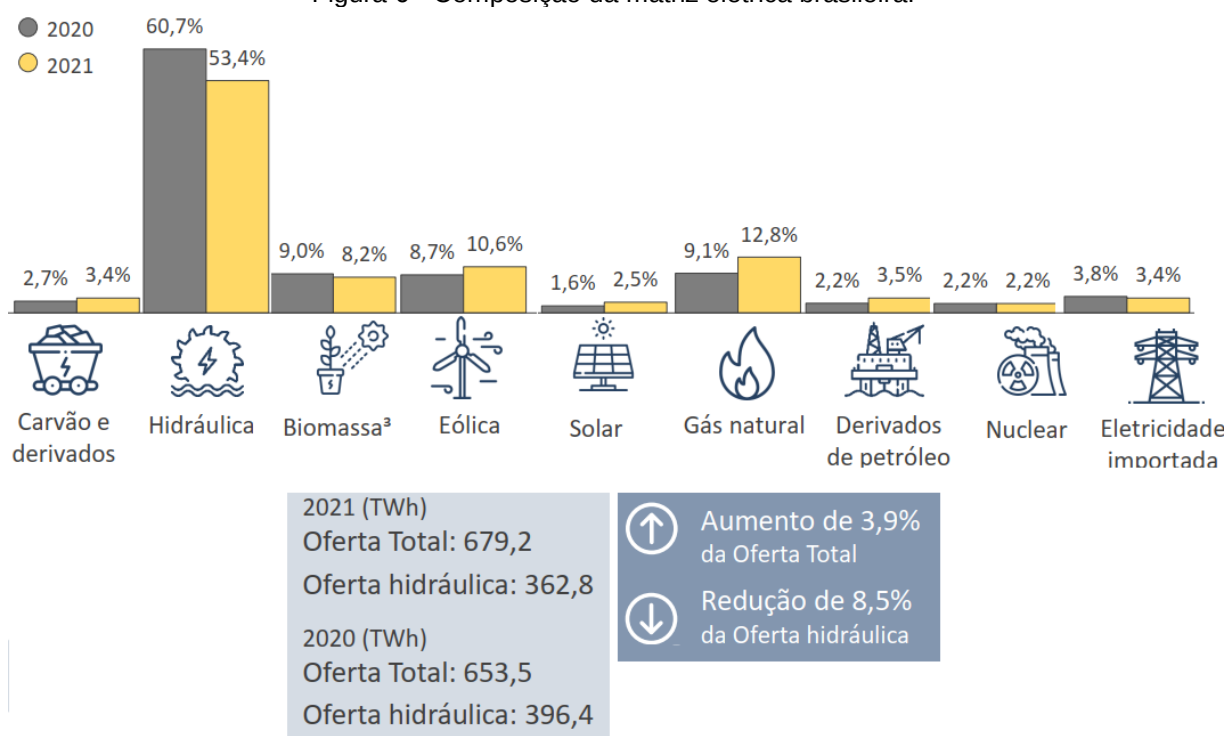
A conversão da energia em eletricidade pode ocorrer em sistemas fotovoltaicos e termossolares. Nos fotovoltaicos, ocorre uma transformação direta da energia solar em energia elétrica. Para os termossolares, temos que a energia captada do sol é utilizada para produzir a energia térmica, que será transformada em energia elétrica, geralmente produzindo vapor que fará o acionamento de uma termelétrica. Na Figura 5, foram apresentadas algumas formas de aproveitamento da energia solar.



Fonte: PHILIPPI JR.; REIS, 2016.

Por outro lado, no ano de 2021 foi observado um aumento de 3,9% na oferta total de energia em TWh, porém, com uma redução de 8,5% na oferta hidráulica devido à escassez hídrica citada (Figura 6). O fato foi compensado por uma boa evolução das ofertas eólica e fotovoltaica, apesar de que houve a necessidade de um maior acionamento das usinas termoeletrônica para atender à demanda.

Figura 6 - Composição da matriz elétrica brasileira.



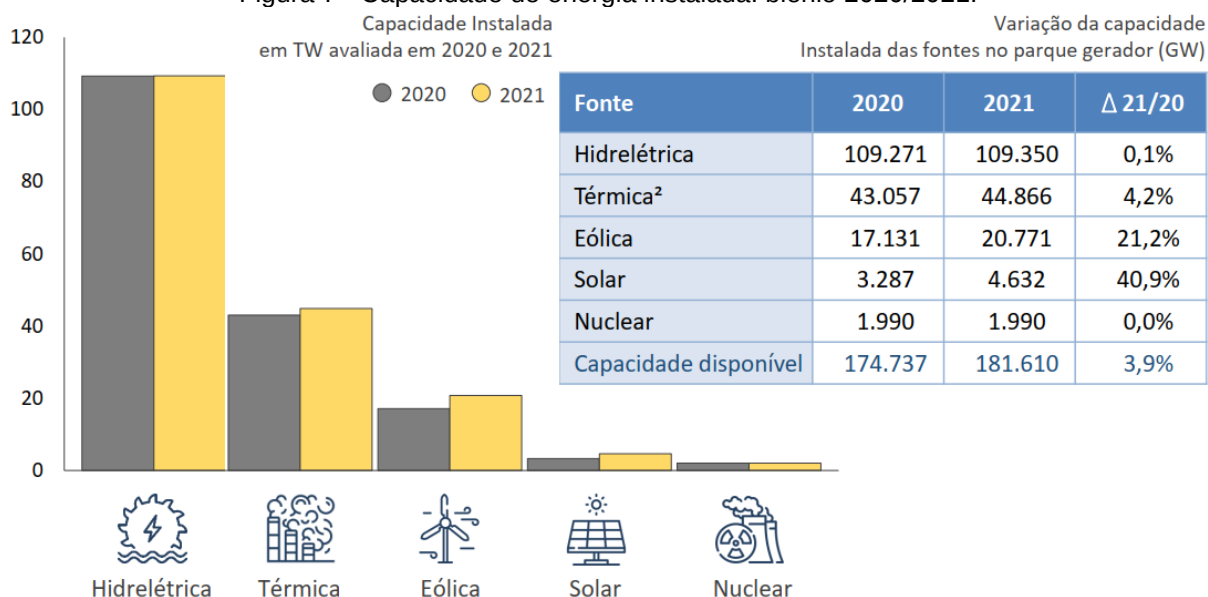
Fonte: EPE, 2022.

Foi observado que a oferta hidráulica, representada em sua maioria pelas usinas hidrelétricas, corresponde à maior parte da disponibilidade de energia elétrica da matriz brasileira. Além dos impactos causados ao meio ambiente, esta modalidade de uso depende frequentemente da disponibilidade hídrica, e que em períodos longos de escassez, a oferta energética pode ser prejudicada fortemente, como o que aconteceu durante o ano de 2021, com uma oferta hidráulica 33,6 TWh menor, ocasionando a necessidade de produção de outras formas de energia para suprir a demanda energética do país, como já citado anteriormente.

Deste modo, torna-se evidente a ampliação da disponibilidade energética, sendo interessante, pensando em aspectos ambientais, econômicos e sociais, o desenvolvimento da matriz elétrica predominantemente renovável e sem grandes impactos.

Em contrapartida, verifica-se que o Brasil possui um grande potencial para o desenvolvimento de energias renováveis conforme mostrado na Figura 7.

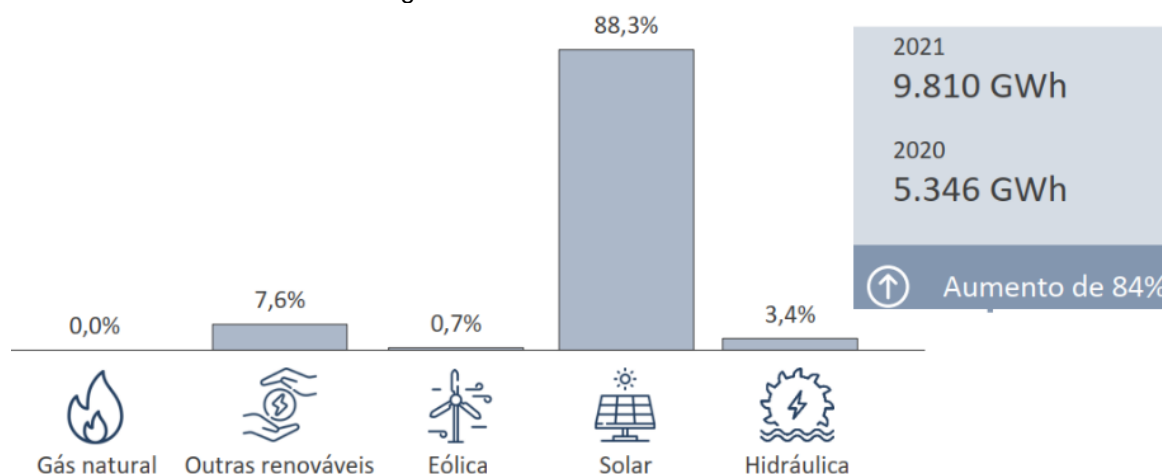
Figura 7 - Capacidade de energia instalada: biênio 2020/2021.



A capacidade instalada apresentou um aumento de 3,9% durante o ano de 2021, desconsiderando-se, ainda, o acréscimo das instalações de oferta energética nas modalidades de micro e minigeração distribuídas. Para a Micro e Minigeração Distribuída (MMGD), tivemos em 2021 um aumento de 84% em relação a 2020.

Nas Figuras 8 e 9, foram apresentadas as informações sobre a geração do MMGD para os anos de 2020/2021.

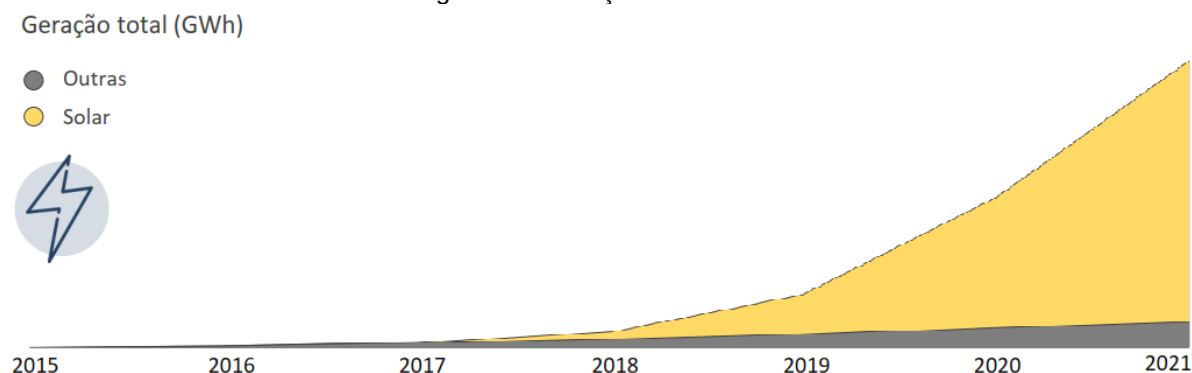
Figura 8 - MMGD: Biênio 2020/2021.



Fonte: EPE, 2022.

A principal fonte responsável pelo aumento registrado na micro e minigeração distribuída foi a energia solar fotovoltaica, que representou 88,3% da MMGD em 2021, conforme apresentado na Figura 8.

Figura 9 - Evolução da MMGD.



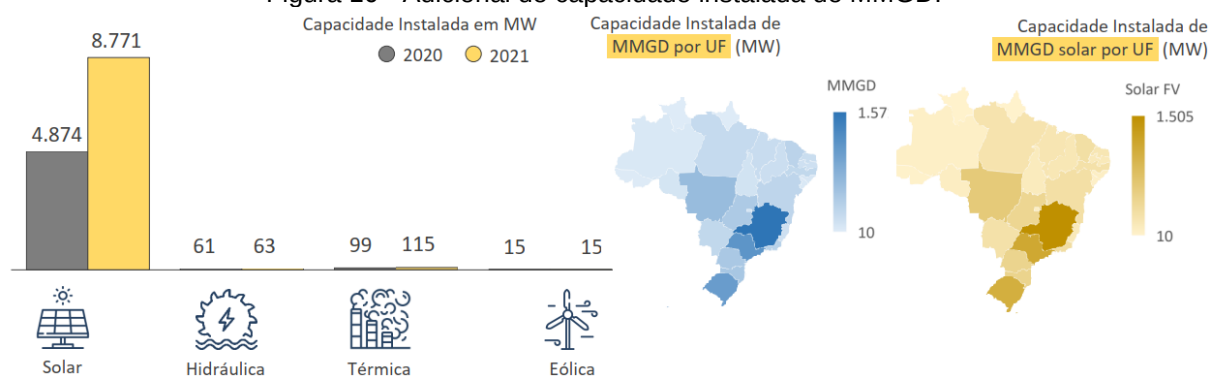
Fonte: EPE, 2022.

Segundo os dados da EPE (2022), houve concentração do adicional de capacidade instalada de MMGD no Centro-Sul do país, influenciado pela expansão da fonte solar em unidades federativas como Minas Gerais, São Paulo, Santa Catarina, Rio Grande do Sul e Mato Grosso.

Embora a capacidade instalada de fontes térmica e hidráulica tenham apresentado algum crescimento em 2021, a participação majoritária da capacidade instalada por meio de painéis solares é que define atualmente o segmento de geração de MMGD no Brasil. (EPE, 2022).

Na Figura 10, foram apresentados os valores de capacidade instalada adicional, expansão do MMGD, nas regiões brasileiras.

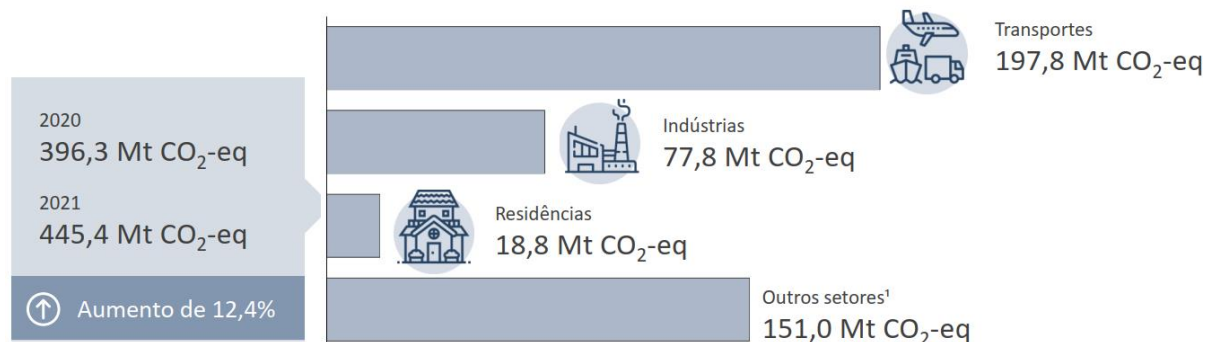
Figura 10 - Adicional de capacidade instalada de MMGD.



Fonte: EPE, 2022.

Na Figura 11, segundo a EPE (2022), foi observado que no ano de 2021, o total de emissões de CO₂ antrópicas associadas à matriz energética brasileira atingiu 445,4 milhões de toneladas de CO₂ equivalente. Fato que mostra a preocupação que se deve ter em relação à escolha da matriz energética observando impactos ao meio ambiente.

Figura 11 - Emissões antrópicas de CO₂.
Emissões totais (2021) em Mt CO₂-eq



Fonte: EPE, 2022.

Pelos dados da Figura 11, foi observado o acréscimo, em 2021, de 12,4% das emissões de CO₂ com relação ao ano de 2020. Nas próximas décadas, se o crescimento da demanda energética permanecer constante, a situação pode-se tornar bastante insustentável. Porém, segundo dados EPE (2022), extraídos de informações da Agência Internacional de Energia (AIE), o Brasil possui uma situação bastante confortável, se comparado a outras nações como Estados Unidos da América, China, e o complexo formado pela União Europeia.

Em média, na produção e no consumo de energia, cada brasileiro emite o equivalente a 13% de um americano, 32% de um cidadão da União Europeia e 27% chinês. (EPE, 2022, p. 48).

2.2. Energia Solar Fotovoltaica

A conversão direta da luz solar em energia elétrica ocorre por meio do efeito fotovoltaico, que consiste basicamente na característica de materiais semicondutores absorverem energia da radiação luminosa, transformando-a em elétrica. O efeito foi descoberto em 1839, pelo físico francês Edmond Becquerel.

A transformação da energia contida na radiação luminosa em energia elétrica é um fenômeno físico conhecido como efeito fotovoltaico. Observado primeiramente pelo físico francês Edmond Becquerel em 1839, o efeito fotovoltaico ocorre em certos materiais semicondutores com capacidade de absorver a energia contida nos fótons presentes na radiação luminosa incidente, transformando-a em eletricidade. A energia absorvida por esses materiais quebra as ligações químicas entre as moléculas presentes em suas estruturas. Com isso, cargas elétricas são liberadas e podem ser utilizadas para a realização de trabalho. O efeito fotovoltaico é uma característica física intrínseca ao material que compõe os dispositivos de conversão fotovoltaica. (ZILLES *et al.*, 2012, p. 19).

A descrição do fenômeno fotovoltaico aconteceu após o desenvolvimento da

mecânica quântica, permitindo a descoberta que qualquer tipo de radiação eletromagnética tem partículas denominadas fótons, possuindo níveis específicos de energia (OLIVEIRA *et al.*, 2021).

A geração de energia solar fotovoltaica acontece quando fótons incidentes no material semicondutor com determinada energia geram pares elétron-lacuna. O efeito fotocondutivo acontece com o movimento desses elétrons e lacunas fotogerados dentro do material aumentando sua condutividade elétrica (PINHO; GALDINO, 2014).

Em consequência, a movimentação dos elétrons e lacunas fotogerados dentro do material aumentam sua condutividade elétrica, realizando o efeito fotocondutivo. Em sua composição, a célula fotovoltaica possui finas camadas de materiais semicondutores dos tipos N e P. Os semicondutores tipos N carregam elétrons em excesso, com mobilidade. Porém, os semicondutores do tipo P têm lacunas de elétrons que também permitem a movimentação. Chamamos de junção P-N a área de contato entre esses dois materiais (OLIVEIRA *et al.*, 2021).

Porém, para o aproveitamento da corrente e da tensão elétrica, é necessário aplicar um campo elétrico, a fim de separar os portadores, o que se obtém por meio da junção P-N. Os sanduíches de material semicondutor do tipo N e do tipo P aproveitam o efeito fotovoltaico, formando células que produzem diferença de potencial. Essa é a base das células fotovoltaicas que constituem os painéis fotovoltaicos. (OLIVEIRA *et al.*, 2021, p. 141).

Ainda segundo OLIVEIRA *et al.* (2021), a junção P-N, é obtida por meio da introdução controlada de impurezas no material, sendo o processo denominado dopagem. As células fotovoltaicas preparadas conseguem gerar uma pequena diferença de potencial quando incididas por luz. Nas associações em série e paralelo, obtém-se a tensão e a corrente próprias para o funcionamento do módulo. Vale ressaltar que o efeito fotovoltaico gera uma tensão e uma corrente contínua nos terminais do material semicondutor, explicando a necessidade de uma interface inversora para transformar a corrente contínua em corrente alternada, nas situações em que seja necessário utilizar equipamentos como motores síncronos, transformadores, entre outros.

2.3. Células fotovoltaicas

O desenvolvimento das primeiras células fotovoltaicas ocorreu na tecnologia do silício monocristalino. Apesar de ser um processo bastante maduro, depende de grande quantidade de energia para obtenção do grau de pureza necessário para as

aplicações solares. Com o objetivo de reduzir os custos de produção, novas tecnologias são desenvolvidas para a fabricação das células. Comercialmente, podemos encontrar nos módulos fotovoltaicos estruturas de silício cristalinas (C-Si), monocristalino (SC-Si) e as células de silício multicristalino (MC-Si). Temos também células fabricadas com tecnologia de filmes finos, como as de silício amorfo hidrogenado (A-Si), células de telureto de cádmio (CdTe), células de disseleneto de cobre e índio (CIS) e células de disseleneto de cobre, gálio e índio (CIGS) (PHILIPPI JR.; REIS, 2016).

A preferência pelo silício é justificada por ser um elemento bastante comum na crosta terrestre, constituindo 28% de sua matéria (OLIVEIRA *et al.*, 2021).

A fabricação das células fotovoltaicas ocorre em um processo de purificação, do silício encontrado na natureza, sendo geralmente ligado ao oxigênio e forma o quartzo, componente da areia. Após ser purificado, o silício sofre uma ação de dopagem em que ganha a característica de elétrons em excessos ou buracos, tipos N e P, respectivamente. A dopagem do silício tipo N é realizada com o elemento fósforo, que possui cinco elétrons em sua camada de valência contra quatro do silício. Por sua vez, os semicondutores do tipo P sofrem dopagem com boro, que possui três elétrons em sua camada de valência (BULLOCK; GRAMBS, 1981).

Em sua montagem, as células fotovoltaicas são fabricadas em lâminas, cujas áreas mais comuns são de 50 cm² e 150 cm² e espessuras de 0,2 mm ou 0,3 mm. Possuem também uma aparência externa de coloração azul-escura da lâmina, característica do material silício.

Em condições padrão de produção de energia, alcançam a maior potência quando a irradiação solar atinge 1000 W/m² e a temperatura da célula se encontra em 25°C, podendo atingir amperagens entre 1,5 A e 4,5 A e voltagens variando de 0,46 V a 0,48 V (ZILLES *et al.*, 2012).

Dessa forma, as células são agrupadas em série e paralelo para produzir correntes e tensões convenientes para sua aplicação. Tendo sido atingida a configuração série/paralelo adequada, as células são encapsuladas para produzir um módulo fotovoltaico. (OLIVEIRA *et al.*, 2021, p. 143).

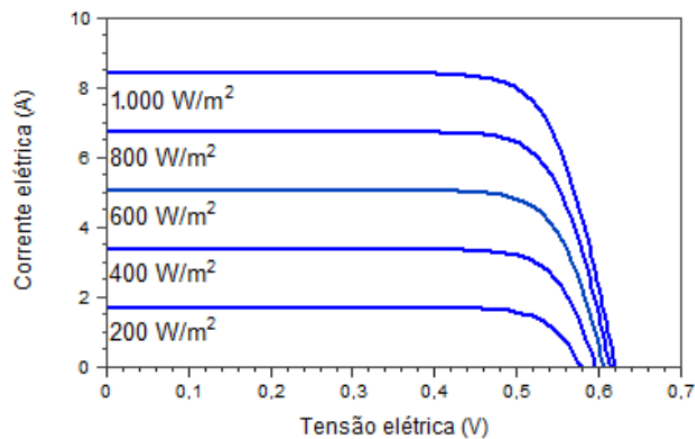
Durante a montagem dos módulos fotovoltaicos, as células são associadas em série e paralelo, de forma a propiciar tensões e correntes adequadas ao funcionamento do inversor em que serão conectadas.

Os módulos fotovoltaicos também são conectados em série (formando strings) e em paralelo para se conectar aos inversores de frequência. Essa configuração é chamada de array. Em módulos residenciais pequenos, normalmente, as strings são conectadas diretamente nos inversores, podendo esses terem entrada para mais de uma string. Porém, em sistemas maiores, é necessário o uso de junction boxes para conectar e proteger as strings ligadas em paralelo. (OLIVEIRA *et al.*, 2021, p. 144).

Segundo Pinho e Galdino (2014), os módulos fotovoltaicos têm suas características elétricas variantes principalmente com a irradiação solar e a temperatura. A corrente elétrica é diretamente proporcional à irradiação solar, enquanto a tensão máxima é afetada pelo aumento de temperatura.

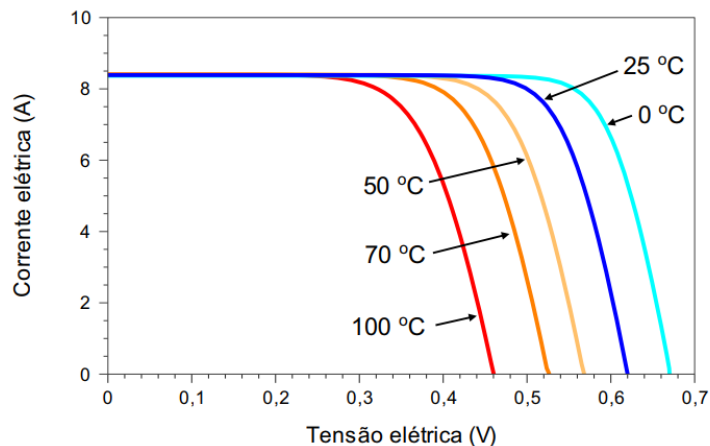
Nas Figuras 12 e 13, foram mostrados a influência da radiação solar nos módulos fotovoltaicos e os efeitos causados pelo aumento da temperatura, respectivamente.

Figura 12 - Influência da irradiação nos módulos fotovoltaicos.



Fonte: PINHO; GALDINO, 2014.

Figura 13 - Influência da temperatura nos módulos fotovoltaicos.

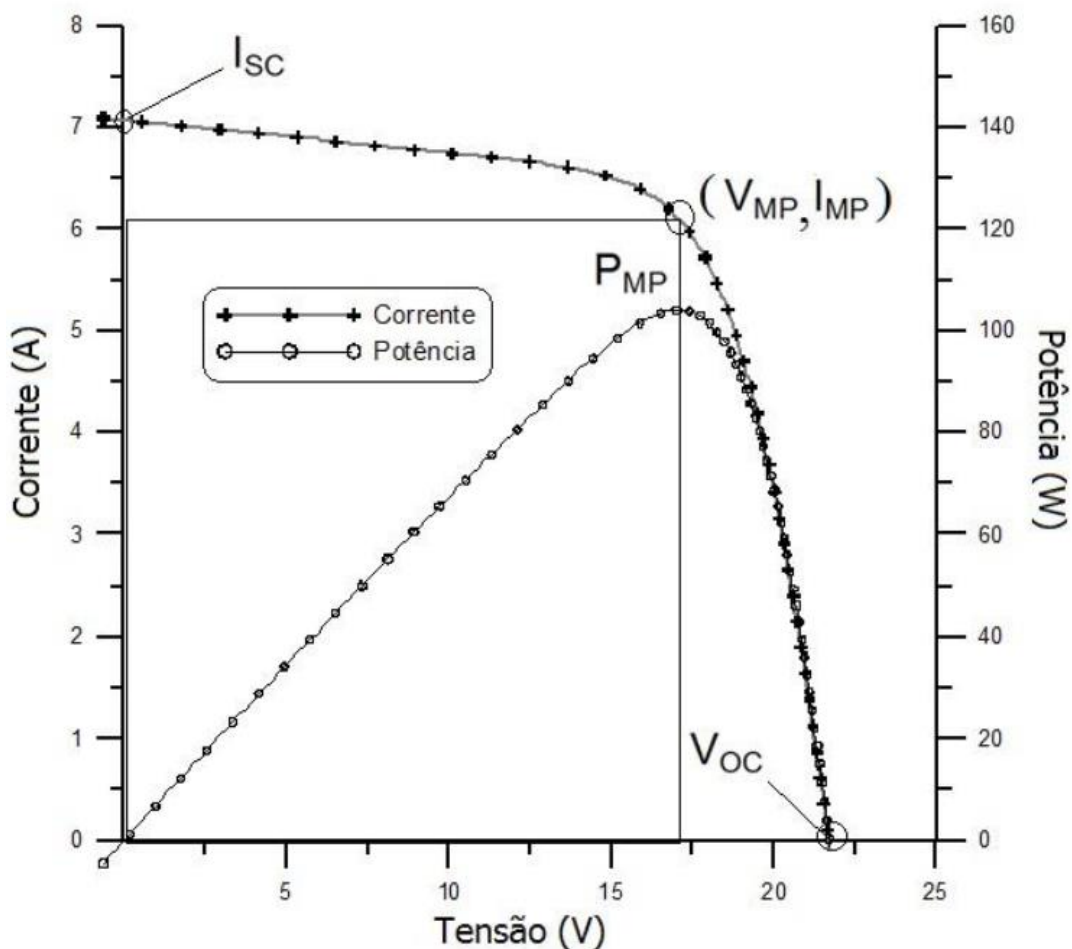


Fonte: PINHO; GALDINO, 2014.

Na Figura 14, foi mostrado um ensaio que demonstra as características

elétricas de um módulo fotovoltaico em função de suas curvas de Corrente versus Tensão e Potência versus Tensão. O encontro das curvas é denominado por ponto de máxima potência (P_{MP}) e está onde se encontram a tensão de máxima potência (V_{MP}) e a corrente de máxima potência (I_{MP}), refletindo a configuração em que a potência de saída do módulo atinge seu pico para uma determinada condição de temperatura e insolação.

Figura 14 - Características elétricas dos módulos fotovoltaicos.



Fonte: PINHO; GALDINO, 2014.

É importante ressaltar que grande parte dos inversores comercializados atualmente possuem mecanismos eletrônicos capazes de manter o sistema fotovoltaico funcionando em seu ponto de maior potência. Denominamos este mecanismo por MPPT (maximum power point tracking).

2.4. Radiação Solar e Eficiência dos Projetos

Os sistemas fotovoltaicos são projetados para gerar eletricidade e produzir uma

quantidade substancial de quilowatts-hora (kWh) durante décadas, com baixos custos de operação e manutenção. Ao se realizar os projetos, não se deve apenas focar no baixo custo, mas analisar para que seja o mais baixo possível e simultaneamente retorne mais energia ao longo do tempo de vida do projeto (PINHO *et al.*, 2008).

De certo modo, torna-se importante utilizar componentes de boa qualidade, que acarretarão menores custos de manutenção. Sistemas melhores demandam um maior investimento para a implantação, mas, em contrapartida, podem gerar lucros líquidos positivos maiores para o cliente durante seu período de utilização.

Segundo BALFOUR (2016), um importante fator a ser considerado é com relação à radiação solar. Compreender a quantidade de energia que recebemos através da radiação pode permitir o desenvolvimento de eficientes sistemas fotovoltaicos. Sobre este fato, precisamos analisar também as questões sobre a insolação que recebemos na superfície.

Insolação é um indicador dessa energia que alcança determinada área da Terra durante um período de tempo determinado. A maior parte da insolação ocorre em uma região espectral que possui um comprimento de onda entre 0,25 e 4,0 μm . Quarenta por cento da insolação ocorrem na região espectral visível entre 0,4 e 0,7 μm . Apenas 10% da insolação ocorrem nos comprimentos de onda mais curtos que o espectro visível. O oxigênio, o nitrogênio e o ozônio na alta atmosfera absorvem energia de comprimentos de onda menores que 0,29 μm . (BALFOUR, 2016, p. 28).

Para critérios de projetos fotovoltaicos, temos que a insolação pode ser expressa em unidades de watts por metro quadrado (W/m^2), em que a quantidade utilizável de radiação solar disponível no local depende dos seguintes fatores:

- Condições locais como árvores e obstruções, que podem causar sombreamento dos raios solares sobre os módulos fotovoltaicos. Incluímos também questões como poeira, sujeira entre outros poluentes locais transportados pelo ar.
- Situações de clima com tempo nublado, pois há menor concentração da radiação solar. Quando ocorre neve, os painéis solares podem ficar cobertos e perdem desempenho.
- Latitude local que afeta o ângulo da luz solar, influenciando na quantidade de radiação solar recebida.
- O formato da Terra faz a luz solar atingir o planeta em ângulos variados, e sua

trajetória em torno do Sol, além de sua órbita elíptica, levam a luz solar para a superfície do planeta em ângulos, distância e intensidades variados, de hora em hora, diária, mensal, sazonal e anualmente.

- As estações do ano resultam em diferenças na energia disponível entre os polos Norte e Sul. Nas estações quentes, o hemisfério em questão, seja o Norte ou o Sul, recebe uma maior quantidade de luz solar em função da defasagem angular que o eixo de rotação da Terra possui, cerca de $23^{\circ}26'$.

A eficiência das células solares depende da tecnologia e arquitetura interna da célula, enquanto sua eficácia está relacionada ao modo que ela recebe a energia em seu ambiente. Logo, torna-se necessário avaliar cuidadosamente os fatores ambientais de cada local de instalação do sistema fotovoltaico (BALFOUR, 2016).

A zero grau, não há uma forte concentração de raios solares. As células solares não conseguem funcionar no pico de eficiência com os raios solares em ângulo de zero grau. A 90 graus, os raios solares são muito concentrados. É nesse ângulo que as células solares conseguem funcionar com eficiência máxima. (BALFOUR, 2016, p. 29).

Segundo BALFOUR (2016), a quantidade de irradiação solar alcança 1.000 W/m^2 quando os raios solares atingem um local a 90 graus no meio-dia solar. Porém, em situações em que os raios se refletem nas nuvens, pode atingir valores tão altos quanto 1.400 W/m^2 .

Outro importante ponto que precisa ser avaliado para o desenvolvimento de projetos fotovoltaicos é o conceito de hora solar. Sendo uma unidade cumulativa, descreve a quantidade de radiação que atinge a superfície em um valor específico de 1 quilowatt-hora por metro quadrado (kWh/m^2) por dia. Em sua análise, consideramos os fatores como a densidade da radiação incidente na superfície específica do projeto, média histórica de radiação pelo período de 30 anos, análise do clima do local, sua latitude e declive. A hora solar também apresenta o potencial energético utilizável do local, e sua intensidade ao longo do dia representada graficamente assume a forma de uma curva sino gráfica (BALFOUR, 2016).

Por exemplo, em Detroit, Michigan, você pode esperar que o número médio de horas solares para um conjunto fixo em junho seja aproximadamente $5,5 \text{ kWh/m}^2$. Em Phoenix, Arizona, o mesmo valor para esse mês seria $7,54 \text{ kWh/m}^2$ por dia. No inverno, Detroit teria aproximadamente $2,3 \text{ kWh/m}^2$ por dia em janeiro, enquanto Phoenix teria $5,31 \text{ kWh/m}^2$ por dia. (BALFOUR, 2016, p. 31).

2.5. Radiação Solar no Brasil

Um dos fatores mais importantes que influenciam a radiação solar é a precipitação. No Brasil, país que possui um território com extensões continentais grandes, encontramos áreas de baixas e médias latitudes, experimentando diferentes padrões de precipitação ao longo de sua dimensão, sendo que há regiões como a Amazônia com precipitação bastante elevada, enquanto no semiárido nordestino as chuvas são muito reduzidas (PEREIRA et al., 2017).

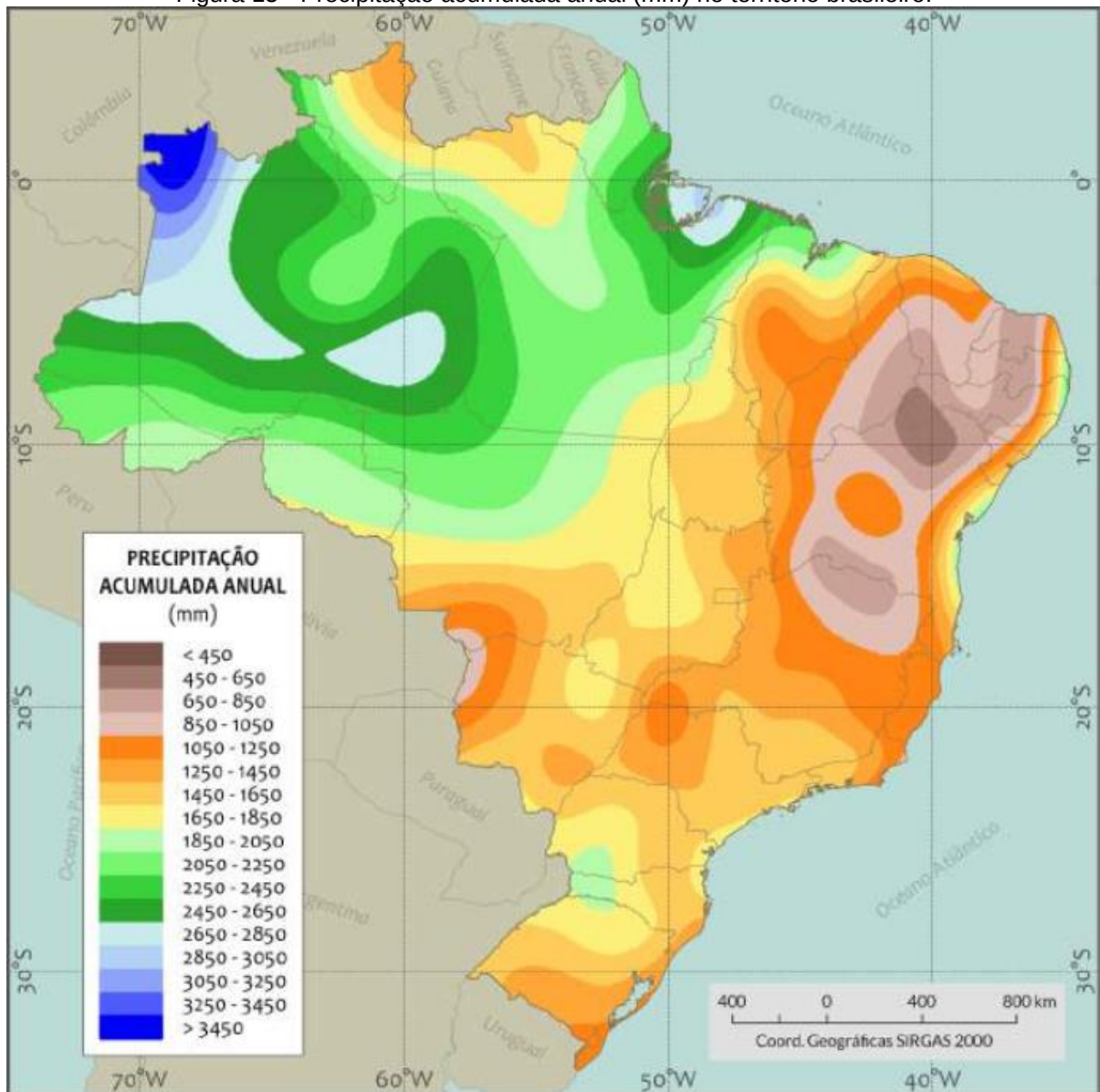
O relevo brasileiro também apresenta influência direta nas condições de tempo e de clima de uma região. Nos pontos mais elevados, em que a ocorrência de temperaturas baixas é maior, temos condições propícias para a formação de nebulosidade através da condensação por levantamento nas encostas. Logo, a dinâmica atmosférica é fundamental para explicar as diferenças de temperatura e precipitação, provocando as diferenças climáticas regionais (PEREIRA et al., 2017).

Outro importante fator que faz modulação da radiação solar incidente em nosso país é a questão dos aerossóis atmosféricos, que podem ser originados da queima de biomassa quanto aqueles produzidos nas grandes cidades, diminuindo consideravelmente a quantidade de radiação solar que chega à superfície.

A variabilidade sazonal das condições meteorológicas influencia diretamente a quantidade de aerossóis em suspensão na atmosfera. Um dos mais claros exemplos acontece após o início da estação seca no Centro-Norte brasileiro, quando se observa condições propícias para o aumento dos incêndios florestais, que podem ocorrer de maneira natural ou mesmo através de ações antrópicas como o desmatamento. Este complexo mecanismo ainda regula as características atmosféricas regionais, já que o tempo de permanência dos aerossóis na atmosfera é maior durante a estação seca em razão da menor retirada por processos de mistura e precipitação. (PEREIRA et al., 2017, p. 23).

Na Figura 15, foram mostradas as informações climatológicas da precipitação no Brasil.

Figura 15 - Precipitação acumulada anual (mm) no território brasileiro.



Fonte: INMET, 2016.

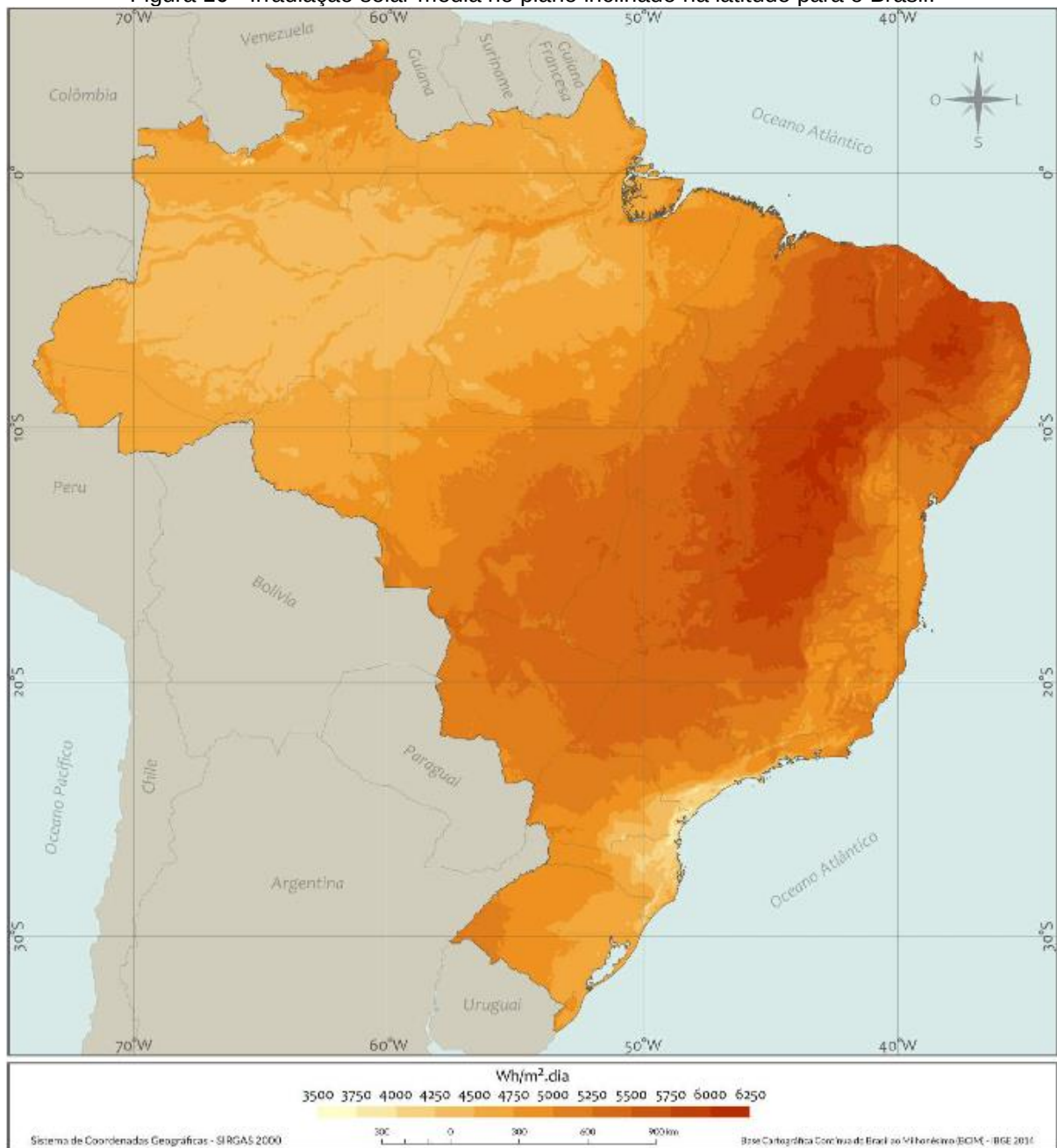
Para a elaboração dos projetos de energia fotovoltaica, precisamos avaliar os índices de irradiância solar do local em que o projeto será instalado. A irradiância incidente em uma superfície é composta por suas componentes direta e difusa, sendo que a direta apresenta direção de incidência na linha imaginária entre a superfície e o Sol e representa a parcela que não sofreu os processos radiativos de absorção e espalhamento que ocorrem na atmosfera. Para a componente difusa, temos a radiação proveniente das demais direções que são decorrentes dos processos de espalhamento pelos gases e particulados presentes na atmosfera.

Segundo PEREIRA *et al.* (2017), são adotadas as seguintes terminologias para os tipos de radiações existentes:

- Irradiância extraterrestre (G_0): taxa de energia incidente por unidade de área em um plano horizontal imaginário situado no topo da atmosfera. É também conhecido como irradiância no topo da atmosfera ou GTOA.
- Irradiância direta normal (G_n): taxa de energia por unidade de área proveniente diretamente do Sol que incide perpendicularmente à superfície. É também conhecida como DNI.
- Irradiância difusa horizontal (G_{dif}): taxa de energia incidente sobre uma superfície horizontal por unidade de área, decorrente do espalhamento do feixe solar direto pelos constituintes atmosféricos (moléculas, material particulado, nuvens, etc.).
- Irradiância direta horizontal (G_{dir}): taxa de energia por unidade de área do feixe solar direto numa superfície horizontal. Pode ser determinada como o produto entre a irradiância direta normal (DNI) e o cosseno do ângulo zenital solar.
- Irradiância global horizontal (G): taxa de energia total por unidade de área incidente numa superfície horizontal. A irradiância global é dada pela soma $G = G_{dif} + G_{dir}$ ou $G = G_{dif} + G_n \cdot \cos(\theta_z)$ onde θ_z é o ângulo zenital.
- Irradiância no plano inclinado (G_i): taxa de energia total por unidade de área incidente sobre um plano inclinado na latitude do local em relação à superfície da Terra.

Na Figura 16, foi mostrado o mapa de irradiação solar no plano inclinado na latitude para o Brasil, com as médias anuais.

Figura 16 - Irradiação solar média no plano inclinado na latitude para o Brasil.



Fonte: PEREIRA *et al.*, 2017.

2.6. Radiação solar em Três Corações

Os dados irradiação solar para o município de Três Corações – MG, cidade de instalação do projeto fotovoltaico em análise neste trabalho, foram obtidos com as informações modelo físico de transferência radiativa chamado por BRASIL-SR.

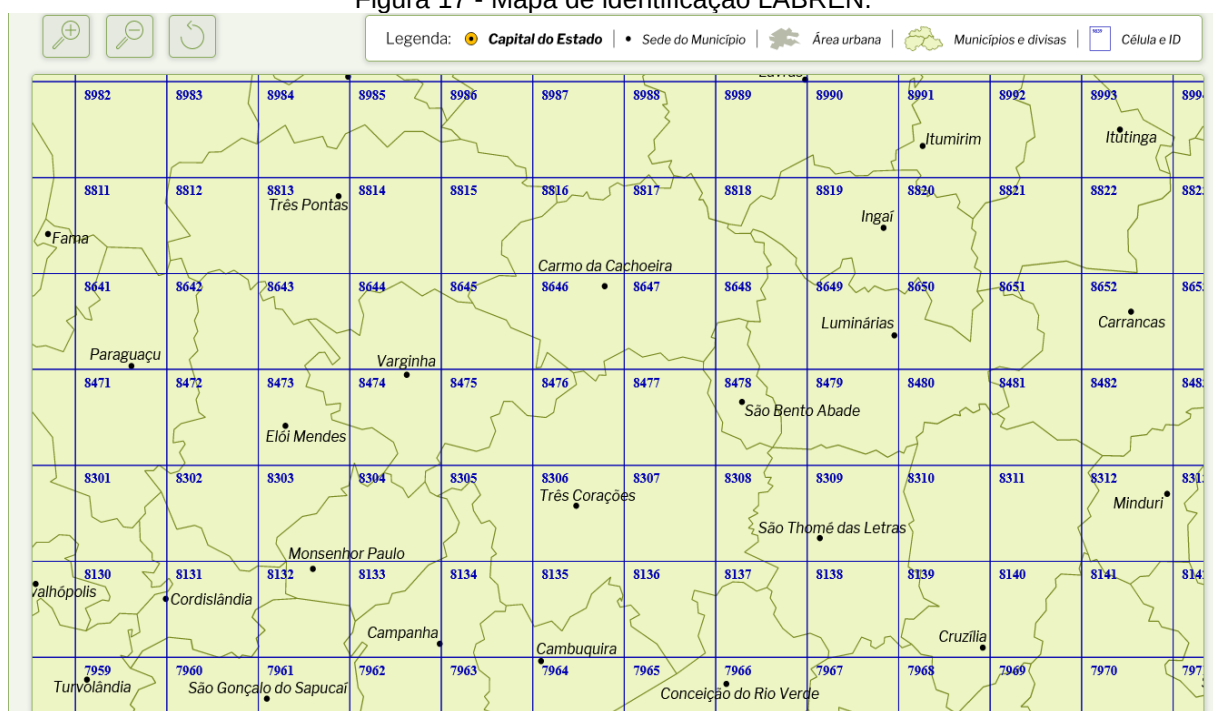
Segundo PEREIRA *et al.* (2017), esse modelo utiliza dados de cobertura de nuvens, obtidos a partir de imagens de Satélites de Ambiente Operacional Geoestacionário (GOES) posicionados sobre a América do Sul. O modelo faz uso também de base de dados de topografia, albedo de superfície, dados climatológicos

de temperatura, umidade relativa e visibilidade atmosférica para todo o território brasileiro.

PEREIRA *et al.* (2017) relataram que os resultados observados pelo modelo foram validados com o estudo de comparações estatísticas com base em dados medidos empregando piranômetros instalados na rede nacional de estações meteorológicas automáticas, operada pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e pelo Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais - rede SONDA - operado pelo LABREN/INPE.

Os dados de irradiação para o município de Três Corações – MG foram extraídos da plataforma LABREN – Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia. Na Figura 17, foi apresentado o mapa de identificação de vários municípios, incluindo Três Corações.

Figura 17 - Mapa de identificação LABREN.



Fonte: LABREN, 2022.

Na Tabela 1, foram apresentados os dados extraídos na plataforma LABREN para o município de Três Corações – MG.

Tabela 1 - Dados de Irradiação Solar para o município de Três Corações - MG.

Período	Irradiação Global Horizontal (Wh/m ² .dia)	Irradiação no Plano Inclinado (Wh/m ² .dia)	Irradiação Direta Normal (Wh/m ² .dia)	Irradiação Difusa (Wh/m ² .dia)	Irradiação PAR (Wh/m ² .dia)
Anual	4839	5085	4378	2018	2217
Jan	5463	4942	3666	2628	2521
Fev	5653	5401	4500	2396	2543
Mar	4847	5014	3715	2215	2278
Abr	4603	5230	4724	1778	2152
Mai	3898	4773	4482	1474	1857
Jun	3657	4662	4626	1344	1696
Jul	3903	4902	4912	1357	1783
Ago	4773	5634	5844	1529	2121
Set	5034	5385	4706	1854	2379
Out	5394	5270	4323	2228	2471
Nov	5216	4794	3334	2629	2387
Dez	5624	5016	3707	2782	2413

Fonte: adaptado de LABREN, 2022.

Pela Tabela 1, observou que o maior valor de irradiação anual se encontra nos dados de Irradiação no Plano Inclinado.

2.7. Legislações Vigentes

2.7.1. Resolução Normativa nº 482

Até o momento, uma das principais legislações que regulamenta o setor de Energia Fotovoltaica no Brasil é a Resolução Normativa nº 482 estabelecida pela ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). Publicada em 17 de abril de 2012 e atualizada pelas Resoluções Normativas nº 687 (24 de novembro de 2015), nº 786 (17 de outubro de 2017) e nº 1000 (7 de dezembro de 2021), a norma tem o objetivo de estabelecer condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, incluindo o sistema de compensação tarifário entre outras providências.

Conforme as regras em vigor, torna-se permitido utilizar qualquer tipo de fonte renovável para a produção de energia elétrica (solar, eólica, biomassa entre outras), sendo que denominamos por microgeração distribuída a central geradora com potência instalada de até 75 quilowatts (KW) e minigeração distribuída aquela com potência acima de 75 kW e menor ou igual a 5 MW, conectadas à rede de distribuição nos projetos de instalações de unidades consumidoras (ANEEL, 2022).

Uma importante concessão feita pela norma é a possibilidade de transformação

em créditos de quilowatts da quantidade de energia gerada em excesso durante determinado mês, ficando disponíveis e válidos durante 60 meses para utilização, quando necessários. Há também a permissão para um autoconsumo remoto, que ocorre quando o titular possui outras unidades consumidoras situadas em outros locais atendidos pela mesma distribuidora. Neste caso, também é permitida a compensação dos créditos excedentes.

Condomínios, consumidores unidos em consórcios ou cooperativas também podem repartir entre si a energia gerada em uma determinada unidade produtora, sendo necessário apenas comprovar o vínculo entre os consumidores interessados. A ANEEL estabeleceu também regras simplificadas para o processo de solicitação de conexão dos sistemas de microgeração e minigeração distribuída às unidades distribuidoras.

Foram instituídos formulários padrão para realização da solicitação de acesso pelo consumidor e o prazo total para a distribuidora conectar usinas de até 75 kW, que era de 82 dias, foi reduzido para 34 dias. Adicionalmente, a partir de janeiro de 2017, os consumidores poderão fazer a solicitação e acompanhar o andamento de seu pedido junto à distribuidora pela internet. (ANEEL, 2022).

Um importante detalhe sobre a geração de energia solar fotovoltaica é que a sobra da energia produzida durante o dia (horário solar) é repassada para a rede em forma de créditos. No período da noite, a rede devolve a energia para a unidade consumidora, funcionando como uma bateria. No encerramento mensal da fatura de energia, caso ainda existam créditos disponíveis, estes são contabilizados e mantidos para utilização em até 60 meses, como já citado anteriormente.

Com relação aos critérios de adesão pelo consumidor, a ANEEL ressalta que:

Compete ao consumidor a iniciativa de instalação de micro ou minigeração distribuída – a ANEEL não estabelece o custo dos geradores e tampouco eventuais condições de financiamento. Portanto, o consumidor deve analisar a relação custo/benefício para instalação dos geradores, com base em diversas variáveis: tipo da fonte de energia (painéis solares, turbinas eólicas, geradores a biomassa, etc.), tecnologia dos equipamentos, porte da unidade consumidora e da central geradora, localização (rural ou urbana), valor da tarifa à qual a unidade consumidora está submetida, condições de pagamento/financiamento do projeto e existência de outras unidades consumidoras que possam usufruir dos créditos do sistema de compensação de energia elétrica. (ANEEL, 2022).

Ainda segundo a ANEEL (2022), as unidades consumidoras conectadas em baixa tensão (grupo B) precisam pagar o custo de disponibilidade da rede com valor

em Real equivalente a 30 kWh (monofásico), 50 kWh (bifásico) ou 100 kWh (trifásico), mesmo que a energia produzida e injetada na rede durante o mês seja superior ao consumo. Para os consumidores conectados em alta tensão (grupo A), a regra é diferente, permitindo que a parcela de energia da fatura seja zerada se houver quantidade de energia injetada na rede igual ou superior ao valor consumido. Porém, a parcela da fatura correspondente à demanda contratada será faturada normalmente.

2.7.2. Lei 14300/2022

A Lei 14300/2022, também conhecida como Marco Legal da Microgeração e Minigeração Distribuída (MMGD), foi publicada em 7 de janeiro de 2022 e trouxe importantes mudanças para o setor de energia fotovoltaica nacional.

A lei permite às unidades consumidoras já existentes — e às que protocolarem solicitação de acesso na distribuidora em 2022 — a continuação, por mais 25 anos, dos benefícios hoje concedidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) por meio do Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE). Também define as regras que prevalecerão após 2045 e quais serão as normas aplicáveis durante o período de transição. (SENADO, 2022).

Os consumidores que ainda não possuem o sistema fotovoltaico instalado, ou que desejarem realizar aumento de carga do sistema, terão direito adquirido se a solicitação de acesso ou aumento de carga for realizada em até 12 meses da publicação da Lei. Após este período, a cobrança será gradual no faturamento da TUSD fio B para as modalidades de Geração junto à carga, Geração compartilhada, EMUC ou Autoconsumo menor que 500 kW, conforme Tabela 2 (BRASIL, 2022).

Tabela 2 - Pagamento da TUSD no fio B.

Geração junto à carga, Geração compartilhada, EMUC ou Autoconsumo menor que 500 kW % de pagamento da TUSD fio B						
2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
15% do fio B	30% do fio B	45% do fio B	60% do fio B	75% do fio B	90% do fio B	Nova Regra

Fonte: adaptado de RUBIM, 2022.

Já, nas situações de autoconsumo remoto acima de 500 kW ou Geração compartilhada em que pelo menos um dos consumidores detenha 25% ou mais de participação dos créditos de energia, serão cobradas TUSD Fio B, 40% da TUSD fio A, TFSEE e P&D, conforme Tabela 3 (BRASIL, 2022).

Tabela 3 - TUSD Fio B, 40% da TUSD fio A, TFSEE e P&D.

Autoconsumo remoto > 500 kW | Geração Compartilhada quando um consumidor tiver 25% ou mais de créditos

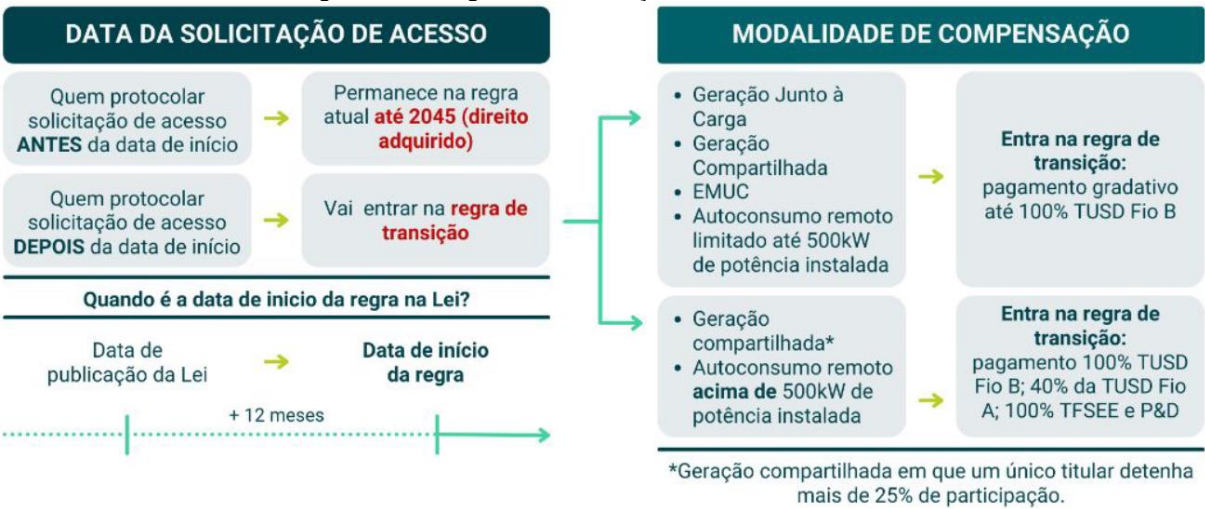
2023 a 2028	2029 em diante
100% da TUSD fio B + 40% da TUSD fio A + TFSEE + P&D	Nova regra

Fonte: adaptado de RUBIM, 2022.

A Lei 14300 estabelece que a partir de 2029 serão cobradas sobre a energia elétrica ativa consumida da rede de distribuição e sobre o uso ou sobre a demanda todas as componentes tarifárias não associadas ao custo da energia, e abatidos os benefícios da GD à rede. Caberá à ANEEL valorar esses benefícios, conforme as diretrizes do Conselho Nacional de Política Energética (BRASIL, 2022).

Resumidamente, temos a seguinte situação para as regras de transição determinadas pela Lei 14300/2022, conforme apresentado na Figura 18:

Figura 18 - Regras de Transição da Lei 14300/2022.



Fonte: GREENER, 2022.

A lei, em concordância com a Resolução Normativa nº 482 da ANEEL, manteve o conceito de microgeração distribuída. Porém, trouxe alterações no texto para a definição de minigeração distribuída, conforme apresentado na Tabela 4. Foi introduzido também o conceito de “Autoconsumo Local”, que ocorre quando a geração está junto a carga e o excedente de energia gerado é compensado na própria unidade consumidora (BRASIL, 2022).

Tabela 4 – Potência Instalada: Lei 14.300/2022 versus REN 482/2012.

Item	REN 482/2012	Lei 14.300/2022 (Marco Legal MMGD)
Potência Instalada	Microgeração Distribuída: menor ou igual a 75 kW	Microgeração Distribuída: menor ou igual a 75 kW
	Minigeração Distribuída: maior que 75 kW e menor ou igual a 5 MW	Minigeração Distribuída: maior que 75 kW e menor ou igual a 5MW para as fontes despacháveis e menor ou igual a 3MW para as fontes não despacháveis.

Fonte: GREENER, 2022.

Para as unidades consumidoras faturadas por demanda contratada, a nova forma de cobrança será conforme a forma de utilização da energia, e não mais pela TUSD demanda. A alteração foi apresentada na Tabela 5.

Tabela 5 – Demanda Contratada: Lei 14.300/2022 versus REN 482/2012.

Item	REN 482/2012	Lei 14.300/2022 (Marco Legal MMGD)
Demanda contratada	Para consumidores do Grupo A com Mini GD, a tarifa de referência para faturamento da demanda contratada é a TUSD demanda (TUSDd):	Para usinas geradoras de Mini GD remotas pertencente ao Grupo A, a tarifa de referência para faturamento da demanda contratada (MUSD**) passa a ser a TUSD injeção.
	Demanda contratada (kW) x TUSDd* (R\$/kW)	Demanda contratada (kW) x TUSDinjeção (R\$/kW)
	*TUSD demanda (TUSDd): Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição aplicada à Demanda Contratada	MUSD: Montante de Uso do Sistema de Distribuição O valor da TUSDinjeção aplicável à Mini GD a ser definido pela ANEEL.

Fonte: GREENER, 2022.

A Lei também altera a forma de pagamento do custo de disponibilidade para todos os consumidores, conforme especificado na Tabela 6.

Tabela 6 – Custo de Disponibilidade: Lei 14.300/2022 versus REN 482/2012.

Item	REN 482/2012	Lei 14.300/2022 (Marco Legal MMD)
Custo de disponibilidade	Para o Grupo B, o custo de disponibilidade representa o mínimo que o consumidor deve pagar na conta de luz, com os seguintes valores de referência:	O custo de disponibilidade continua com os valores mínimos de referência 30, 50 ou 100 kWh, com a seguinte regra de aplicação. Para projetos com direito adquirido: • Se o consumo medido for maior do que o valor de referência, a compensação ocorre somente até o valor de referência, que é cobrado na conta. • Se o consumo medido for menor do que o valor de referência, o consumidor paga o custo de disponibilidade.
	Ligação Monofásica: 30 kWh Ligação Bifásica: 50 kWh Ligação Trifásica: 100 kWh	Para projetos na regra de transição: • Se o consumo medido for maior que o valor de referência, ocorre toda a compensação do consumo sem a cobrança do custo de disponibilidade. • Se o consumo medido for menor do que o valor de referência, o consumidor paga o custo de disponibilidade. Exceção: o valor mínimo faturável aplicável aos microgeradores de até 1,2 kW com compensação no mesmo local da geração deve ter uma redução de até 50% em relação ao valor mínimo faturável aplicável aos demais consumidores equivalentes.

Fonte: GREENER, 2022.

Em síntese, os projetos com direito adquirido deixarão de pagar o custo de disponibilidade em duplicidade, como ocorre até o momento. A compensação de energia será somente até o limite em que o valor do faturamento for maior ou igual ao mínimo de referência.

Para os novos projetos que entrarão nas regras de transição, o consumidor pagará o custo de disponibilidade caso o seu consumo seja menor que o mínimo estabelecido. Para consumos maiores, não haverá a cobrança, mas a compensação será sobre o total do valor consumido.

A Lei passa a permitir também que unidades consumidoras do grupo A com geração local e potência nominal de 112,5 KVA podem ser faturadas como consumidores do Grupo B, eliminando o custo da demanda. Foi criada também uma Garantia de Fiel Cumprimento para a emissão do parecer de acesso para projetos acima de 500 kW, conforme regras mostradas em detalhe na Tabela 7 (BRASIL, 2022).

Tabela 7 - Custo de Disponibilidade: Lei 14.300/2022 versus REN 482/2012.

Item	REN 482/2012	Lei 14.300/2022 (Marco Legal MMD)
Garantia de Fiel Cumprimento	N/A	Exigência da Garantia de Fiel Cumprimento na emissão do parecer de acesso para projetos acima de 500 kW: • 2,5% do investimento para centrais com potência instalada superior a 500 kW e inferior a 1.000 kW; • 5% do investimento para centrais com potência instalada maior ou igual a 1.000 kW Projetos com potência instalada superior a 500 kW e que tiverem parecer de acesso válido na data de publicação da Lei devem em até 90 dias: ou aportar garantia de fiel cumprimento; ou celebrar o CUSD; ou desistir do parecer de acesso.
Permissionárias	N/A	Os excedentes de energia das unidades geradoras atendidas por permissionárias de energia elétrica podem ser alocados nas concessionárias de distribuição de energia elétrica onde a permissionária se encontra localizada.

Fonte: GREENER, 2022.

2.7.3. Demais Legislações

O setor fotovoltaico nacional conta com importantes legislações tributárias que concedem benefícios fiscais. Uma delas trata sobre isenções de ICMS, regida pelo Convênio 16/2015 do CONFAZ, no qual os consumidores são isentos de pagar o ICMS incidente na energia ativa consumida da rede e compensados por créditos oriundos de usinas de fontes renováveis de até 1 MW, em autoconsumo local ou remoto (CONFAZ, 2015).

O Estado de Minas Gerais, um dos pioneiros a adotar em grande escala a energia fotovoltaica, estabeleceu a Lei Estadual 22.549/2017 de 30 de junho de 2017 sobre o tema.

Essa lei é mais benéfica ao setor de geração distribuída solar fotovoltaica (UFV) que o supracitado Convênio. Isso porque ela permite a isenção de ICMS aos consumidores que possuam UFVs de até 5 MW, em qualquer uma das quatro modalidades de compensação (autoconsumo local, autoconsumo remoto, geração compartilhada e empreendimento de múltiplas unidades consumidoras). (RUBIM, 2022).

A isenção estava limitada inicialmente pelo período de 5 anos, em virtude da Lei Complementar 160 de 7 de agosto de 2017, e teria data prevista para terminar em 31/12/2022.

Por fim, os prazos que outrora foram estabelecidos pela Lei Complementar n.º 160/2017 foram prorrogados para 31 de dezembro de 2032 por meio da Lei Complementar n.º 186/2021 e atualmente incorporadas pelo Convênio ICMS n.º 68/2022. (TRIBUCI, 2022).

Em 14 de setembro de 2022 foi publicado o Decreto Estadual MG 48.506/2022 prorrogando a isenção de ICMS trazida pela Lei Mineira 22.549/2017 até 31/12/2032. Porém, o decreto também altera os valores do benefício, atendendo aos requisitos da legislação federal e ratificados pelo Convênio ICMS 68/2022, que traz consigo mudanças nos percentuais de isenção a partir de 01/01/2029 (RUBIM, 2022).

Dessa forma, as isenções serão parciais a partir do ano de 2029, com os percentuais mostrados na Tabela 8.

Tabela 8 - Convênio ICMS 68/2022: Isenção do ICMS (%).

Isenção do ICMS (%)	Período
100	Até 31 de dezembro de 2028
80	De 1º de janeiro de 2029 a 31 de dezembro de 2029
60	De 1ª de janeiro de 2030 a 31 de dezembro de 2030
40	De 1º de janeiro de 2031 a 31 de dezembro de 2031
20	De 1º de janeiro de 2032 a 31 de dezembro de 2032

Fonte: TRIBUCI, 2022.

Durante este ano, houve ainda uma redução na alíquota do ICMS, o que pode beneficiar os consumidores residenciais com uma queda de 10% nos valores das tarifas aplicadas.

Com a redução da alíquota do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços (ICMS) da energia elétrica a partir desta sexta-feira (1º) em Minas Gerais, o valor da conta de luz residencial terá uma queda de cerca de 10%, segundo cálculos da CEMIG, já no ciclo de consumo atual. O valor considera que a alíquota do ICMS cairá de 30% para 18% e já leva em conta o recente aumento de 5,22% da tarifa dos clientes residenciais, aprovado no último mês, aprovado no último mês pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). O comércio terá redução aproximada de 3% na conta, com a mudança do imposto, e a indústria não será afetada, porque a alíquota já era 18%. (RODRIGUES, 2022)

Com relação à legislação municipal da cidade de Três Corações, local em que o projeto em estudo foi instalado, temos a Lei Ordinária 4738/2022 de 30 de agosto de 2022 que entrará em vigor após 90 dias decorridos de sua publicação.

A Lei dispõe sobre a obrigatoriedade do Município de Três Corações a implantar sistema de captação e geração de energia solar fotovoltaica em todas as construções públicas, que forem realizadas no município a partir da data de vigência da lei (CÂMARA, 2022).

Existe também no município a Lei Complementar 538/2020 de 5 de outubro de 2020, que dispõe sobre a contribuição para o custeio do serviço de iluminação pública prevista no art. 149-A da Constituição Federal.

Segundo a Lei, os contribuintes que consumirem até 100 kWh/mês serão isentos da contribuição. Para os demais, será feito um cálculo mensal sobre o valor da Tarifa de Energia de Iluminação Pública (TEIP), aplicada pela CEMIG ao Município, incluindo-se acréscimos ou adições determinadas pela ANEEL, ou outro órgão que vier a substituí-la, conforme percentuais mostrados na Tabela 9. Nos casos de imóveis não consumidores de energia, ou lotes vagos, a cobrança será anual, podendo ser lançada diretamente com o IPTU ou qualquer outra forma de arrecadação estabelecida em legislação própria, e terá o valor de 2 Unidades Fiscais Municipais (UFM), aplicado sobre o valor vigente para a Unidade Fiscal do Município de Três Corações/MG, em dezembro do exercício anterior à constituição dos créditos, multiplicado por metro linear de testada do imóvel sofrendo a cada exercício as mesmas atualizações estabelecidas para a Unidade Fiscal.

Tabela 9 – Custeio de Iluminação Pública por faixa de consumo.

Faixas de Consumo (kWh)	% do Custeio IP
Até 100	0%
101-200	5%
201-300	8%
301-500	12%
501-1000	15%
1001-2000	20%
2001-3000	25%
3001-4000	30%
4001-5000	40%
> 5000	50%

Fonte: Três Corações (MG), 2020.

A Legislação municipal citada não traz, diretamente, mudanças sobre consumidores que possuem energia elétrica fotovoltaica instalada em seus imóveis. Porém, traz a possibilidade de que sejam beneficiados com a isenção da contribuição de iluminação pública, ou que paguem valores menores, dependendo do valor de kWh/mês consumido diretamente da rede elétrica, o que acontece em períodos em que não há produção de energia (à noite, dias nublados), ou quando ela não é suficiente para manter o consumo instantâneo.

2.8. Dimensionamento do Sistema – Equipamentos Necessários

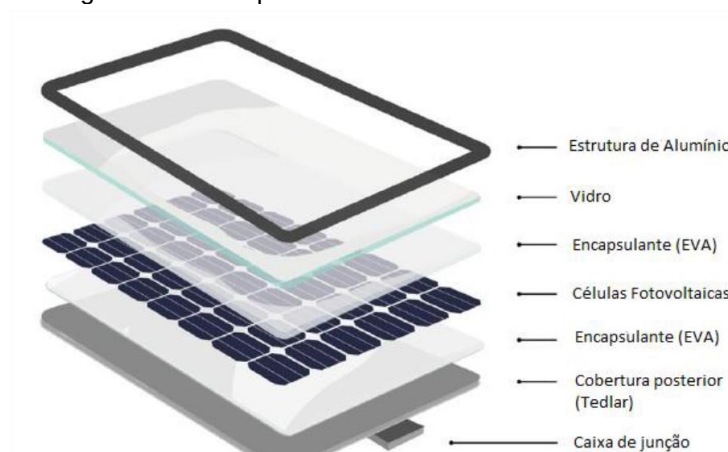
2.8.1. Módulos Fotovoltaicos

Um dos principais componentes para colocar um sistema fotovoltaico em funcionamento é o painel solar.

Sendo uma peça elementar do sistema de geração de energia, o painel solar fotovoltaico contém células solares interligadas eletricamente e encapsuladas, capazes de transformar a energia emanada dos fótons da luz do sol em energia elétrica. O efeito, chamado por fotovoltaico, é possível graças ao auxílio dos elétrons que estão na composição dessas células. (PHILIPPI JR.; REIS, 2016).

Na Figura 19, foram apresentados os componentes que formam um módulo fotovoltaico, sendo que temos em sua construção um material base (tedlar), um arranjo de células fotovoltaicas ligadas em série, material encapsulante, vidro de proteção mecânica, borda de alumínio para a fixação, proteção e isolamento contra intempéries e a caixa de junção, onde os terminais positivo e negativo das células são conectados e também se encontra o diodo de by-pass (ROSSO *et al.*, 2020).

Figura 19 – Componentes de um módulo fotovoltaico.



Fonte: ROSSO *et al.*, 2020.

Segundo a SUNENERGIA (2019), um dos modelos de painéis mais utilizados comercialmente apresenta a tecnologia de Silício Monocristalino PERC. Com a incorporação de uma folha na parte de trás da célula, ocorre uma melhor captação de luz solar e elétrons. Consequentemente, o painel consegue aumentar a produção de energia, adquirindo uma potência maior.

2.8.2. Microinversores

Para a utilização da energia solar gerada nos painéis fotovoltaicos, necessitamos de um item indispensável denominado por inversor. Sua função é transformar a energia produzida pelos módulos solares de corrente contínua (CC) para corrente alternada (CA), permitindo sua utilização nos aparelhos elétricos convencionais (MIRANDA, 2022). Ainda segundo MIRANDA (2022), há dois tipos de inversores solares, denominados por on-grid e off-grid.

Para o inversor solar on-grid, temos que ele possui a função de conectar o sistema fotovoltaico às redes das edificações, injetando energia na rede elétrica do local. Por esta razão, depende também do fornecimento de energia da rede pública, pois nos casos em que há falta de energia, o seu funcionamento é interrompido automaticamente em prol de evitar possíveis riscos de manutenção pelas companhias de energia.

Para os modelos de inversor solar on-grid, existe uma diferenciação entre modelos de inversores strings e microinversores. Os sistemas com microinversores apresentam instalação facilitada, pois permitem a colocação dos equipamentos logo abaixo dos painéis, não necessitando maiores alterações na residência quando comparadas com a instalação de inversores strings, também chamados por inversores de parede.

Segundo a SOLARITMA (2020), os microinversores apresentam uma série de vantagens comparados aos inversores strings, descritas na Figura 20.

Figura 20 - Diferenças entre microinversores e inversores strings.

DIFERENÇAS ENTRE O MICROINVERSOR DE TELHADO E O INVERSOR DE PAREDE		
CARACTERÍSTICAS	MICROINVERSOR DE TELHADO	INVERSOR DE PAREDE
OCUPA MENOS ESPAÇO	✓	✗
UTILIZA MENOS FIOS	✓	✗
PERMITE A DETECÇÃO DE EVENTUAIS FALHAS EM CADA MÓDULO INDIVIDUALMENTE	✓	✗
PERMITE O MONITORAMENTO INDIVIDUAL DE CADA PAINEL SOLAR	✓	✗
A PRODUÇÃO EM CADA MÓDULO É MAXIMIZADA	✓	✗
MAIOR FACILIDADE PARA EXPANSÃO DO SISTEMA	✓	✗
UTILIZAM SISTEMAS DE CA (CORRENTE ALTERNADA), QUE É MUITO MAIS SEGURO DO QUE CC (CORRENTE CONTÍNUA)	✓	✗
GARANTIA CONTRA FALHAS	MÉDIA DE 10 A 25 ANOS	MÉDIA DE 5 A 7 ANOS

Fonte: SOLARITMA, 2020.

Segundo a empresa APsystems (2016), uma das maiores fabricantes de microinversores no mundo, os seus equipamentos garantem máxima eficiência na extração de energia, sendo um produto confiável e de baixo custo para os clientes residenciais e comerciais.

Nosso produto em destaque, o APsystems YC500A é um Microinversor conectado à rede, com sistema de monitoramento inteligente que garante a máxima eficiência na extração de energia. Altamente confiável e de baixo custo, o YC500A opera com MPPT duplo, injetando até 250 W AC por painel fotovoltaico. A simplicidade do Microinversor e da instalação resultam numa economia de custo real para os clientes residenciais e comerciais. (APsystems, 2016).

2.8.3. Cabo de Terminação AC para Microinversores YC500

Utiliza-se este cabo para a finalização da string de microinversores, permitindo uma conexão segura e prática na caixa de junção AC. Com 2 (dois) metros de comprimento, permite o arranjo de inversores e a caixa de junção AC. Possui também para sua faixa de operação o intervalo entre -40 °C e 90 °C.

2.8.4. Terminal de proteção para cabos dos microinversores YC500

Funciona como capa de proteção para os cabos do Microinversor APsystems, evitando intercorrências causadas por fatores externos ao sistema elétrico. O terminal é utilizado para selar a extremidade dos cabos troncos que não estejam utilizadas com microinversores, garantindo também uma proteção a prova de água para a extremidade.

2.8.5. Suporte painel solar telha cerâmica

O suporte para módulos de fixação em telhados cerâmicos é produzido em perfis especiais de alumínio, contendo também acessórios de fixação que permitem a instalação de módulos fotovoltaicos em telhados com telhas romanas, italianas ou francesas. Recomenda-se a fixação dos módulos solares na posição retrato, pois na instalação na posição paisagem, ocorre desperdício de componentes.

O suporte é dimensionado respeitando as cargas de vento, com produzidos de aço zincado e as Vigas e Clamp's em alumínio 6063-T6 de alta resistência. Entre os componentes do suporte, encontra-se: trilhos fotovoltaicos, produzidos em alumínio anodizado, grampos intermediários em alumínio para travamento dos módulos entre si, grampos de cabeceira em alumínio para travamento dos módulos, ganchos em aço zincado para fixação dos trilhos em telhados com telhas romanas, italianas ou francesas.

2.8.6. Interface de monitoramento Wi-fi para microinversores YC500 - APsystems (ECU)

A Unidade de Comunicação de Energia da APsystems (ECU) é o equipamento que permite monitorar e coletar dados dos microinversores em tempo real, para cada módulo fotovoltaico individualmente. Sua instalação requer simplesmente que o equipamento seja plugado em qualquer tomada de parede e configurada uma conexão Ethernet ou Wi-Fi com roteador de banda larga ou modem. Após a instalação, a ECU recebe automaticamente as informações dos microinversores, que são encaminhadas para o servidor online da unidade de Monitoramento e Análise de Energia (EMA). O software EMA exibe tendências de desempenho, informa sobre eventos anormais e controla o desligamento do sistema quando é necessário (APsystems, 2019).

Entre as principais especificações fornecidas pela fabricante, estão:

comunicação Interface: Wi-Fi 802.11g/n e Ethernet 10/100M, saída corrente alternada (CA): 110-240 VAC, 50-60 Hz, consumo de potência: 2,5 W, dimensões (L × A × D) 182 mm × 113 mm × 42 mm e peso de apenas 380 g.

3. METODOLOGIA

3.1. Consumo Energético Mensal

Para o dimensionamento dos sistemas fotovoltaicos, torna-se necessário conhecer o perfil de consumo do cliente, e suas eventuais necessidades de expansão ao longo do período de utilização do projeto.

Para a etapa de pré-dimensionamento, a empresa responsável pela execução e instalação do sistema fotovoltaico solicitou cópia da conta de energia elétrica do imóvel, contendo o histórico de consumo mensal (Figura 21) em kWh dos últimos 12 meses anteriores ao mês de instalação do projeto, para a verificação do consumo médio da residência e dimensionamento do sistema, conforme a Equação 1:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{12} x_i}{12} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_{12}}{12} \text{-----(1)}$$

Onde:

$\bar{x}$: média dos meses em kWh;

x_i : consumo em kWh ocorrido nos meses da amostra.

Figura 21 - Histórico de Consumo Mensal.

Histórico de Consumo				
MÊS/ANO		CONSUMO kWh	MÉDIA kWh/Dia	Dias
MAR/19		143	4,46	32
FEV/19		129	4,30	30
JAN/19		145	4,53	32
DEZ/18		123	4,10	30
NOV/18		118	4,06	29
OUT/18		130	4,06	32
SET/18		121	3,78	32
AGO/18		113	3,53	32
JUL/18		101	3,48	29
JUN/18		112	3,86	29
MAI/18		115	3,59	32
ABR/18		110	3,66	30
MAR/18		100	3,70	27

Fonte: CEMIG (2019).

Porém, foi informado ao responsável da empresa que o sistema precisava ser

dimensionado para produzir mensalmente ao menos 250 kWh/mês, pois havia um planejamento futuro de aquisição de novos equipamentos elétricos, com consequente aumento do consumo de energia elétrica. Logo, o consumo real do momento em que houve a instalação foi desconsiderado, mas estudado em um dos modelos de análise de payback.

Para a verificação do consumo atual, foi realizada uma listagem de todos os equipamentos elétricos existentes na residência, estimando o consumo em kWh (conforme potência nominal especificada nos manuais dos respectivos fabricantes) e o tempo de utilização em horas para cada equipamento, ao longo de um período de 30 dias.

Essa verificação foi utilizada em um dos modelos da análise de payback, e calculada utilizando a Equação 2. Ao final, foi realizado um somatório de todos os consumos individuais encontrados para os equipamentos existentes na residência.

$$E_i = \frac{P \cdot H \cdot d}{1000} \text{-----}(2)$$

Onde:

E_i : energia consumida por equipamento em kWh/mês;

P: potência nominal do equipamento em Watts (W);

H: horas de uso por dia (h);

d: número de dias utilizados no mês;

Ressalta-se que a construção da residência ocorreu durante o ano de 2011, e conta com 180 m² de construção, cujos cômodos são: 3 quartos (1 destes com suíte), 3 banheiros, sala, cozinha, circulação, depósito, garagem e área de serviço. Para fins de cálculos da demanda de energia elétrica e análise do sistema fotovoltaico, não foi considerado o chuveiro, uma vez que a residência apresenta formas alternativas como aquecimento a gás para a água consumida no banho.

3.2. Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico

Para o dimensionamento do sistema fotovoltaico, foi realizada a procura por um kit de equipamentos com painéis monocristalinos e microinversores, capaz de atender à demanda mensal média esperada de 250 kWh/mês.

A estimativa para a produção de energia mensal por painel fotovoltaico foi determinada utilizando a Equação 3:

$$P_r = I_{inc} \cdot A \cdot E_m \cdot E_{inv} \cdot d \text{ -----(3)}$$

Onde:

P_r : estimativa mensal de produção em kWh;

I_{inc} : irradiação solar média anual no plano inclinado, em kWh/m².dia;

A: área dos módulos fotovoltaicos em m², conforme informações do fabricante;

E_m : eficiência do módulo conforme datasheet;

E_{inv} : eficiência do microinversor conforme datasheet;

d: 30 dias de produção.

O número mínimo de painéis necessários (n) foi obtido por meio da Equação 4, em que é realizada a divisão da produção mensal desejada pelo valor de produção estimada por painel, arredondando o valor encontrado para o número inteiro superior, se necessário.

$$n = \frac{250}{P_r} \text{ -----(4)}$$

Para a execução do projeto, foram adquiridos painéis solares da marca CanadianSolar modelo SUPERPOWER CS6K-305MS, de silício monocristalino e potência nominal de 305 W. A escolha do módulo foi baseada no histórico positivo de vendas da fabricante no Brasil, da grande disponibilidade no mercado e do custo, além de ser compatível com o modelo de microinversor utilizado no sistema.

Na Figura 22, foi mostrada a representação do módulo, em que é possível observar a coloração mais escura das células (característica do silício monocristalino), o número de células do painel e sua moldura em alumínio.

Figura 22 - Módulo Fotovoltaico Monocristalino.



Fonte: CanadianSolar, 2016.

Como modelo de inversor, foram instalados microinversores APsystems

YC500A, de 500 W cada, conectados à rede (on-grid) sem a necessidade de utilizar baterias. A escolha foi baseada na facilidade de instalação do sistema fotovoltaico com microinversores, pois não houve, desta forma, necessidade de realizar mudanças estruturais na residência.

Os microinversores apresentam como vantagem técnica, a possibilidade de rendimento energético e o monitoramento do sistema por painel fotovoltaico, de forma individualizada. O APsystems YC500A possui 2 entradas MPPT, permitindo a conexão de 2 painéis fotovoltaicos que atendam às especificações técnicas da fabricante, como limite de voltagem de operação, correntes de curto-circuito e circuito aberto, entre outras características.

Foi realizada também representação do diagrama unifilar, mostrando como os principais componentes do sistema elétrico estão conectados, com os equipamentos necessários e suas proteções. O medidor da residência foi trocado pelo modelo bidirecional com proteção geral com disjuntor termomagnético bipolar de 60 A.

3.3. Análises de Rendimento do Sistema Fotovoltaico

A análise do rendimento energético do sistema fotovoltaico foi realizada com a utilização do software PV*SOL premium 2023 (R1), versão de testes por tempo limitado (2022). A ferramenta possibilita uma correta escolha e instalação do sistema fotovoltaico, conforme características estruturais e geográficas da unidade residencial em que o sistema foi implantado. Sua aplicação permite também uma análise de indicadores econômicos de payback e TIR, cujos resultados apontam o grau de viabilidade do projeto executado.

Para critérios de estudo, foram elaborados modelos econômicos considerando os consumos reais de energia elétrica desde o momento da instalação do sistema fotovoltaico, um modelo considerando o consumo atual e outro como se toda a energia produzida ao longo dos anos fosse consumida em sua totalidade.

Por fim, foi realizado um estudo do impacto financeiro causado no payback devido às alterações impostas na Lei 14.300/2022 para as instalações solicitadas a partir de 8 de janeiro de 2023 junto às distribuidoras de energia elétrica, considerando o consumo atual de energia da residência e as alterações de valor financeiro da tarifa da energia compensada, conforme Equações 5 e 6 divulgadas pela ANEEL (2022):

$$\%Red_{TUSD} = 1 - \frac{x_i\% \cdot Fio_B}{TUSD} \text{-----}(5)$$

Onde:

$\%Red_{TUSD}$: fator de redução da TUSD;

$x_i\%$: percentual pago sobre o Fio_B , conforme Tabela 2;

Fio_B : valor divulgado pela ANEEL, conforme a distribuidora de energia e tarifas vigentes;

$TUSD$: valor divulgado pela ANEEL, conforme a distribuidora de energia e tarifas vigentes.

$$Fat_{En.C} = Con_{En.C} \cdot [(1 - \%Red_{TUSD}) \cdot TUSD] \text{-----}(6)$$

Onde:

$Fat_{En.C}$: faturamento em Reais da energia compensada;

$Con_{En.C}$: quantidade de energia em kWh compensada da rede;

Como suporte para a análise realizada, também foram extraídos dados estatísticos da plataforma de monitoramento da produção de energia elétrica, fornecida pela fabricante APsystems.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Dimensionamento do Projeto

O projeto do sistema solar fotovoltaico foi dimensionado e instalado durante o ano de 2019. Foram realizadas pesquisas de mercado na época da instalação para procurar Kits Fotovoltaicos que melhor atendessem a edificação, tanto no aspecto técnico quanto econômico.

Primeiramente, foi realizada uma verificação do consumo médio mensal em kWh da residência, utilizando a Equação 1 e os dados de consumo entre os meses de março de 2018 a fevereiro de 2019, extraídos do histórico de consumo da fatura de energia (Figura 21).

$$\bar{x} = \frac{100+110+115+112+101+113+121+130+118+123+145+129}{12} = 118,08 \text{ kWh/mês}$$

O consumo de 118,08 kWh/mês foi desconsiderado na etapa de dimensionamento, pois era inferior ao valor de 250 kWh/mês desejado. Entre os anos de 2019 e 2022, foram adquiridos novos equipamentos elétricos, o que elevou o patamar de consumo de energia elétrica da residência.

Para a verificação do consumo atual, foi realizado um levantamento de todos os equipamentos elétricos existentes na residência, e utilizada a Equação 2 para o cálculo de consumo individual por equipamento e posterior somatório para encontrar o consumo geral, conforme tabela da Figura 23.

Figura 23 – Previsão de consumo mensal (kWh).

CÔMODO	QTD	EQUIPAMENTO	POTÊNCIA	USO DIÁRIO	TEMPO	KWH/MÊS
SALA	1	ILUMINAÇÃO	10	2	HORAS	0,6
	1	TELEVISÃO 65	195	2	HORAS	11,7
	1	RECEPTOR SATÉLITE	40	2	HORAS	2,4
	1	VENTILADOR	150	2	HORAS	9
SUÍTE	1	ILUMINAÇÃO	10	2	HORAS	0,6
	1	TELEVISÃO 48	110	2	HORAS	6,6
	1	AR CONDICIONADO	815	80	MINUTOS	32,6
QUARTO	1	ILUMINAÇÃO	10	5	HORAS	1,5
	1	NOTEBOOK	60	10	HORAS	18
LAVANDERIA	1	ILUMINAÇÃO	10	1	HORAS	0,3
	1	MÁQUINA DE LAVAR	580	15	MINUTOS	4,35
	1	FERRO DE PASSAR	1000	15	MINUTOS	7,5
GARAGEM	1	ILUMINAÇÃO	10	30	MINUTOS	0,15
	1	PORTÃO ELÉTRICO	180	5	MINUTOS	0,45
COZINHA	2	ILUMINAÇÃO	10	5	HORAS	3
	1	GELADEIRA	71	24	HORAS	51,12
	1	FREEZER	76	24	HORAS	54,72
	1	LIQUIDIFICADOR	700	5	MINUTOS	1,75
	1	BATEDEIRA	600	5	MINUTOS	1,5
BANHEIROS	3	ILUMINAÇÃO	10	30	MINUTOS	0,45
	1	SECADOR DE CABELO	1000	5	MINUTOS	2,5
	3	CHUVEIROS	5500	0	HORAS	0
ÁREA EXTERNA	1	CERCA ELÉTRICA	10	24	HORAS	7,2
	1	LAVADORA ALTA PRESSÃO	1200	5	MINUTOS	3
	1	ILUMINAÇÃO	10	1	HORAS	0,3
TOTAL						221,29

Fonte: O AUTOR, 2022.

Observa-se que o consumo atual encontrado, de 221,29 kWh/mês, está bastante próximo ao valor de produção que foi desejado no dimensionamento do projeto.

No sistema foram instalados 6 painéis solares da fabricante CanadianSolar modelo CS6K-305MS e 3 microinversores da fabricante APsystems modelo YC500A. Na Figura 24 temos os painéis desembalados na garagem da residência.

Figura 24 – Módulos Fotovoltaicos CanadianSolar - CS6K-305MS.



Fonte: O AUTOR, 2019.

A produção estimada pelos painéis e o quantitativo de módulos necessários foi obtida por meio das Equações 3 e 4, na qual se encontrou um número mínimo de 6 painéis e produção mensal estimada de 265,68 kWh, considerando o mês de 30 dias, conforme cálculos realizados.

$$P_r = \frac{5,085 \text{ kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{dia}} \cdot 1,64 \text{ m}^2 \cdot 0,1863 \cdot 0,95 \cdot 30 = 44,28 \frac{\text{kWh}}{\text{mês}}$$

$$n = \frac{250}{44,28} = 5,65 \Rightarrow 6 \text{ (adotado)}$$

Foram considerados a irradiação média anual no plano inclinado para o município de Três Corações de 5085 Wh/m².dia, sua latitude de 21,705°S e o telhado com inclinação de 22°, sendo esta medida pela empresa responsável pela execução do projeto e utilizada na instalação dos painéis fotovoltaicos (ângulo de inclinação com a horizontal muito próximo ao de latitude local). Ademais, foram utilizados os dados

de área, da eficiência dos painéis e dos microinversores fornecidos nos manuais dos respectivos fabricantes.

Ressalta-se que a residência onde o projeto foi instalado localiza-se na área central do município, cujo código de identificação ID no mapa da Figura 17 é 8306, a ser utilizado para a consulta das radiações na plataforma.

As principais especificações do módulo CS6K-305MS foram apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 - Especificações técnicas do módulo CS6K-305MS

DADOS DO MÓDULO FOTOVOLTAICO CS6K-305MS	
Potência máxima (P _{max})	305 Wp
Número de células	60
Eficiência do Módulo	18,63%
Tensão em circuito aberto (V _{oc})	39,9 V
Tensão de Pico (V _{mpp})	32,7 V
Corrente de curto-circuito (I _{sc})	9,91 A
Corrente de Pico (I _{mpp})	9,33 A
Voltagem máxima do sistema	1000 V
Tipo de célula	Silício Monocristalino PERC
Dimensões painel	1650 x 992 x 35 (mm)
Moldura	Alumínio
Peso	18,2 kg

Fonte: adaptado de CANADIAN SOLAR, 2019.

Um importante detalhe é que este modelo de painel apresenta também a tecnologia de Silício Monocristalino PERC. Segundo a SUNENERGIA (2019), painéis PERC conseguem apresentar melhor desempenho em ambientes de pouca luz do que os demais tipos de painéis mono e policristalinos. As células também geram menor quantidade de calor, melhorando o desempenho em latitudes mais baixas que apresentam as maiores temperaturas.

A residência em que o projeto foi instalado está conectada à rede de baixa tensão da Concessionária CEMIG, fazendo parte da classe residencial bifásico e modalidade tarifária Convencional B1.

Para atender aos pré-requisitos de instalação de um sistema de energia fotovoltaica conectada à rede da concessionária local, foram escolhidos para o sistema três microinversores on-grid modelo YC500A da fabricante Apsystems.

No Quadro 2, estão apresentadas as principais especificações fornecidas pela fabricante para o microinversor escolhido.

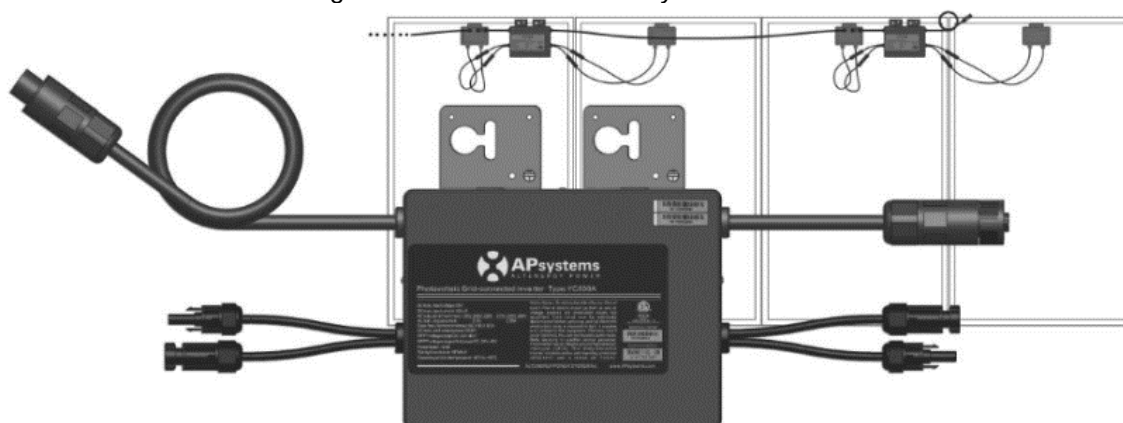
Quadro 2 - Especificações técnicas do microinversor YC500A

DADOS DO MICROINVERSOR YC500A	
Faixa de Tensão MPPT	22 V - 45 V
Faixa de Tensão de Operação	16 V - 52 V
Tensão Máxima de Entrada	55 V
Tensão de Partida	22 V
Corrente Máxima de Entrada	12A x 2
Potência Máxima de Saída	500 W
Tensão Nominal de Saída	220 V
Corrente Nominal de Saída	2.27 A
Eficiência de Pico	95.5%
Consumo de Potência Noturna	120 mW
Faixa de Temperatura de Operação Ambiente	-40°C até +65°C
Dimensões (L x A x P)	221 mm x 167 mm x 29 mm
Peso	2.5kg

Fonte: adaptado de APsystems, 2016.

Na Figura 25, foi mostrada a representação do microinversor, com seu croqui de instalação.

Figura 25 - Microinversor APsystems YC500A.



Fonte: Apsystems, 2016.

As informações técnicas do painel fotovoltaico e do microinversor foram destacadas porque o sistema necessita de compatibilidade para que possa ser instalado. Podemos observar que o microinversor suporta corrente máxima de entrada de 12 A por MPPT e faixa de corrente de 22 V – 45 V também por MPPT. Caso o painel apresentasse corrente de pico e tensão de pico com valores superiores, o modelo não seria compatível com o microinversor modelo YC500A.

4.2. Características da Instalação

O sistema fotovoltaico estudado encontra-se instalado em uma unidade residencial, localizada no município de Três Corações – MG, próxima à área central,

onde na Figura 26 foi mostrada a vista aérea do telhado da residência, com os painéis instalados.

Figura 26 - Vista aérea do telhado da residência.



Fonte: Google Maps, 2022.

A instalação iniciou-se com a montagem das estruturas de fixação dos painéis solares no telhado. O primeiro passo foi montar em solo os ganchos em aço zincado, utilizados para a fixar os trilhos nos telhados coloniais. Ele é composto por uma peça perfurada, peça em S, peça em L, porcas e parafusos, conforme Figura 27.

Figura 27 - Ganchos de fixação dos suportes para módulos fotovoltaicos.



Fonte: O AUTOR, 2019.

Os ganchos foram levados para o telhado, onde foram fixados nas vigas de

madeira. Para este procedimento, foi necessário retirar algumas telhas e realizar os furos nas vigas nas quais os parafusos estruturais foram fixados, conforme Figura 28.

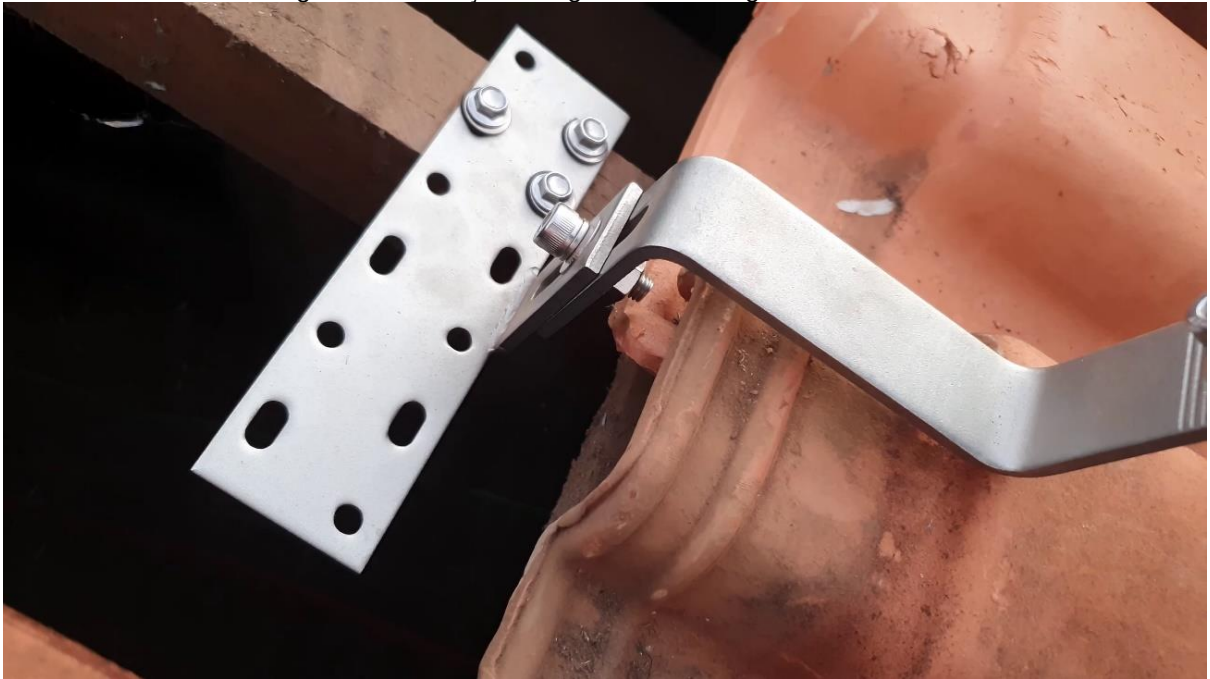
Figura 28 – Furos nas vigas de madeira.



Fonte: O AUTOR, 2019.

Na figura 29 temos o gancho zincado fixado na madeira.

Figura 29 – Fixação dos ganchos nas vigas de madeira.



Fonte: O AUTOR, 2019.

Em seguida, as telhas foram recolocadas e os trilhos foram fixados sobre os ganchos. Ressalta-se que foram utilizados 2 trilhos com comprimento de 2,10 m e 2 trilhos com comprimento de 4,20 m, para alocar os 6 painéis fotovoltaicos alinhados horizontalmente. Ao todo, foram utilizados 10 ganchos para o suporte dos trilhos.

Os painéis foram fixados sobre os trilhos com a utilização de grampos finais e intermediários, com parafusos autobrocantes para perfurar os trilhos. Entre um painel e outro, foi deixado um espaçamento de 3 cm.

Na Figura 30 temos uma imagem da disposição dos painéis colocados sobre o telhado.

Figura 30 – Disposição dos módulos fotovoltaicos instalados no telhado da residência.



Fonte: O AUTOR, 2019.

Prosseguindo com a instalação, os 3 microinversores APsystems foram fixados nas vigas de madeira abaixo da estrutura do telhado, posicionados de forma que possibilitasse cada microinversor ser conectado a 2 módulos fotovoltaicos sequenciais.

A Figura 31 apresenta um dos microinversores posicionado abaixo do telhado. A conexão entre o microinversor e cada painel é feita conectando os terminais macho de um com o terminal fêmea do outro, enquanto a conexão entre os microinversores ocorre com a utilização do cabo tronco, realizando uma ligação em paralelo.

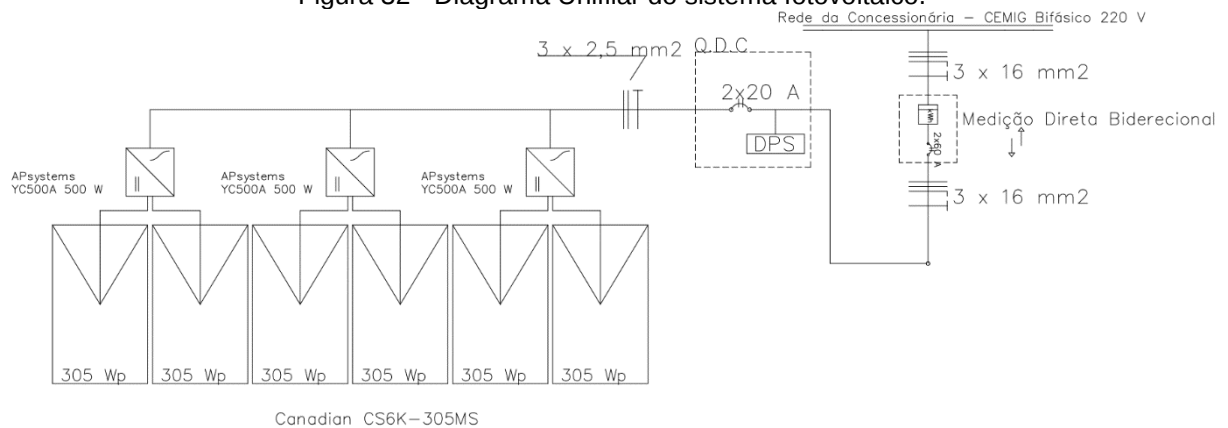
Figura 31 - Microinversor fixado na estrutura de madeira.



Fonte: O AUTOR, 2019.

Para uma melhor compreensão do sistema fotovoltaico instalado na residência, foi mostrado na Figura 32 o diagrama unifilar, elaborado com a utilização do software *Autocad versão estudante* (2022).

Figura 32 - Diagrama Unifilar do sistema fotovoltaico.

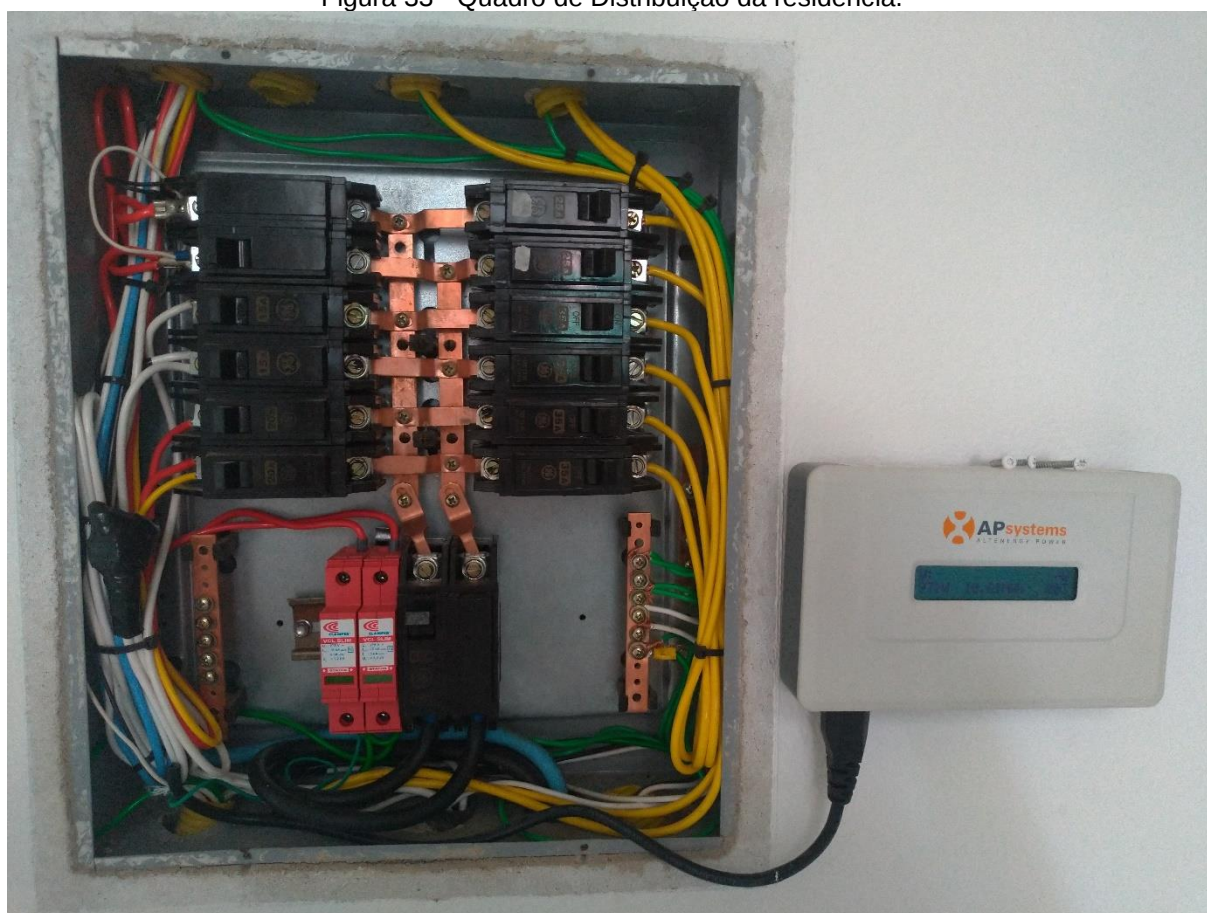


Fonte: O AUTOR, 2022.

A conexão final da parte elétrica do sistema ocorreu com a utilização de fios de cobre de 2,5 mm², com eletroduto específico para o circuito fotovoltaico de 16 mm e 2 disjuntores termomagnéticos (DTM) de 20A, atendendo às especificações mínimas da ABNT NBR 5410:2004. A corrente nominal esperada no circuito corresponde à soma das correntes nominais dos 3 microinversores conectados em paralelo, totalizando um valor de 13,6 A conforme especificações da fabricante APsystems em seu manual.

Por fim, foi realizada a ligação de 3 fios de cobre (FASE + FASE + TERRA) com o cabo de Terminação AC dos microinversores. O circuito foi levado até o quadro de distribuição da residência (Figura 33), onde foi conectado a 2 disjuntores termomagnéticos (DTM). Ao lado do quadro de distribuição, também foi instalada a interface de monitoramento da APsystems.

Figura 33 - Quadro de Distribuição da residência.



Fonte: O AUTOR, 2022.

4.3. Sistema de Monitoramento

O sistema fotovoltaico foi instalado na residência em março de 2019. Foi criado também um cadastro do cliente na plataforma da APsystems, informando endereço da residência, dados do proprietário, número de série dos microinversores e a disposição dos módulos fotovoltaicos conforme localizado no telhado do domicílio. No Anexo A, foi mostrada a planta de cobertura da residência, com o detalhamento descrito.

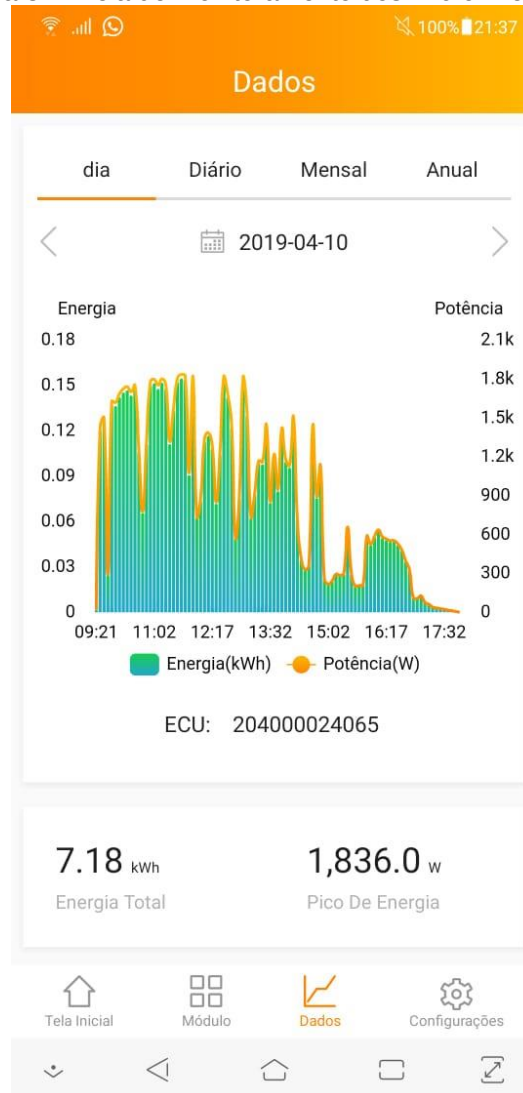
A plataforma é bastante intuitiva, e permite um monitoramento em tempo real de toda a produção do sistema, por painel solar e microinversor. Os dados ficam armazenados ao longo do tempo e fornecem uma completa série histórica do funcionamento dos equipamentos.

Após a instalação, o sistema ficou desligado até que a CEMIG realizasse, dentro do prazo de 30 dias, vistoria e troca do medidor para o modelo bidirecional, adequado para as medições de energia injetada e compensada na rede elétrica. A troca ocorreu sem custos para o cliente, conforme regras da Resolução Normativa nº

482 (ANEEL).

Na Figura 34, foram mostradas as correlações entre a energia produzida em kWh por intervalo de tempo e a potência instantânea fornecida pelo conjunto de painéis e microinversores em kW. Estas informações encontram-se no aplicativo EMA App, fornecido pela fabricante dos microinversores Apsystems.

Figura 34 - Tela de monitoramento dos microinversores.



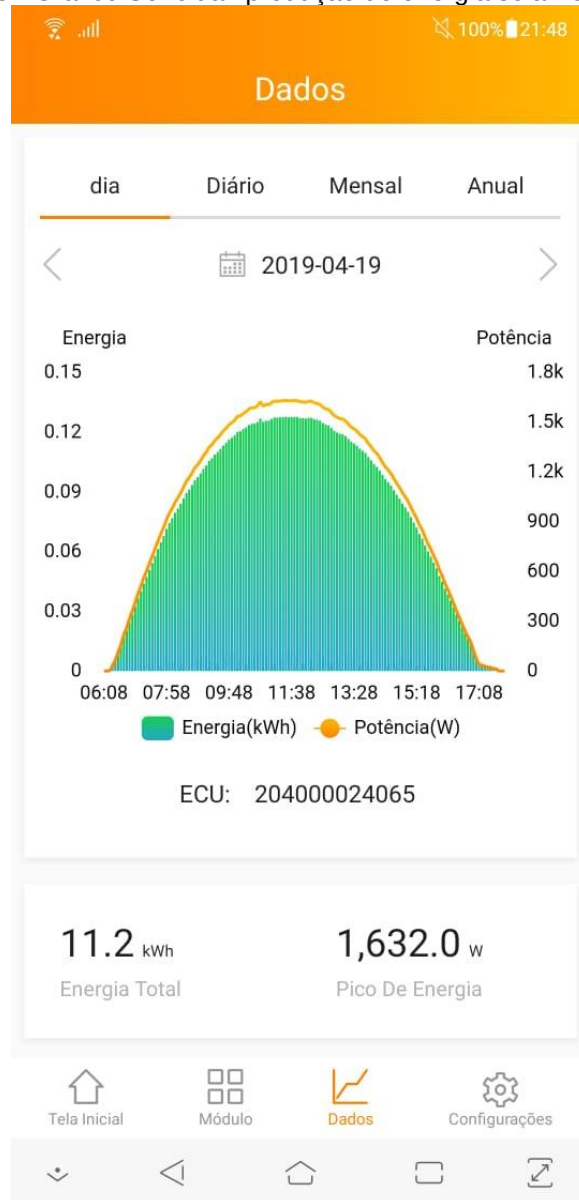
Fonte: O AUTOR, 2022.

Pelas informações da Figura 34, foi observado que o comportamento da curva de potência estava bastante irregular, não seguindo o padrão senoidal. Com 7,18 kWh produzidos no dia, o pico máximo de potência foi de 1836 W, mas os valores sofreram quedas constantes. Este comportamento estava relacionado com a necessidade de ajustes de voltagem e corrente máxima de entrada indicados no manual do fabricante, pois a instalação dos módulos fotovoltaicos ocorreu com fator de potência dos

módulos acima do suportado pelo modelo de microinversor.

Após os ajustes, foi verificado que a curva de produção se normalizou, sendo que a medição diária realizada no dia 19/04/2019 atingiu o padrão senoidal, indicando 11,2 kWh no dia com pico máximo de potência em 1632 W, conforme apresentado na Figura 35.

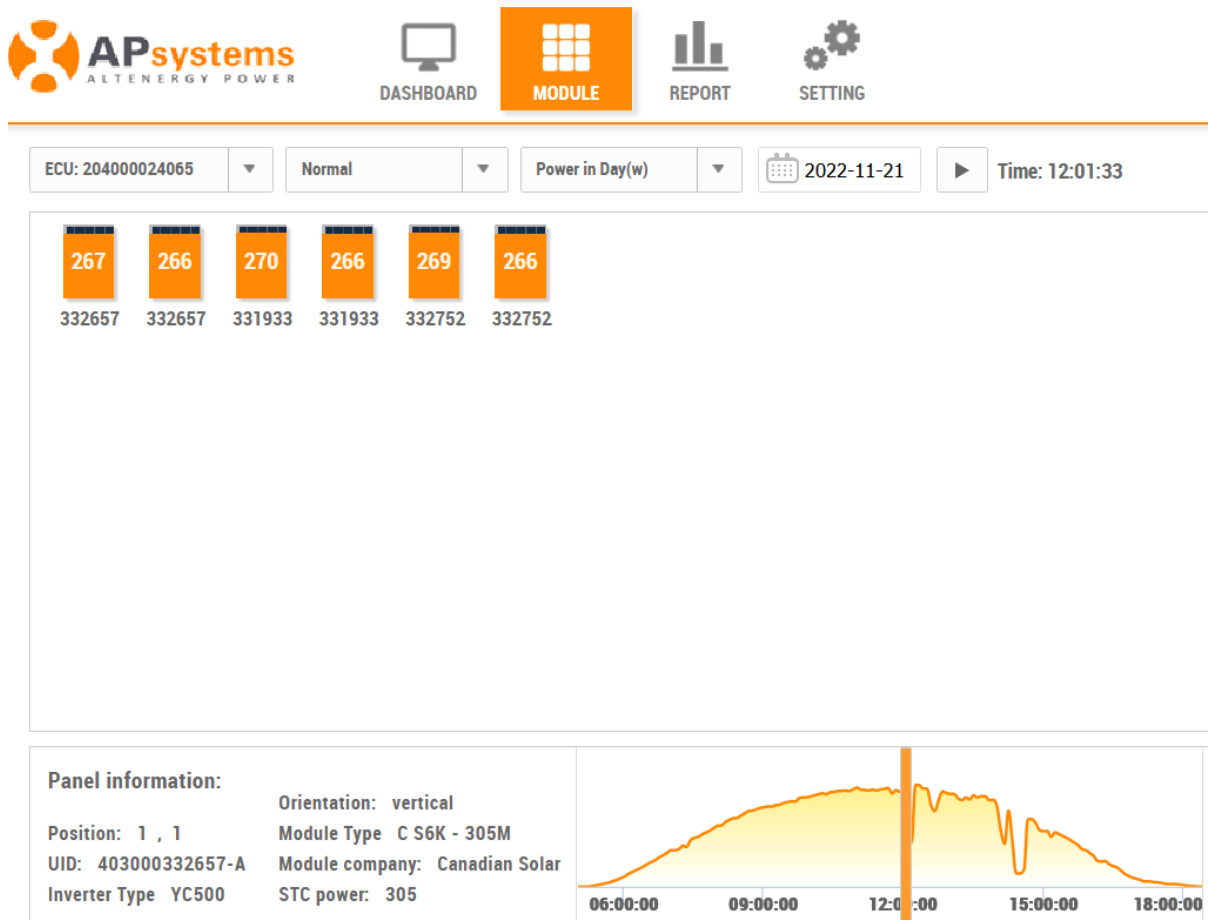
Figura 35 - Gráfico Senoidal: produção de energia solar fotovoltaica.



Fonte: O AUTOR, 2022.

Ademais, verifica-se que o monitoramento em tempo real (Figura 36), onde estão descritos sequencialmente os 6 painéis fotovoltaicos instalados, facilita identificar possíveis problemas, realizar testes e acionar a garantia do equipamento, se necessário.

Figura 36 – Monitoramento em tempo real dos módulos fotovoltaicos.



Fonte: O AUTOR, 2022.

Os resultados de produção de energia elétrica armazenado no histórico mensal de dados da usina foram extraídos na plataforma da APsystems desde o ano de 2019 até o momento. Para o ano de 2019, devem ser desconsiderados os dados de janeiro a abril, pois a usina foi instalada em março e não estava homologada para uso contínuo até a troca do medidor, como informado anteriormente. Os dados de novembro e dezembro de 2022 também precisam ser desconsiderados, pois o mês de novembro ainda estava em andamento, na data de confecção do relatório.

Na tabela da Figura 37, foram apresentados os dados de produção mensal por ano, de produção esperada e do percentual produzido mensal. Para fins de cálculo, foram utilizados os dados de irradiação no plano inclinado mensal para o município de Três Corações, com a quantidade exata de dias existente para cada mês, conforme calendário. Os dados foram obtidos utilizando as Equações 3 e 4.

Para o percentual produzido, foi realizada a divisão entre o valor de produção no respectivo período pelo valor de produção esperada, com resultados apresentados em percentuais.

Figura 37 – Estatísticas de produção do sistema fotovoltaico.

Mês	Irradiação Mês (Wh/m ² .dia)	Produção Esperada (kWh)	2019 (kWh)	Percentual Produzido	2020 (kWh)	Percentual Produzido	2021 (kWh)	Percentual Produzido	2022 (kWh)	Percentual Produzido
Janeiro	4942	266,29	Sem Informação		234,5	88,06%	265,86	99,84%	214,71	80,63%
Fevereiro	5401	262,85			188,95	71,88%	206,87	78,70%	199,94	76,06%
Março	5014	270,17	4,23	1,57%	275,66	102,03%	262,97	97,34%	261,65	96,85%
Abril	5230	272,71	181,61	66,59%	251,36	92,17%	267,52	98,10%	241,1	88,41%
Maio	4773	257,18	232,06	90,23%	241,63	93,95%	226,9	88,23%	232,67	90,47%
Junho	4662	243,10	245,44	100,96%	218,96	90,07%	215,73	88,74%	210,34	86,53%
Julho	4902	264,13	271,5	102,79%	242,32	91,74%	248,24	93,98%	250,26	94,75%
Agosto	5634	303,57	247,5	81,53%	251,15	82,73%	248,07	81,72%	236,87	78,03%
Setembro	5385	280,80	260,39	92,73%	255,65	91,04%	244,05	86,91%	224,49	79,95%
Outubro	5270	283,96	289,65	102,00%	227,98	80,29%	187,34	65,97%	244,17	85,99%
Novembro	4794	249,98	225,06	90,03%	260,28	104,12%	238,76	95,51%	164,89	65,96%
Dezembro	5016	270,27	250,94	92,85%	218,14	80,71%	226,61	83,84%	Sem Informação	
Total Anual	5085	3226,18	2208,38	68,45%	2866,58	88,85%	2838,92	88,00%	2481,09	76,90%

Fonte: O AUTOR, 2022.

Pelos dados, foi observado que os valores de produção oscilaram bastante ao longo dos meses e anos. Tomando como exemplo o mês de outubro de 2019, temos que a produção de energia elétrica foi de 289,65 kWh, maior valor mensal de toda a série histórica do sistema até o momento. Porém, em outubro de 2021 (mesmo mês), tivemos a produção de apenas 187,34 kWh, demonstrando as diferenças ao longo do tempo. Em pesquisa realizada na plataforma de monitoramento de Precipitações Totais (mm) fornecida pelo INPE (2022), é possível observar que em outubro de 2021 choveu entre 150,1 mm à 200 mm na região de Três Corações, enquanto em outubro de 2019, o índice foi bem menor e ficou entre 25,1 mm à 50 mm.

Para os anos de 2020 e 2021, foi verificado que as informações estão completas para os 12 meses. É importante relatar que apesar das alterações de produção ao longo do tempo, os valores de produção total para os anos de 2020 e 2021 ficaram muito próximos de 2850 kWh/ano.

As alterações na produção fotovoltaica ocorrem principalmente por modificações climáticas e diferenças de irradiação solar nas estações do ano. Uma vez que temos períodos com maior incidência de chuvas e até mesmo tempo bastante nublado, os valores de irradiação em Wh/m².dia também oscilam ao longo dos meses. Porém, o sistema alcançou eficiência de pelo menos 88% para os anos de 2020 e 2021 em relação à produção anual esperada, que será verificada na análise de tempo de retorno do investimento.

4.4. Análise de Tempo de Retorno do Investimento (PayBack)

4.4.1. Parâmetros de Configuração do Software PV*SOL

Para uma completa análise do tempo de retorno do investimento inicial, da

modelagem e da verificação energética do sistema fotovoltaico instalado na residência foi utilizado o software PV*SOL premium 2023 (R1).

Para utilização do software pela primeira vez foi necessário fazer uma configuração inicial para as opções de programa e de projeto, definindo os dados de cadastro do usuário como nome, endereço, características da rede de corrente alternada fornecida pela CEMIG e as definições dos parâmetros de simulação.

Destaca-se, na Figura 38, que a residência possui rede bifásica de 220 V. O software traz ainda um dado padrão de redução de CO₂ em 470 g/kWh, em função da utilização do sistema fotovoltaico.

Figura 38 - Dados da Rede Bifásica da residência.

Opções

- Opções do programa
 - Usuário
 - Avançado
 - Base de dados
 - Resetar as definições de fábrica
- Opções do projeto
 - Rede c.a.
 - Simulação
 - Limites de configuração
 - Configuração automática
 - Relatório
 - Resultados da simulação

Tensão da rede entre fase e neutro: 220 V

Quantidade de fases: 2-fásico

Fator de potência (cos ϕ): +/- 1,00

☐ Limitação da potência de injeção: 70 % da potência

☐ no inversor

☒ no ponto de injeção

Redução de CO₂ específica devido: 470 g/kWh

Fonte: O AUTOR, 2022.

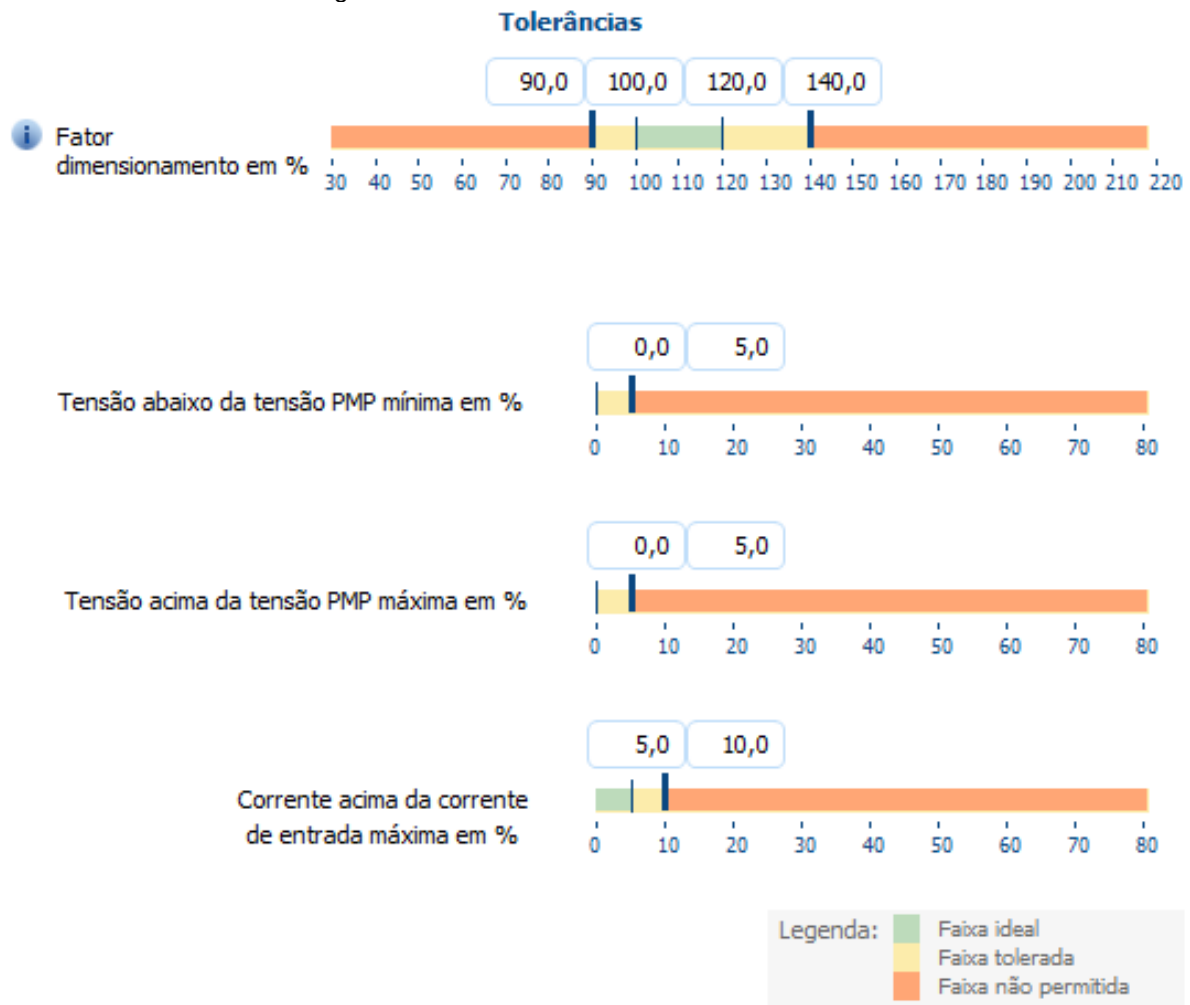
O software define também as perdas energéticas do sistema, das quais se destacam: sujeira ao longo do ano (3%), perdas de potência com menor rendimento (2%), perdas de queda de tensão nos diodos de desvio presentes nos painéis fotovoltaicos (0,5%) e perdas por fatores climáticos (1%).

Outra importante configuração que o software traz é com relação ao fator de dimensionamento, com valor em percentual. No sistema fotovoltaico instalado tem-se um fator de 22%, que pode ser obtido pela divisão da potência total instalada de 1830 Wp (6 painéis de 305 Wp) pela potência total de 1500 Wp dos microinversores (3 microinversores de 500 Wp).

Na Figura 39, foram mostradas as faixas de tolerância definidas pelo software para o fator de dimensionamento. Ressalta-se que o sistema instalado encontra-se na faixa tolerada, o que explica o motivo dos ajustes de voltagem e corrente máxima de

entrada realizados quando houve a sua instalação.

Figura 39 - Faixas do fator de dimensionamento.



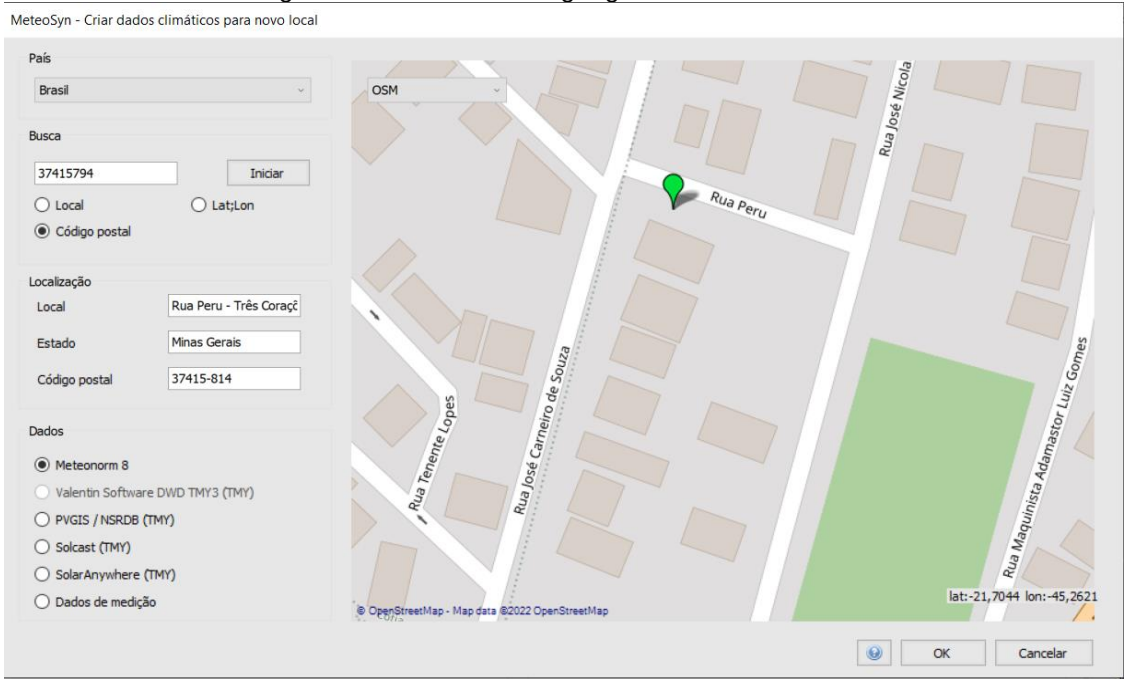
Fonte: O AUTOR, 2022.

Sequencialmente, foi criado um projeto no programa para a configuração do sistema fotovoltaico instalado com a inserção dos dados de cadastro. Prosseguindo, foi necessário selecionar o tipo de sistema como conectado à rede de consumo e escolhido o modelo de modelagem em 3D para o dimensionamento.

Para uma correta simulação dos dados de irradiação, foi necessário inserir as coordenadas geográficas da residência no software e selecionar os dados para irradiação global horizontal.

O software é de uma empresa alemã, e não há uma base de dados de irradiação brasileira cadastrada no software, sendo assim, na Figura 40 foi representado o mapa com as coordenadas do telhado da residência, que se localiza na esquina entre a Rua José Carneiro de Souza e Rua Peru em Três Corações.

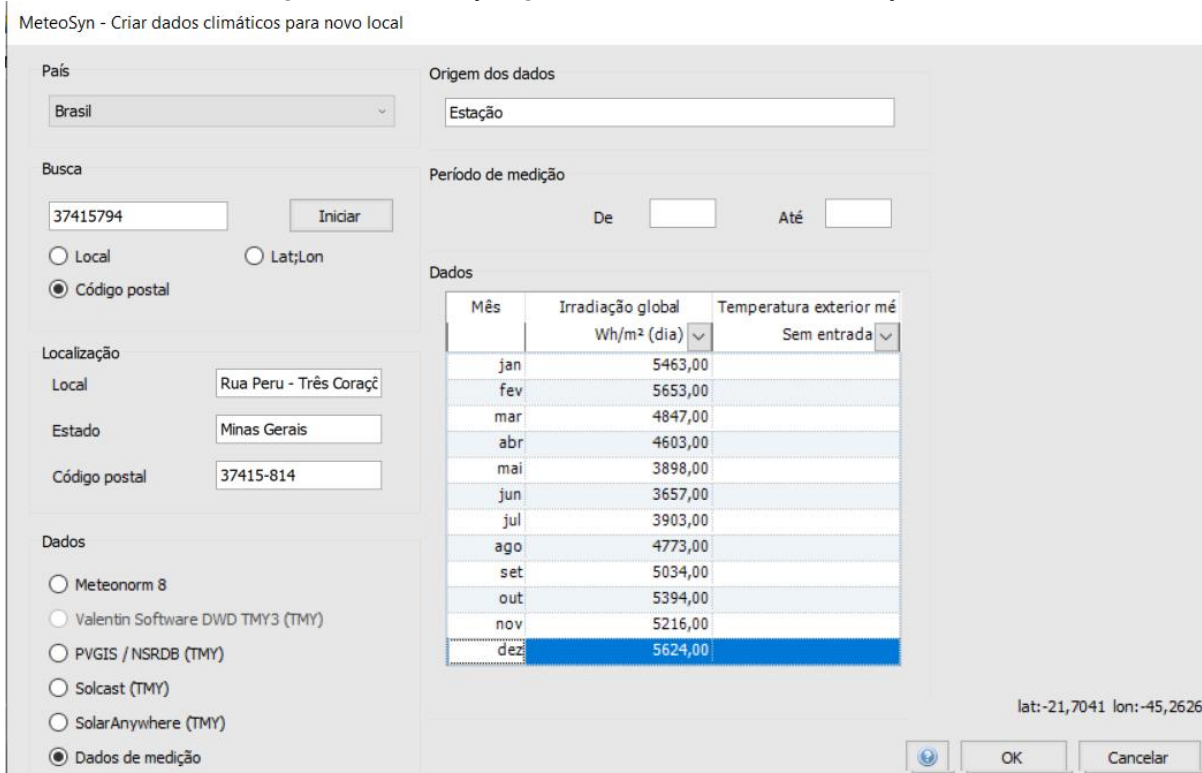
Figura 40 - Coordenadas geográficas da residência.



Fonte: O AUTOR, 2022.

Na Figura 41, foram mostrados os dados de irradiação cadastrados no software.

Figura 41 - Irradiação global horizontal em Três Corações.

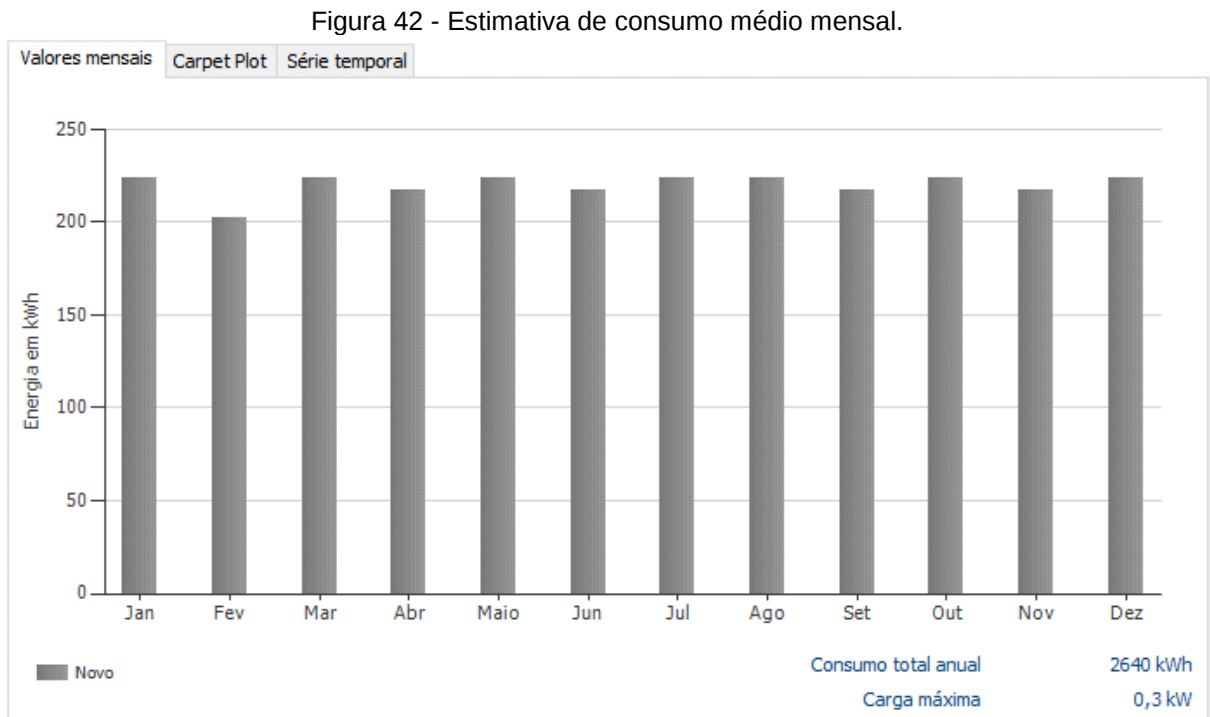


Fonte: O AUTOR, 2022.

O próximo passo para o dimensionamento foi cadastrar o consumo de energia

em kWh da residência. Para uma análise de tempo de retorno mais precisa, optou-se por colocar a demanda atual de energia, visto que foram adquiridos novos equipamentos elétricos ao longo do tempo. Logo, foi adotado um consumo de 220 kWh/mês, e estimado um consumo anual de 2640 kWh para um período de 12 meses.

Na Figura 42, foi apresentado o gráfico de consumo mensal gerado automaticamente pelo software, após a inserção do valor anual de 2640 kWh.

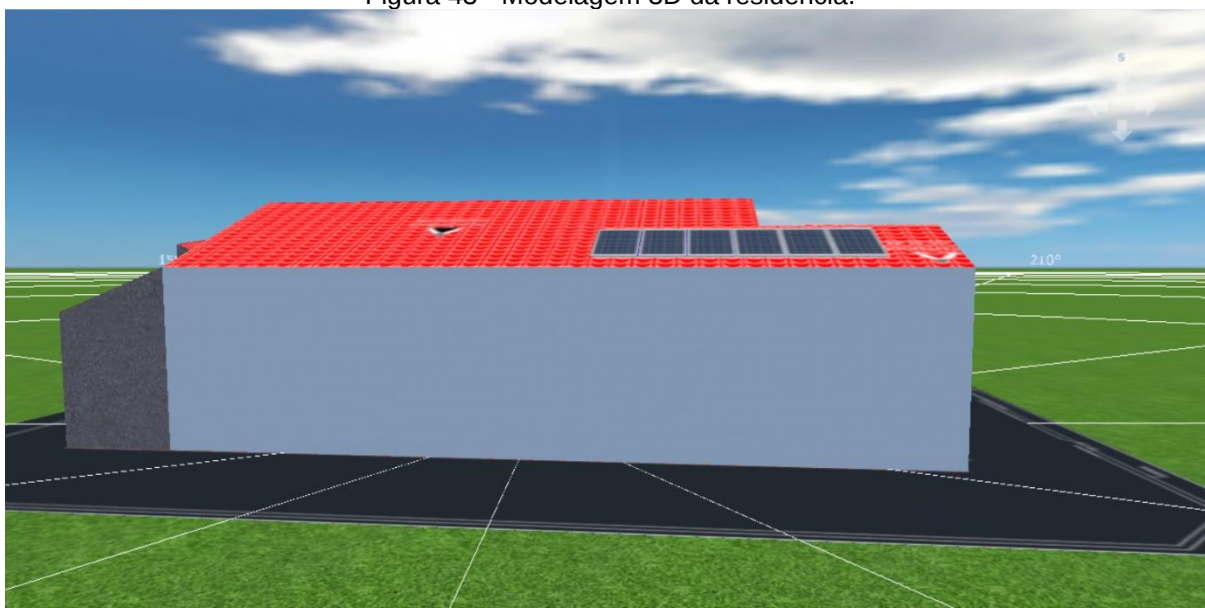


Fonte: O AUTOR, 2022.

O próximo passo foi criar uma modelagem em 3D da residência, inserindo no telhado 6 módulos fotovoltaicos da marca CanadianSolar modelo CS6K-305MS em posição retrato (recomendada no manual da fabricante) e 3 microinversores APsystems modelo YC500A.

Na Figura 43, foi mostrado a representação da modelagem da instalação após introduzir as informações no programa.

Figura 43 - Modelagem 3D da residência.



Fonte: Autor, 2022.

Uma característica importante é que o software em sua modelagem 3D faz o cálculo da frequência de sombreamento e exibe uma mensagem de alerta para o usuário quando determinado painel fotovoltaico está localizado em uma posição não muito favorável no telhado. Como os painéis instalados estão voltados para a face norte, este problema ocorreu na residência.

Como durante a modelagem foram inseridos os dados para o arranjo fotovoltaico, incluindo os painéis solares, os microinversores e 9 metros de cabos de energia de $2,5 \text{ mm}^2$ por microinversor, necessários para conectar o sistema até o quadro de distribuição da residência, conforme ABNT NBR 5410:2004, o software calculou automaticamente o valor de 0,9% de perda de energia em todos os microinversores.

Prosseguindo, foi cadastrado no software os parâmetros econômicos e tarifários necessários para a análise financeira. O sistema foi adquirido no início do ano de 2019 ao valor de R\$11.500,00 à vista. Somente de equipamentos, houve o custo de R\$9.059,39. O serviço de mão de obra, que custou R\$2.440,61, compreendeu uma análise de viabilidade técnica da residência para a instalação do sistema fotovoltaico, elaboração de projeto elétrico do sistema, envio de documentação para a CEMIG e a instalação e configuração dos equipamentos na residência.

Para o preço das tarifas, foram consultados os valores vigentes para a classe residencial bifásico, modalidade B1, conforme informações presentes no endereço

eletrônico da CEMIG, mostradas na Figura 44.

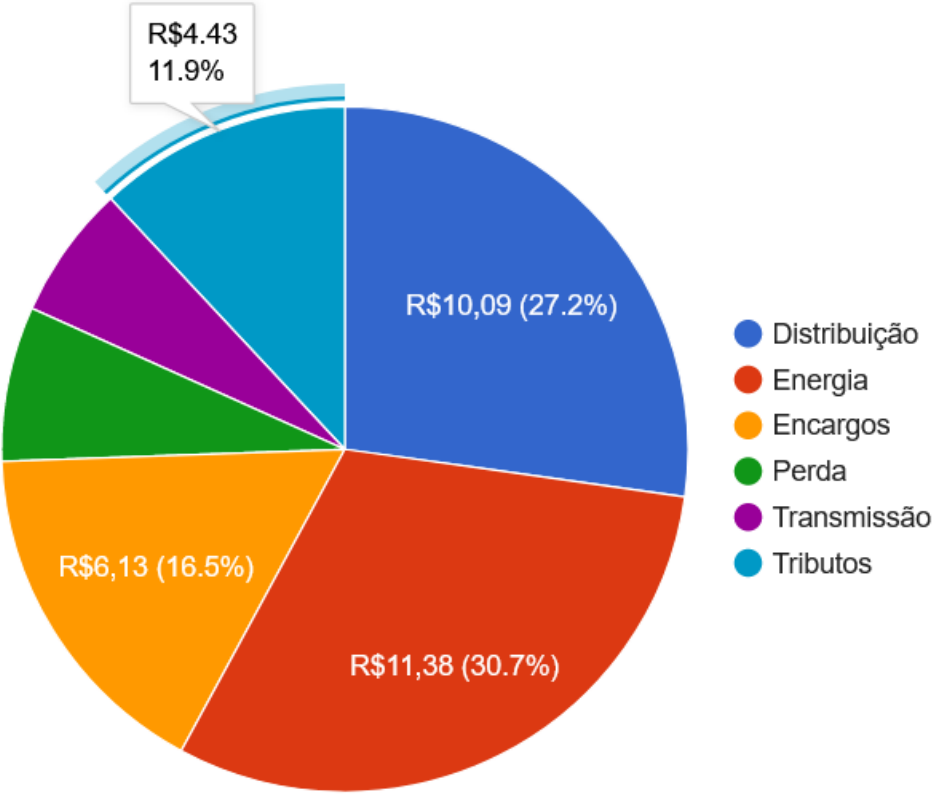
Figura 44 - Tarifas aplicadas: consumidor residencial B1.

B1- RESIDENCIAL NORMAL	BANDEIRA VERDE - CONSUMO R\$/KWH	BANDEIRA AMARELA - CONSUMO R\$/KWH	BANDEIRA VERMELHA 1 - CONSUMO R\$/KWH	BANDEIRA VERMELHA 2 - CONSUMO R\$/KWH	BANDEIRA ESCASSEZ HÍDRICA - CONSUMO R\$/KWH
Residencial Normal (Consumo R\$/kWh)	0,65313	0,68002	0,71513	0,74808	0,79303

Fonte: CEMIG, 2022.

Os valores apresentados acima estão sem a incidências de impostos. No entanto, informações retiradas da plataforma CEMIG Atende, Figura 45, mostram ser atualmente cobrados 12% de tributos nas contas de energia, sobre o consumo em kWh. Os encargos de iluminação pública são cobrados a parte nas faturas dos consumidores. Portanto, será considerado para o dimensionamento o valor de 0,74207816 R\$/kWh, conforme a conta de energia da residência (Anexo B).

Figura 45 - Incidências de tributos na conta de energia elétrica.



Fonte: adaptado de CEMIG, 2022.

Foi considerado também o período de projeto em 25 anos, com manutenções anuais para limpeza dos módulos. Nestas condições, foi estimado o valor de R\$50,00

para a limpeza no primeiro ano, com reajustes anuais de 5% próximos aos índices de IPCA dos últimos anos. Para o reajuste tarifário da energia elétrica, foi estimado o percentual anual de 10%, conforme dados da ANEEL (2022).

Após o lançamento no software de todos os dados, informados nas etapas anteriores, foi possível gerar os relatórios de análise técnica do sistema fotovoltaico e também sua análise financeira. Por limitações da versão de testes, não é possível gerar um relatório impresso. Portanto, foram capturadas imagens da tela.

4.4.2. Informações dos Relatórios

Uma das maiores preocupações ao instalar um projeto de energia solar fotovoltaica é com relação ao tempo de retorno do investimento inicial. Nas próximas imagens capturadas do software PV*SOL premium 2023 (R1), foi realizado uma análise das principais características obtidas no programa.

Na Figura 46, foram apresentados os dados da área de montagem do projeto fotovoltaico. Destaca-se que o sistema conta com uma potência total instalada de 1,83 kWp, ocupando 9,82 m² de área dos painéis. A geração anual estimada para o primeiro ano de projeto ficou em 2851,11 kWh. Ressalta-se que este valor é praticamente igual ao encontrado para a média de produção anual do sistema entre os anos de 2020 e 2021, extraídos da plataforma de monitoramento da APsystems e informados na Figura 29. O desempenho de produção calculado para o sistema foi de 83,11%, devido às perdas de energia ocorridas.

Figura 46 - Dados da área de montagem do projeto fotovoltaico.

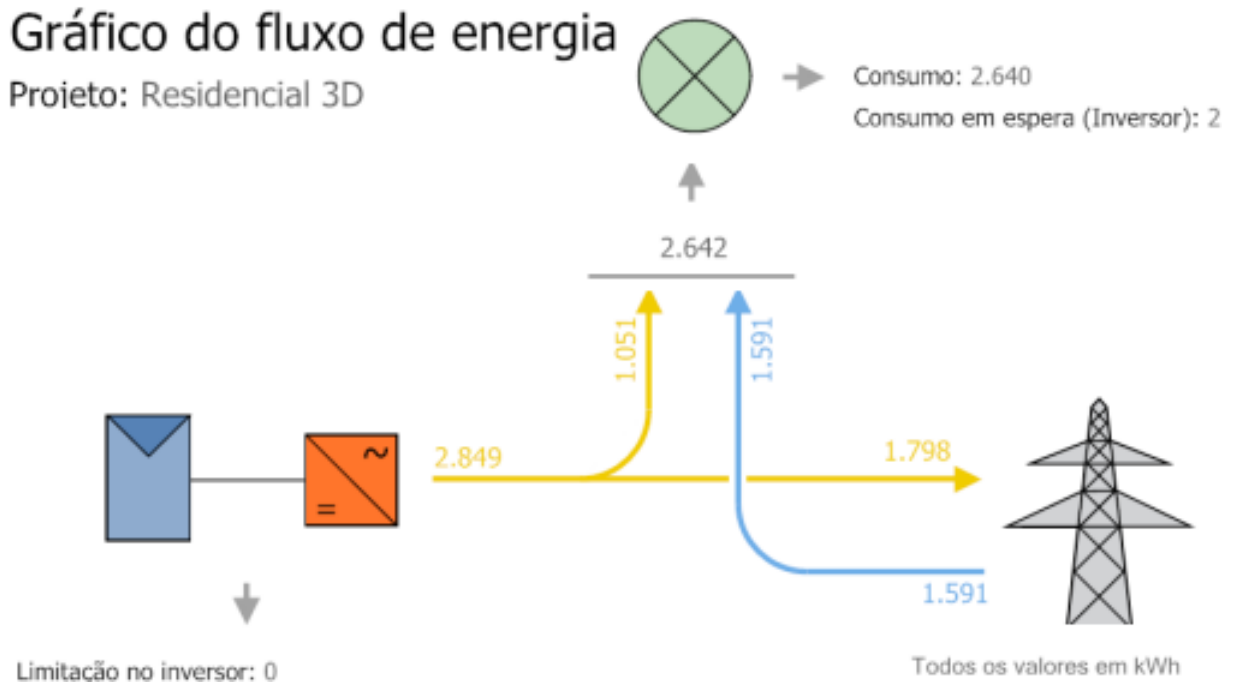
Edifício aleatório 01-Área de montagem Norte	
Potência do gerador fotovoltaico	1,83 kWp
Area do gerador fotovoltaico	9,82 m ²
Irradiação global no plano dos módulos	1857,05 kWh/m ²
Irradiação global no módulo sem reflexão	1873,68 kWh/m ²
Desempenho do sistema (PR)	83,13 %
Energia do gerador fotovoltaico (rede c.a.)	2851,11 kWh/Ano
Rendimento anual específico	1557,98 kWh/kWp

Fonte: O AUTOR, 2022.

Na Figura 47, foi mostrado o gráfico do fluxo de energia. Para unidades residenciais, estima-se que 40% do consumo de energia elétrica ocorra durante o dia, nos momentos em que o sistema fotovoltaico consegue gerar energia. Os 60% restantes ocorrem à noite, período em que o consumidor necessita recuperar parte da

energia injetada na rede. No exemplo da imagem (Figura 47), o consumidor demandou da rede 1589 kWh durante o ano, valor este equivalente a 60% de sua demanda anual de 2640 kWh.

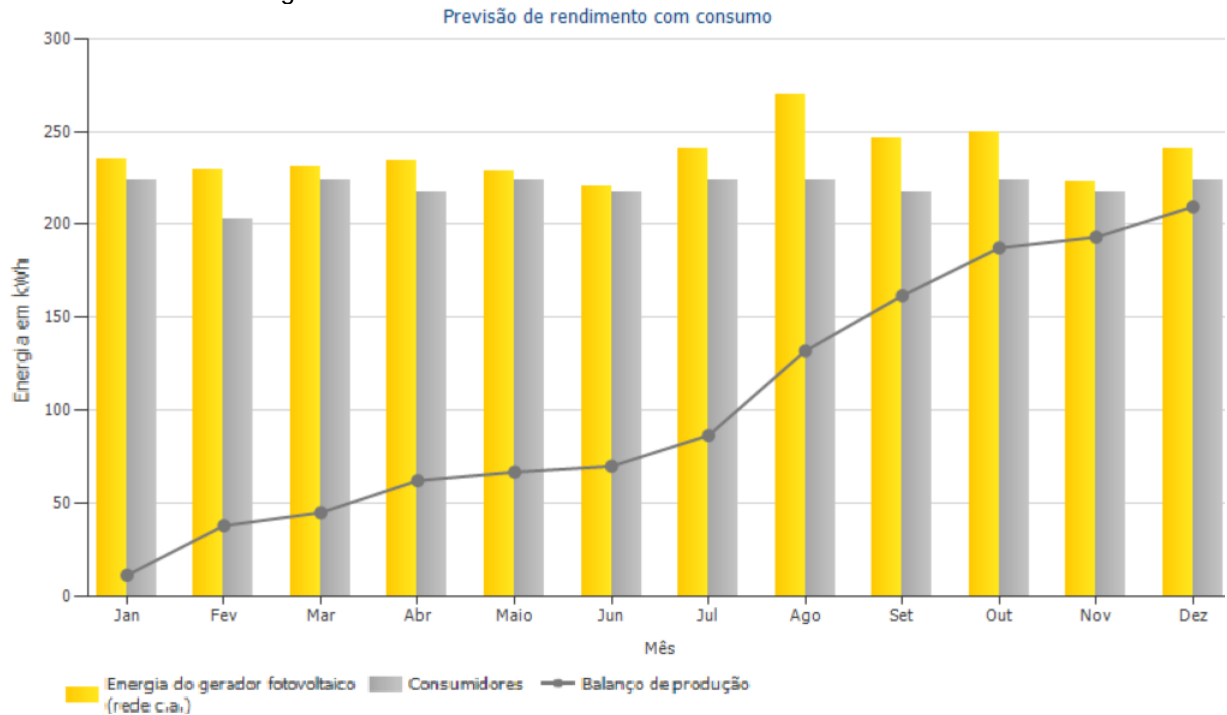
Figura 47 - Fluxo de energia fotovoltaica.



Fonte: O AUTOR, 2022.

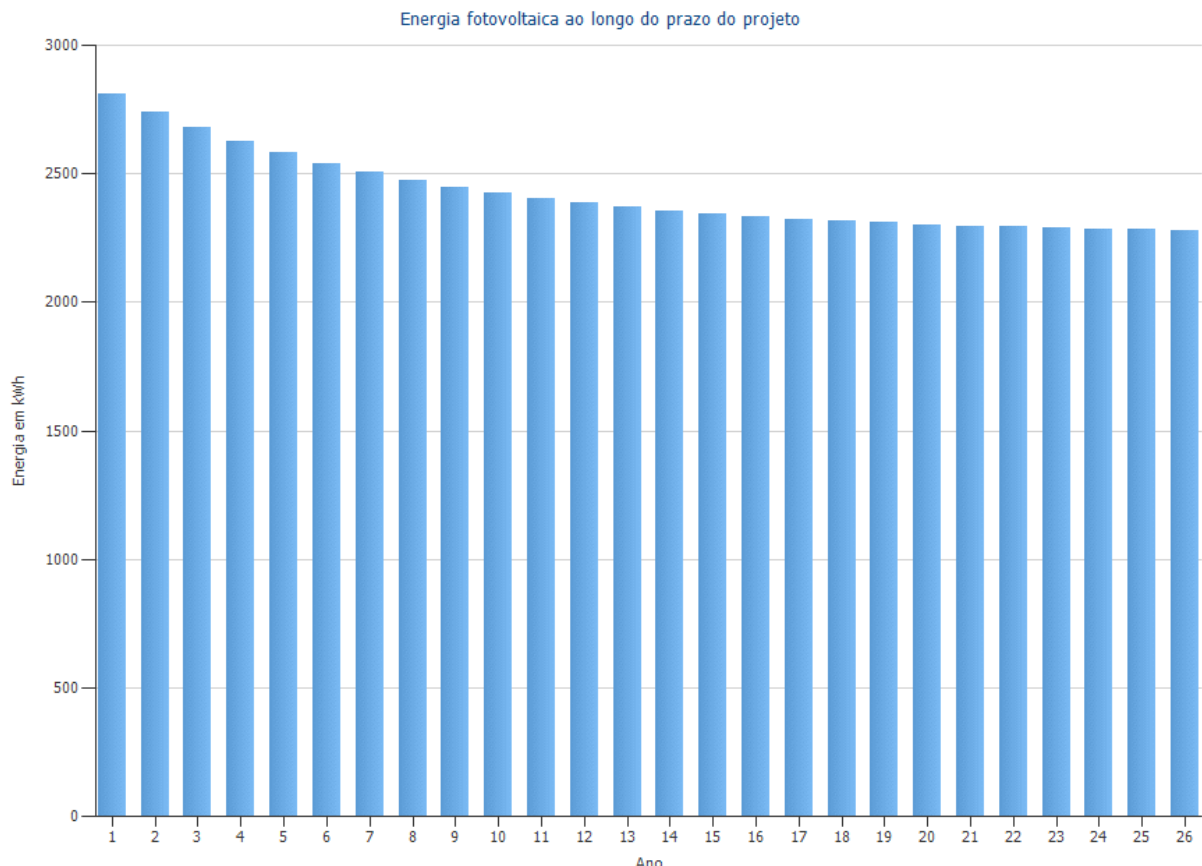
Na Figura 48, foi mostrado o gráfico da previsão de rendimento e do excedente acumulado da produção de energia. As barras na cor laranja representam as produções mensais em kWh ao longo dos meses, enquanto as barras na cor cinza representam a estimativa mensal de consumo em kWh. O gráfico de linha representa o excedente em kWh do consumidor acumulado ao longo do ano. Em dezembro, a estimativa mostrou que o consumidor acumulou 210 kWh em créditos de energia elétrica.

Figura 48 – Previsão de rendimento com consumo em kWh.



Na Figura 49, foi mostrada a estimativa de produção para os painéis fotovoltaicos ao longo dos anos. Nas informações do manual do fabricante, consta uma previsão de perda de potência em 2,5% para o primeiro ano, e nos demais anos, perda de 0,7% ao ano. Por esta razão, o fabricante fornece garantia para rendimento mínimo de produção em 80% até completar o tempo de projeto de 25 anos.

Figura 49 - Estimativa de produção no prazo de projeto.



Fonte: O AUTOR, 2022.

Na Figura 50, foi apresentado o relatório de irradiação global recebida pelo sistema fotovoltaico e os resultados de produção de energia. Destaca-se que o sistema perde uma grande quantidade de energia por ineficiência dos painéis. Aproximadamente 14393,17 kWh deixam de ser produzidos anualmente porque os painéis possuem eficiência nominal de 18,64%. Demais perdas ocorrem por sujeira dos painéis, problemas de superaquecimento do sistema, conversão de corrente contínua em corrente alternada, perda nos cabamentos entre outros fatores.

Figura 50 - Irradiação global x energia produzida.

Irradiação global - horizontal	1.763,86 kWh/m²	
Desvio em relação ao espectro padrão	-17,64 kWh/m ²	-1,00 %
Reflexão do solo (albedo)	12,72 kWh/m ²	0,73 %
Orientação e inclinação do plano dos módulos	114,74 kWh/m ²	6,52 %
Sombreamento independente do módulo	0,00 kWh/m ²	0,00 %
Reflexão na superfície de módulo	-16,63 kWh/m ²	-0,89 %
Irradiação global no plano dos módulos	1.857,05 kWh/m²	
	1.857,05 kWh/m ²	
	x 9,821 m ²	
	= 18.237,71 kWh	
Irradiação global fotovoltaica	18.237,71 kWh	
Sujeira	-547,11 kWh	-3,00 %
Conversão de STC (eficiência nominal do módulo 18,64 %)	-14.393,17 kWh	-81,36 %
Energia fotovoltaica nominal	3.297,44 kWh	
Sombra parcial, específica do módulo	0,00 kWh	0,00 %
Comportamento sob baixa irradiação	-2,97 kWh	-0,09 %
Desvio em relação à temperatura nominal do módulo	-226,98 kWh	-6,89 %
Diodos	0,00 kWh	0,00 %
Mismatch (indicações do fabricante)	0,00 kWh	0,00 %
Mismatch (conexão/sombra)	0,00 kWh	0,00 %
Energia fotovoltaica (c.c.) sem redução pelo inversor	3.067,48 kWh	
Potência CC mínima não atingida	0,00 kWh	0,00 %
Redução devido à faixa de tensão PMP	-0,01 kWh	0,00 %
Redução devido à corrente c.c. máx.	0,00 kWh	0,00 %
Redução devido à potência c.c. máx.	0,00 kWh	0,00 %
Redução devido à potência c.a. máx./cos phi	-14,05 kWh	-0,46 %
Perda no seguidor PMP	-3,55 kWh	-0,12 %
Energia fotovoltaica (c.c.)	3.049,88 kWh	
Energia na entrada do inversor	3.049,88 kWh	
Divergência entre tensão de entrada e tensão nominal	-2,11 kWh	-0,07 %
Conversão c.c./c.a.	-170,80 kWh	-5,60 %
Consumo em espera (Inversor)	-1,59 kWh	-0,06 %
Perda cabeamento total	-25,86 kWh	-0,90 %
Energia fotovoltaica (c.a.) menos consumo em espera	2.849,52 kWh	
Energia do gerador fotovoltaico (rede c.a.)	2.851,11 kWh	

Fonte: O AUTOR, 2022.

4.4.3. Relatórios de Análise Financeira

Na Figura 51, foi apresentado o relatório geral de análise financeira do projeto. Considerando o gasto atual médio da residência de 220 kWh/mês, o tempo de retorno estimado para recuperação do investimento ficou em 5,2 anos, com um custo de

geração de energia em 0,1949 R\$/kWh. Somente no primeiro ano, estima-se uma economia de R\$1959,09, com uma taxa interna de retorno (TIR) de 24,31% ao ano.

Figura 51 - Relatório de análise financeira.

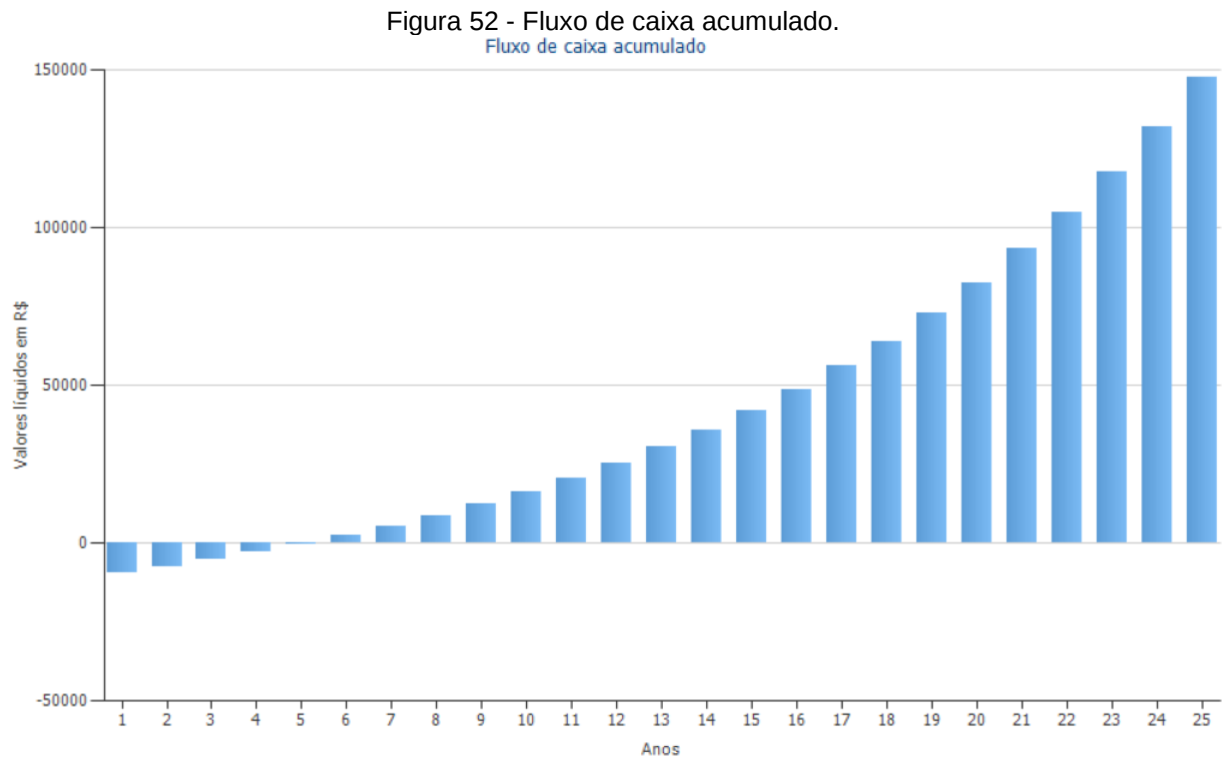
Dados do sistema	
Energia do gerador fotovoltaico (rede c.a.)	2.851 kWh/Ano
Potência do gerador fotovoltaico	1,8 kWp
Início da operação do sistema	10/04/2019
Prazo do projeto	24 Anos
Juro do capital	0 %
Parâmetros econômicos	
Taxa interna de retorno	24,31 %
Fluxo de caixa acumulado	147.367,86 R\$
Prazo de amortização	5,2 Anos
Custos de geração da energia	0,1949 R\$/kWh
Vista geral de pagamentos	
Investimento específico	6.284,15 R\$/kWp
Custos de investimento	11.500,00 R\$
Instalação do Sistema Fotovoltaico	11.500,00 R\$
Pagamentos únicos	0,00 R\$
Subsídios	0,00 R\$
Custos operacionais	50,00 R\$/Ano
Manutenção Periódica (Limpeza dos Painéis)	50,00 R\$/Ano
Custos de consumo	0,00 R\$/Ano
Outras despesas gerais anuais	0,00 R\$/Ano
Outros lucros ou economias	0,00 R\$/Ano
Remuneração e Economia	
Remuneração total no primeiro ano	0,00 R\$/Ano
Economia no primeiro ano	1.959,09 R\$/Ano
B1- RESIDENCIAL NORMAL (CEMIG)	
Tarifa da energia	0,7421 R\$/kWh
Remuneração por excedente	0 R\$/kWh
Inflação da tarifa de energia	10 %/Ano

Fonte: O AUTOR, 2022.

Comparada aos demais investimentos atrelados à taxa Selic, que se encontra atualmente com o percentual de 13,75% ao ano, a TIR é bastante atrativa. Segundo dados do Banco Central do Brasil (2022), investimentos em Tesouro Direto retornaram nos últimos 12 meses cerca de 13% ao ano, enquanto o resultado para a Poupança foi de aproximadamente 6,5% ao ano no período analisado. No final dos 25 anos de

projeto estima-se um fluxo de caixa acumulado com o capital de R\$147367,86.

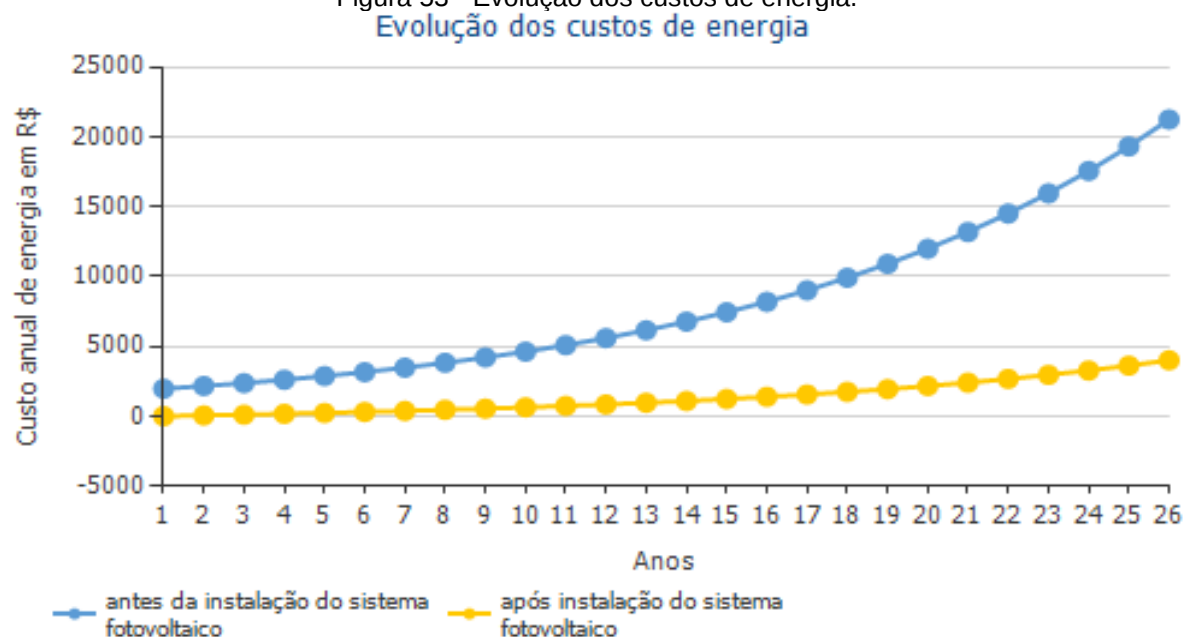
Na Figura 52, foi mostrado o gráfico do fluxo de caixa acumulado para o projeto ao longo dos 25 anos de uso. Entre o quinto e sexto anos, o gráfico torna-se positivo, representando o tempo de retorno do investimento inicial.



Fonte: O AUTOR, 2022.

Na Figura 53, foi mostrado a evolução dos custos de energia ao longo dos 25 anos, mostrando a diferença de valores que seria paga caso a residência não possuísse a energia fotovoltaica.

Figura 53 - Evolução dos custos de energia.



Foram realizadas também simulações no software PV*SOL premium 2023 (R1) considerando o consumo mensal de 118 kWh/mês (1416 kWh/ano), de quando o projeto foi instalado, e outra simulação considerando que toda a energia produzida durante o ano foi gasta, ou seja, um consumo de 2850 kWh/ano. A Tabela 10 apresenta os resultados encontrados.

Tabela 10 – Simulação de Payback versus TIR.

Consumo (kWh)	Payback (anos)	TIR (% ao ano)
1416	8,5	15,34
2640	5,2	24,31
2850	4,9	25,43

Fonte: O AUTOR, 2022.

No Anexo C encontram-se as informações completas sobre o fluxo de caixa para o tempo de projeto, considerando as 3 simulações analisadas.

4.4.4. Análise Real

Foi realizada uma análise considerando os dados reais de consumo e valores das faturas de energia do consumidor, desde a instalação do sistema fotovoltaico.

O consumo faturado refere-se ao custo de disponibilidade referente à 50 kWh mensais cobrado na fatura. O valor total refere-se à soma do valor faturado sobre o custo de disponibilidade, acrescido da contribuição de iluminação pública, também cobrada mensalmente. Foi paga ao todo a quantia de R\$2900,33 de conta de energia, no período estudado, conforme tabela da Figura 54.

Figura 54 - Valor Faturado com utilização da energia solar fotovoltaica.

Mês	Ano	Consumo Faturado (kWh)	Tarifa (R\$)	Valor Faturado (R\$)	Iluminação Pública (R\$)	Valor Total (R\$)
mai	2019	50	0,8912	44,56	16,63	61,19
jun	2019	50	0,9100	45,5	17,27	62,77
jul	2019	50	0,9734	48,67	18,02	66,69
ago	2019	50	1,0060	50,3	19,27	69,57
set	2019	50	1,0122	50,61	19,27	69,88
out	2019	50	0,9848	49,24	18,02	67,26
nov	2019	50	0,9756	48,78	19,36	68,14
dez	2019	50	0,9776	48,88	17,95	66,83
jan	2020	50	0,9548	47,74	17,95	65,69
fev	2020	50	0,9458	47,29	17,27	64,56
mar	2020	50	0,9462	47,31	17,27	64,58
abr	2020	50	0,9448	47,24	17,27	64,51
mai	2020	50	0,9360	46,8	17,27	64,07
jun	2020	50	0,9344	46,72	17,27	63,99
jul	2020	50	0,9486	47,43	17,72	65,15
ago	2020	50	0,9588	47,94	17,72	65,66
set	2020	50	0,9328	46,64	27,19	73,83
out	2020	50	0,9192	45,96	27,19	73,15
nov	2020	50	0,9224	46,12	27,19	73,31
dez	2020	50	0,9700	48,5	32,19	80,69
jan	2021	50	0,9770	48,85	28,27	77,12
fev	2021	50	0,9456	47,28	17,67	64,95
mar	2021	50	0,9422	47,11	17,67	64,78
abr	2021	50	0,9392	46,96	17,67	64,63
mai	2021	50	0,9694	48,47	0	48,47
jun	2021	50	0,9958	49,79	20,11	69,90
jul	2021	50	1,0390	51,95	0	51,95
ago	2021	50	1,0634	53,17	21,74	74,91
set	2021	50	1,1016	55,08	24,09	79,17
out	2021	50	1,1268	56,34	24,09	80,43
nov	2021	50	1,1300	56,5	0	56,50
dez	2021	50	1,1322	56,61	0	56,61
jan	2022	50	1,1214	56,07	0	56,07
fev	2022	50	1,1318	56,59	24,09	80,68
mar	2022	50	1,1228	56,14	24,09	80,23
abr	2022	50	1,1342	56,71	24,09	80,80
mai	2022	50	0,9320	46,6	16,99	63,59
jun	2022	50	0,9214	46,07	16,99	63,06
jul	2022	50	0,8224	41,12	17,96	59,08
ago	2022	50	0,7452	37,26	17,96	55,22
set	2022	50	0,7464	37,32	17,96	55,28
out	2022	50	0,7432	37,16	17,96	55,12
nov	2022	50	0,7416	37,08	17,96	55,04
dez	2022	50	0,7452	37,26	17,96	55,22
Totais				2115,72	784,61	2900,33

Fonte: O AUTOR, 2022.

Na tabela da Figura 55 foram apresentados os dados estatísticos de produção de energia elétrica do sistema fotovoltaico, consumo e injeção na rede da CEMIG. Percebe-se que o saldo de geração (acumulado) cresceu ao longo do tempo, pois o consumidor não gastava toda a energia que produzia. O consumo total também sofreu acréscimo, justificado pela aquisição de novos equipamentos elétricos.

Figura 55 – Dados Estatísticos do Sistema Fotovoltaico.

Mês	Ano	Produção (kWh)	Consumo da Rede (kWh)	Energia Compensada (kWh)	Energia Injetada (kWh)	Saldo Geração (kWh)	Consumo Simultâneo (kWh)	Consumo Total
mai	2019	281	80	80	223	143	58	138
jun	2019	232	54	54	192	281	40	94
jul	2019	267	62	62	224	443	43	105
ago	2019	247	54	54	208	597	39	93
set	2019	289	61	61	242	778	47	108
out	2019	256	55	55	208	931	48	103
nov	2019	260	61	61	203	1073	57	118
dez	2019	197	57	57	151	1167	46	103
jan	2020	278	73	73	212	1306	66	139
fev	2020	204	63	63	149	1392	55	118
mar	2020	265	74	74	204	1522	61	135
abr	2020	242	70	70	185	1637	57	127
mai	2020	248	70	70	197	1764	51	121
jun	2020	233	77	77	186	1873	47	124
jul	2020	215	71	71	171	1973	44	115
ago	2020	248	81	81	190	2082	58	139
set	2020	280	115	115	195	2162	85	200
out	2020	228	116	116	150	2196	78	194
nov	2020	245	118	118	157	2235	88	206
dez	2020	236	108	108	153	2280	83	191
jan	2021	236	115	115	148	2313	88	203
fev	2021	233	100	100	150	2363	83	183
mar	2021	244	111	111	164	2416	80	191
abr	2021	280	101	101	202	2517	78	179
mai	2021	237	87	87	172	2602	65	152
jun	2021	217	103	103	152	2651	65	168
jul	2021	226	94	94	168	2725	58	152
ago	2021	257	102	102	188	2811	69	171
set	2021	244	110	110	168	2869	76	186
out	2021	240	112	112	161	2918	79	191
nov	2021	211	100	100	143	2961	68	168
dez	2021	216	98	98	136	2999	80	178
jan	2022	187	99	99	115	3015	72	171
fev	2022	225	111	111	133	3037	92	203
mar	2022	252	113	113	167	3091	85	198
abr	2022	222	101	101	150	3140	72	173
mai	2022	261	115	115	185	3210	76	191
jun	2022	216	104	104	153	3259	63	167
jul	2022	227	115	115	159	3303	68	183
ago	2022	253	140	140	166	3329	87	227
set	2022	239	122	122	155	3362	84	206
out	2022	238	142	142	151	3371	87	229
nov	2022	211	132	82	125	3414	86	218
dez	2022	229	148	98	131	3447	98	246

Fonte: O AUTOR, 2022.

As tabelas das Figuras 56, 57 e 58 apresentam, respectivamente, a economia real do consumidor, a economia para o consumo atual de 220 kWh e a economia caso

tivesse consumido toda a energia produzida ao longo dos anos.

Figura 56 - Economia real com a instalação do Sistema Fotovoltaico.

Mês	Ano	Consumo Faturado (kWh)	Consumo Total (kWh)	Tarifa (R\$)	Valor Faturado (R\$)	Iluminação Pública (R\$)	Valor Total (R\$)	Valor Total - Sem Sistema Fotovoltaico (R\$)	Economia (R\$)
mai	2019	50	138	0,8912	44,56	16,63	61,19	139,74	78,55
jun	2019	50	94	0,9100	45,5	17,27	62,77	103,14	40,37
jul	2019	50	105	0,9734	48,67	18,02	66,69	119,95	53,26
ago	2019	50	93	1,0060	50,3	19,27	69,57	112,67	43,10
set	2019	50	108	1,0122	50,61	19,27	69,88	128,96	59,08
out	2019	50	103	0,9848	49,24	18,02	67,26	119,27	52,01
nov	2019	50	118	0,9756	48,78	19,36	68,14	134,86	66,72
dez	2019	50	103	0,9776	48,88	17,95	66,83	118,87	52,04
jan	2020	50	139	0,9548	47,74	17,95	65,69	151,09	85,40
fev	2020	50	118	0,9458	47,29	17,27	64,56	129,04	64,48
mar	2020	50	135	0,9462	47,31	17,27	64,58	145,31	80,73
abr	2020	50	127	0,9448	47,24	17,27	64,51	137,06	72,55
mai	2020	50	121	0,9360	46,8	17,27	64,07	130,27	66,20
jun	2020	50	124	0,9344	46,72	17,27	63,99	133,59	69,60
jul	2020	50	115	0,9486	47,43	17,72	65,15	126,59	61,44
ago	2020	50	139	0,9588	47,94	17,72	65,66	150,54	84,88
set	2020	50	200	0,9328	46,64	27,19	73,83	213,40	139,57
out	2020	50	194	0,9192	45,96	27,19	73,15	205,29	132,14
nov	2020	50	206	0,9224	46,12	27,19	73,31	217,37	144,06
dez	2020	50	191	0,9700	48,5	32,19	80,69	217,04	136,35
jan	2021	50	203	0,9770	48,85	28,27	77,12	226,45	149,33
fev	2021	50	183	0,9456	47,28	17,67	64,95	190,28	125,33
mar	2021	50	191	0,9422	47,11	17,67	64,78	197,97	133,19
abr	2021	50	179	0,9392	46,96	17,67	64,63	185,53	120,90
mai	2021	50	152	0,9694	48,47	0	48,47	147,28	98,81
jun	2021	50	168	0,9958	49,79	20,11	69,90	187,81	117,91
jul	2021	50	152	1,0390	51,95	0	51,95	157,67	105,72
ago	2021	50	171	1,0634	53,17	21,74	74,91	203,50	128,59
set	2021	50	186	1,1016	55,08	24,09	79,17	229,21	150,04
out	2021	50	191	1,1268	56,34	24,09	80,43	239,32	158,89
nov	2021	50	168	1,1300	56,5	0	56,50	189,42	132,92
dez	2021	50	178	1,1322	56,61	0	56,61	201,12	144,51
jan	2022	50	171	1,1214	56,07	0	56,07	191,34	135,27
fev	2022	50	203	1,1318	56,59	24,09	80,68	253,60	172,92
mar	2022	50	198	1,1228	56,14	24,09	80,23	246,12	165,89
abr	2022	50	173	1,1342	56,71	24,09	80,80	219,76	138,96
mai	2022	50	191	0,9320	46,6	16,99	63,59	194,56	130,97
jun	2022	50	167	0,9214	46,07	16,99	63,06	170,96	107,90
jul	2022	50	183	0,8224	41,12	17,96	59,08	168,17	109,09
ago	2022	50	227	0,7452	37,26	17,96	55,22	187,06	131,84
set	2022	50	206	0,7464	37,32	17,96	55,28	171,56	116,28
out	2022	50	229	0,7432	37,16	17,96	55,12	188,29	133,17
nov	2022	50	218	0,7416	37,08	17,96	55,04	179,74	124,70
dez	2022	50	246	0,7452	37,26	17,96	55,22	201,02	145,80
Totais					2115,72	784,61	2900,33	7661,81	4761,48

Fonte: O AUTOR, 2022.

Figura 57 – Economia estimada para consumo médio de 220 kWh/mês.

Mês	Ano	Consumo Faturado (kWh)	Consumo Total (kWh)	Tarifa (R\$)	Valor Faturado (R\$)	Iluminação Pública (R\$)	Valor Total (R\$)	Valor Total - Sem Sistema Fotovoltaico (R\$)	Economia (R\$)
mai	2019	50	220	0,8912	44,56	16,63	61,19	212,69	151,50
jun	2019	50	220	0,9100	45,5	17,27	62,77	217,47	154,70
jul	2019	50	220	0,9734	48,67	18,02	66,69	232,17	165,48
ago	2019	50	220	1,0060	50,3	19,27	69,57	240,59	171,02
set	2019	50	220	1,0122	50,61	19,27	69,88	241,95	172,07
out	2019	50	220	0,9848	49,24	18,02	67,26	234,68	167,42
nov	2019	50	220	0,9756	48,78	19,36	68,14	233,99	165,85
dez	2019	50	220	0,9776	48,88	17,95	66,83	233,02	166,19
jan	2020	50	220	0,9548	47,74	17,95	65,69	228,01	162,32
fev	2020	50	220	0,9458	47,29	17,27	64,56	225,35	160,79
mar	2020	50	220	0,9462	47,31	17,27	64,58	225,43	160,85
abr	2020	50	220	0,9448	47,24	17,27	64,51	225,13	160,62
mai	2020	50	220	0,9360	46,8	17,27	64,07	223,19	159,12
jun	2020	50	220	0,9344	46,72	17,27	63,99	222,84	158,85
jul	2020	50	220	0,9486	47,43	17,72	65,15	226,41	161,26
ago	2020	50	220	0,9588	47,94	17,72	65,66	228,66	163,00
set	2020	50	220	0,9328	46,64	27,19	73,83	232,41	158,58
out	2020	50	220	0,9192	45,96	27,19	73,15	229,41	156,26
nov	2020	50	220	0,9224	46,12	27,19	73,31	230,12	156,81
dez	2020	50	220	0,9700	48,5	32,19	80,69	245,59	164,90
jan	2021	50	220	0,9770	48,85	28,27	77,12	243,21	166,09
fev	2021	50	220	0,9456	47,28	17,67	64,95	225,70	160,75
mar	2021	50	220	0,9422	47,11	17,67	64,78	224,95	160,17
abr	2021	50	220	0,9392	46,96	17,67	64,63	224,29	159,66
mai	2021	50	220	0,9694	48,47	0	48,47	213,27	164,80
jun	2021	50	220	0,9958	49,79	20,11	69,90	239,19	169,29
jul	2021	50	220	1,0390	51,95	0	51,95	228,58	176,63
ago	2021	50	220	1,0634	53,17	21,74	74,91	255,69	180,78
set	2021	50	220	1,1016	55,08	24,09	79,17	266,44	187,27
out	2021	50	220	1,1268	56,34	24,09	80,43	271,99	191,56
nov	2021	50	220	1,1300	56,5	0	56,50	248,60	192,10
dez	2021	50	220	1,1322	56,61	0	56,61	249,08	192,47
jan	2022	50	220	1,1214	56,07	0	56,07	246,71	190,64
fev	2022	50	220	1,1318	56,59	24,09	80,68	273,09	192,41
mar	2022	50	220	1,1228	56,14	24,09	80,23	271,11	190,88
abr	2022	50	220	1,1342	56,71	24,09	80,80	273,61	192,81
mai	2022	50	220	0,9320	46,6	16,99	63,59	222,03	158,44
jun	2022	50	220	0,9214	46,07	16,99	63,06	219,70	156,64
jul	2022	50	220	0,8224	41,12	17,96	59,08	198,89	139,81
ago	2022	50	220	0,7452	37,26	17,96	55,22	181,90	126,68
set	2022	50	220	0,7464	37,32	17,96	55,28	182,17	126,89
out	2022	50	220	0,7432	37,16	17,96	55,12	181,46	126,34
nov	2022	50	220	0,7416	37,08	17,96	55,04	181,11	126,07
dez	2022	50	220	0,7452	37,26	17,96	55,22	181,90	126,68
Totais					2115,72	784,61	2900,33	10093,78	7193,45

Fonte: O AUTOR, 2022.

Figura 58 - Economia estimada para consumo igual ao valor de produção.

Mês	Ano	Consumo Faturado (kWh)	Consumo Total (kWh)	Tarifa (R\$)	Valor Faturado (R\$)	Iluminação Pública (R\$)	Valor Total (R\$)	Valor Total - Sem Sistema Fotovoltaico (R\$)	Economia (R\$)
mai	2019	50	281	0,8912	44,56	16,63	61,19	267,18	205,99
jun	2019	50	232	0,9100	45,5	17,27	62,77	228,72	165,95
jul	2019	50	267	0,9734	48,67	18,02	66,69	277,65	210,96
ago	2019	50	247	1,0060	50,3	19,27	69,57	267,59	198,02
set	2019	50	289	1,0122	50,61	19,27	69,88	312,17	242,29
out	2019	50	256	0,9848	49,24	18,02	67,26	269,94	202,68
nov	2019	50	260	0,9756	48,78	19,36	68,14	273,40	205,26
dez	2019	50	197	0,9776	48,88	17,95	66,83	210,76	143,93
jan	2020	50	278	0,9548	47,74	17,95	65,69	283,80	218,11
fev	2020	50	204	0,9458	47,29	17,27	64,56	210,37	145,81
mar	2020	50	265	0,9462	47,31	17,27	64,58	268,32	203,74
abr	2020	50	242	0,9448	47,24	17,27	64,51	245,71	181,20
mai	2020	50	248	0,9360	46,8	17,27	64,07	249,15	185,08
jun	2020	50	233	0,9344	46,72	17,27	63,99	235,44	171,45
jul	2020	50	215	0,9486	47,43	17,72	65,15	221,45	156,30
ago	2020	50	248	0,9588	47,94	17,72	65,66	255,05	189,39
set	2020	50	280	0,9328	46,64	27,19	73,83	288,02	214,19
out	2020	50	228	0,9192	45,96	27,19	73,15	236,55	163,40
nov	2020	50	245	0,9224	46,12	27,19	73,31	253,34	180,03
dez	2020	50	236	0,9700	48,5	32,19	80,69	260,69	180,00
jan	2021	50	236	0,9770	48,85	28,27	77,12	258,70	181,58
fev	2021	50	233	0,9456	47,28	17,67	64,95	237,56	172,61
mar	2021	50	244	0,9422	47,11	17,67	64,78	247,91	183,13
abr	2021	50	280	0,9392	46,96	17,67	64,63	280,39	215,76
mai	2021	50	237	0,9694	48,47	0	48,47	229,68	181,21
jun	2021	50	217	0,9958	49,79	20,11	69,90	236,61	166,71
jul	2021	50	226	1,0390	51,95	0	51,95	234,55	182,60
ago	2021	50	257	1,0634	53,17	21,74	74,91	294,95	220,04
set	2021	50	244	1,1016	55,08	24,09	79,17	293,10	213,93
out	2021	50	240	1,1268	56,34	24,09	80,43	294,53	214,10
nov	2021	50	211	1,1300	56,5	0	56,50	238,01	181,51
dez	2021	50	216	1,1322	56,61	0	56,61	244,15	187,54
jan	2022	50	187	1,1214	56,07	0	56,07	209,29	153,22
fev	2022	50	225	1,1318	56,59	24,09	80,68	278,50	197,82
mar	2022	50	252	1,1228	56,14	24,09	80,23	306,75	226,52
abr	2022	50	222	1,1342	56,71	24,09	80,80	275,34	194,54
mai	2022	50	261	0,9320	46,6	16,99	63,59	259,80	196,21
jun	2022	50	216	0,9214	46,07	16,99	63,06	216,10	153,04
jul	2022	50	227	0,8224	41,12	17,96	59,08	204,36	145,28
ago	2022	50	253	0,7452	37,26	17,96	55,22	206,44	151,22
set	2022	50	239	0,7464	37,32	17,96	55,28	196,19	140,91
out	2022	50	238	0,7432	37,16	17,96	55,12	194,98	139,86
nov	2022	50	211	0,7416	37,08	17,96	55,04	174,55	119,51
dez	2022	50	229	0,7452	37,26	17,96	55,22	188,35	133,13
Totais					2115,72	784,61	2900,33	10916,09	8015,76

Fonte: O AUTOR, 2022.

Com os dados apresentados, observa-se que a utilização da energia solar fotovoltaica possibilitou ao consumidor reduzir sua conta de energia para o valor mínimo faturável, composto pela cobrança do custo de disponibilidade e a taxa de contribuição de iluminação pública. A economia real do consumidor poderia ser bem

mais elevada, caso o seu consumo ao longo do tempo fosse o mais próximo possível ao quantitativo de energia elétrica produzido mensalmente pelo sistema fotovoltaico.

4.5. Alterações da Lei 14300/2022 nos Projetos de Sistemas Fotovoltaicos

A Lei 14300 trouxe importantes alterações para o futuro da energia solar fotovoltaica no país. Para o sistema fotovoltaico abordado no estudo de caso realizado neste trabalho, houve um impacto positivo na forma de faturamento da conta de energia (Anexo B), sendo que o custo de disponibilidade deixou de ser cobrado em duplicidade a partir do mês de novembro de 2022.

Na Figura 59, extraída da fatura da CEMIG para o consumidor, pode-se observar que a edificação consumiu da rede 132 kWh, sendo que dos valores faturados e compensados, 50 kWh correspondem ao custo de disponibilidade cobrado e os 82 kWh restantes foram faturados e compensados pelos créditos de energia existentes para o consumidor.

Até a fatura anterior, haveria uma compensação total de 132 kWh, em vez de 82 kWh, considerando um mesmo valor para o consumo da rede. Com esta mudança, o consumidor tem a possibilidade de consumir 50 kWh a mais de energia ao longo do mês, ou ser recompensado por um acúmulo de créditos em kWh maior, que poderá ser utilizado em até 60 meses.

Figura 59 - Alterações do Custo de Disponibilidade na fatura da CEMIG.

		Informações Técnicas		Constante de Multiplicação	Consumo kWh
Tipo de Medição	Medição	Leitura Anterior	Leitura Atual		
Energia kWh	ARL195100848	3.915	4.047	1	132
Energia Injetada	ARL195100848	7.286	7.411	1	125

Informações Gerais		Valores Faturados		
SALDO ATUAL DE GERAÇÃO: 3.414,00 kWh. Tarifa vigente conforme Res Aneel nº 3.046, de 21/06/2022. Unidade faz parte de sistema de compensação de energia. O pagamento desta conta não quita débitos anteriores. Para estes, estão sujeitas penalidades legais vigentes (multas) e/ou atualização financeira (juros) baseadas no vencimento das mesmas. É dever do consumidor manter os dados cadastrais sempre atualizados e informar alterações da atividade exercida no local. Faça sua adesão para recebimento da conta de energia por e-mail acessando www.cemig.com.br Leitura realizada conforme calendário de faturamento OUT/2022 Band. Verde - NOV/2022 Band. Verde		Descrição	Quantidade	Tarifa/Preço (R\$)
		Energia Elétrica kWh	50	0,74207816
		Energia injetada kWh HFP	82	0,65313000
		En comp. kWh ISENTA	82	0,65313000
		Encargos/Cobranças		
		Contrib Ilum Publica Municipal		17,96
		Tarifas Aplicadas (sem impostos)		
		Energia Elétrica kWh		0,65313000
		En comp. kWh ISENTA		0,65313000

Fonte: CEMIG, 2022.

A Lei 14300 concedeu 180 dias para as concessionárias adequarem seus sistemas de faturamento e deixarem de cobrar o custo de disponibilidade em duplicidade. A CEMIG não respeitou o prazo vencido no início de julho de 2022 e realizou a alteração somente em novembro de 2022. Cabe aos consumidores lesados acionarem a justiça, se assim desejarem.

Como a Lei manteve os direitos adquiridos até o ano de 2045 para os consumidores que já possuem o sistema fotovoltaico instalado, ou que realizem solicitação de acesso até a data limite de 07/01/2023, o projeto instalado na residência não sofrerá demais impactos durante o tempo de projeto, com duração de 25 anos e terminando em abril de 2044.

As mudanças para os futuros consumidores que instalarem o sistema fotovoltaico ocorrerão a partir de 08/01/2023. Ressalta-se que as aplicações da Lei 14300 estão em análise e não foram completamente definidas até o momento. Para julho de 2023, está previsto um “acerto de contas”, em que serão definidas as regras de aplicação tarifária do setor de energia solar fotovoltaica a partir do ano de 2029.

Por fim, foi realizada uma simulação do impacto financeiro causado no payback, considerando que o mesmo sistema fotovoltaico analisado neste estudo de caso fosse solicitado e instalado em 08/01/2023, conforme regras da Lei 14.300/2022.

Foram utilizadas na análise as Equações 5 e 6 definidas pela ANEEL, dados da Tabela 2, consumo mensal fixo de 220 kWh (conforme gasto atual da residência) e fator de simultaneidade de 40% para o consumo da rede.

Também foram consideradas as tarifas vigentes da CEMIG, com previsão de reajuste anual de 10%. Para fins de cálculo, foi adotado para a cobrança do Fio B o percentual de 100% a partir do ano de 2029, como a definição depende do encontro de contas previsto para julho de 2023.

A tabela da Figura 60 apresenta os percentuais de redução da TUSD aplicados para os 25 anos do período de projeto, a contar do ano de 2023.

Figura 60 – Percentuais de Redução da TUSD.

Ano	Xi (%)	Fio B (R\$/kWh)	TUSD (R\$/kWh)	%RED,TUSD
2023	15%	0,23276	0,40913	0,9147
2024	30%	0,25603	0,45004	0,8293
2025	45%	0,28164	0,49505	0,7440
2026	60%	0,30980	0,54455	0,6587
2027	75%	0,34078	0,59901	0,5733
2028	90%	0,37486	0,65891	0,4880
2029	100%	0,41234	0,72480	0,4311
2030	100%	0,45358	0,79728	0,4311
2031	100%	0,49894	0,87701	0,4311
2032	100%	0,54883	0,96471	0,4311
2033	100%	0,60371	1,06118	0,4311
2034	100%	0,66408	1,16730	0,4311
2035	100%	0,73049	1,28403	0,4311
2036	100%	0,80354	1,41243	0,4311
2037	100%	0,88390	1,55367	0,4311
2038	100%	0,97228	1,70904	0,4311
2039	100%	1,06951	1,87994	0,4311
2040	100%	1,17646	2,06794	0,4311
2041	100%	1,29411	2,27473	0,4311
2042	100%	1,42352	2,50220	0,4311
2043	100%	1,56587	2,75242	0,4311
2044	100%	1,72246	3,02766	0,4311
2045	100%	1,89471	3,33043	0,4311
2046	100%	2,08418	3,66347	0,4311
2047	100%	2,29260	4,02982	0,4311

Fonte: O AUTOR, 2022.

Na tabela da Figura 61, temos uma estimativa para os faturamentos da energia consumida da rede, o valor de iluminação pública e os novos valores que seriam cobrados na conta de energia elétrica do consumidor.

Figura 61 - Estimativa de Faturamento Anual - Lei 14.300/2022.

Ano	Consumo Total (kWh)	CON,enc (kWh)	Xi (%)	Fio B (R\$/kWh)	%RED, TUSD	TUSD (R\$/kWh)	FAT,enc (R\$)	Iluminação Pública (R\$)	Faturamento Mensal (R\$)	Faturamento Anual (R\$)
2023	220	132	15%	0,23276	0,9147	0,40913	4,61	17,96	22,57	270,82
2024	220	132	30%	0,25603	0,8293	0,45004	10,14	19,76	29,89	358,74
2025	220	132	45%	0,28164	0,7440	0,49505	16,73	21,73	38,46	461,53
2026	220	132	60%	0,30980	0,6587	0,54455	24,54	23,90	48,44	581,29
2027	220	132	75%	0,34078	0,5733	0,59901	33,74	26,30	60,03	720,39
2028	220	132	90%	0,37486	0,4880	0,65891	44,53	28,92	73,46	881,49
2029	220	132	100%	0,41234	0,4311	0,72480	54,43	31,82	86,25	1034,96
2030	220	132	100%	0,45358	0,4311	0,79728	59,87	35,00	94,87	1138,45
2031	220	132	100%	0,49894	0,4311	0,87701	65,86	38,50	104,36	1252,30
2032	220	132	100%	0,54883	0,4311	0,96471	72,45	42,35	114,79	1377,53
2033	220	132	100%	0,60371	0,4311	1,06118	79,69	46,58	126,27	1515,28
2034	220	132	100%	0,66408	0,4311	1,16730	87,66	51,24	138,90	1666,81
2035	220	132	100%	0,73049	0,4311	1,28403	96,42	56,37	152,79	1833,49
2036	220	132	100%	0,80354	0,4311	1,41243	106,07	62,00	168,07	2016,84
2037	220	132	100%	0,88390	0,4311	1,55367	116,67	68,20	184,88	2218,53
2038	220	132	100%	0,97228	0,4311	1,70904	128,34	75,02	203,36	2440,38
2039	220	132	100%	1,06951	0,4311	1,87994	141,18	82,53	223,70	2684,42
2040	220	132	100%	1,17646	0,4311	2,06794	155,29	90,78	246,07	2952,86
2041	220	132	100%	1,29411	0,4311	2,27473	170,82	99,86	270,68	3248,14
2042	220	132	100%	1,42352	0,4311	2,50220	187,90	109,84	297,75	3572,96
2043	220	132	100%	1,56587	0,4311	2,75242	206,70	120,83	327,52	3930,26
2044	220	132	100%	1,72246	0,4311	3,02766	227,36	132,91	360,27	4323,28
2045	220	132	100%	1,89471	0,4311	3,33043	250,10	146,20	396,30	4755,61
2046	220	132	100%	2,08418	0,4311	3,66347	275,11	160,82	435,93	5231,17
2047	220	132	100%	2,29260	0,4311	4,02982	302,62	176,90	479,52	5754,29
Total										56221,83

Fonte: O AUTOR, 2022.

Na tabela da Figura 62 foi realizado um paralelo entre os possíveis valores que podem ser pagos na conta de energia do consumidor no período compreendido entre os anos de 2023 e 2047, considerando um consumo fixo de 220 kWh mensais.

Ressalta-se que o faturamento pelas regras da Lei 14.300/2022 mostrou-se a situação mais favorável para o consumidor que possui o sistema fotovoltaico instalado, seguido pelo faturamento do consumidor que possui o sistema nas regras atuais. O fato se justifica por um consumo cujo valor do pagamento dos encargos da TUSD Fio B que será cobrado na Lei 14300/2022 ser menor do que o normalmente cobrado para o custo de disponibilidade para os consumidores que permanecem nas regras atuais.

Ademais, é importante ressaltar que os consumidores que não possuem energia fotovoltaica pagariam um valor pelo menos 3 vezes maior ao longo dos próximos 25 anos, fato que justifica a importância de possuir o sistema fotovoltaico instalado.

Figura 62 – Paralelo entre a Lei 14.300/2022, regras atuais e consumidores sem sistema fotovoltaico.

Ano	Consumo Total (kWh)	Tarifa (R\$)	Iluminação Pública (R\$)	Valor Total Anual - Lei 14.300/2022 (R\$)	Valor Total Anual - Regras Atuais (R\$)	Valor Total Anual - Sem Sistema Fotovoltaico (R\$)
2023	220	0,74208	17,96	270,82	660,77	2174,61
2024	220	0,81629	19,76	358,74	726,84	2392,07
2025	220	0,89791	21,73	461,53	799,53	2631,27
2026	220	0,98771	23,90	581,29	879,48	2894,40
2027	220	1,08648	26,30	720,39	967,43	3183,84
2028	220	1,19512	28,92	881,49	1064,17	3502,23
2029	220	1,31464	31,82	1034,96	1170,59	3852,45
2030	220	1,44610	35,00	1138,45	1287,65	4237,69
2031	220	1,59071	38,50	1252,30	1416,41	4661,46
2032	220	1,74978	42,35	1377,53	1558,05	5127,61
2033	220	1,92476	46,58	1515,28	1713,86	5640,37
2034	220	2,11724	51,24	1666,81	1885,25	6204,41
2035	220	2,32896	56,37	1833,49	2073,77	6824,85
2036	220	2,56186	62,00	2016,84	2281,15	7507,33
2037	220	2,81804	68,20	2218,53	2509,26	8258,06
2038	220	3,09984	75,02	2440,38	2760,19	9083,87
2039	220	3,40983	82,53	2684,42	3036,21	9992,26
2040	220	3,75081	90,78	2952,86	3339,83	10991,48
2041	220	4,12589	99,86	3248,14	3673,81	12090,63
2042	220	4,53848	109,84	3572,96	4041,19	13299,69
2043	220	4,99233	120,83	3930,26	4445,31	14629,66
2044	220	5,49156	132,91	4323,28	4889,84	16092,63
2045	220	6,04072	146,20	4755,61	5378,82	17701,89
2046	220	6,64479	160,82	5231,17	5916,71	19472,08
2047	220	7,30927	176,90	5754,29	6508,38	21419,29
Totais				56221,83	64984,48	213866,14

Fonte: O AUTOR, 2022.

5. CONCLUSÃO

O sistema fotovoltaico instalado na edificação apresentou bom rendimento e funcionamento em relação ao desempenho esperado no projeto. Dimensionado com a utilização de microinversores e painéis fotovoltaicos monocristalinos, o sistema apresenta até o momento produção anual média de 2850 kWh/ano, equivalente a 237,5 kWh/mês. Como foi projetado para produzir cerca de 250 kWh/mês, o seu índice de eficiência encontra-se em 95%, e atende perfeitamente ao consumo médio atual da residência, de 220 kWh/mês.

Nos resultados apresentados, utilizando o software PV*SOL premium 2023 (R1), foi possível estimar e analisar como o tempo de retorno para o investimento inicial oscila conforme o percentual de consumo de energia elétrica da residência, em relação a sua produção. Ressalta-se que a residência consumia pouca energia durante os primeiros anos após a instalação do sistema, ocasionando um tempo de retorno maior. Considerando o consumo médio atual, seriam necessários apenas 5,2 anos para recuperar o investimento, sendo que a TIR, nestes patamares, alcança valores anuais de 24,31%, muito satisfatórios.

O software permite também a visualização das perdas de energia que acontecem no sistema, principalmente pela baixa eficiência dos módulos fotovoltaicos existentes no mercado. Com índices de aproveitamento próximos de 20%, a maior parte da irradiação solar é perdida, e uma quantidade significativa de energia deixa de ser produzida. É importante citar que ocorrem também outros tipos de perdas, por problemas como sujeira nos módulos, sombreamento, falhas de potência, superaquecimento dos painéis, perdas com o cabeamento entre outros fatores.

Apesar dos problemas, considerando o fluxo de caixa ao final do tempo de projeto, percebe-se uma grande economia financeira proporcionada pela energia solar. Considerando o tempo de vida útil do sistema, que engloba uma garantia considerável em anos fornecida pelos fabricantes do microinversor e dos painéis fotovoltaicos, tem-se a segurança de que o retorno a longo prazo será bastante satisfatório.

Ademais, a publicação da Lei 14.300/2022 foi um importante marco para o setor de energia solar fotovoltaica, ao garantir que os antigos investidores mantenham seus direitos adquiridos ao possuírem o sistema instalado, e também que os futuros possam ter maior previsibilidade para o retorno financeiro do sistema. De certo modo,

a utilização da energia solar fotovoltaica propicia uma grande ajuda para o meio ambiente, ao fornecer uma energia limpa e sustentável.

5.1. Sugestão para trabalhos futuros

Como sugestões para trabalhos futuros, destacam-se os seguintes itens:

- Estudar novas tecnologias do setor de energia solar fotovoltaica;
- Testar outros tipos de células fotovoltaicas, com objetivo de aumentar a eficiência energética;
- Analisar como as atualizações das legislações no país, referentes ao setor, impactarão o uso da energia fotovoltaica;
- Comparar custos entre diferentes fornecedores quando for instalar algum projeto.

REFERÊNCIAS

ABNT. **Norma Brasileira - Instalações Elétricas de Baixa Tensão NBR 5410:2004 versão corrigida**. 2008.

Análise do Marco Legal da Geração Distribuída. **Greener**, São Paulo, 2022. Disponível em: <https://www.greener.com.br/estudo/analise-do-marco-legal-da-geracao-distribuida-lei-14-300-2022/>. Acesso em: 22 nov. 2022.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa Nº 482**. 17 abr. 2012. Disponível em: <http://www2.ANEEL.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2022.

AUTOCAD. **Autocad 2022**. 2022. Disponível em: <https://www.autodesk.com.br/education/home>. Acesso em: 22 nov. 2022.

BALFOUR, John. Introdução ao Projeto de Sistemas Fotovoltaicos. Barueri: Grupo GEN, 2016. E-book. ISBN 9788521635314. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521635314/>. Acesso em: 22 nov. 2022.

BRASIL. **Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022**. Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS); altera as Leis nºs 10.848, de 15 de março de 2004, e 9.427, de 26 de dezembro de 1996; e dá outras providências. Brasília: Presidência da República, [2022]. Disponível em: <https://in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.300-de-6-de-janeiro-de-2022-372467821>. Acesso em: 22 nov. 2022.

BULLOCK, C. E.; GRAMBS, P. H. Solar electricity: making the sun work for you. Gaither-sburg: Monegon, 1981.

CONFAZ. **Conselho ICMS 16, de 22 de abril de 2015**. Autoriza a conceder isenção nas operações internas relativas à circulação de energia elétrica, sujeitas a faturamento sob o Sistema de Compensação de Energia Elétrica de que trata a

Resolução Normativa nº 482, de 2012, da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL. Brasília: CONFAZ, [2015]. Disponível em: https://www.confaz.fazenda.gov.br/legislacao/convenios/2015/CV016_15. Acesso em: 22 nov. 2022.

DHERE, N. G., CRUZ, L. R., LOBO, P. C., BRANCO, J. R. T., RUTHER, R., LIMA, J. H. G., ZANESCO, I., 2005. **History of solar energy research in Brazil, Proceedings of the ISES 2005 Solar World Congress, vol. 1, pp. 1-6.**

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Balanco Energético Nacional 2020.** Rio de Janeiro: 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2022/>. Acesso em: 22 nov. 2022.

FIGUEIRAS, B. J. P. P. **Mecanismos de incentivos ao fotovoltaico: estudo Comparativo Portugal/Brasil.** Lisboa: Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 2013.

GALDINO, M. A. e LIMA, J. H. G. **PRODEM – O Programa Nacional de Eletrificação Rural Baseado em Energia Solar Fotovoltaica.** CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. Congresso Brasileiro de Energia. 2002.

Geração Distribuída. **Agência Nacional de Energia Elétrica**, Brasília, 10 de fev. de 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/ANEEL/pt-br/assuntos/geracao-distribuida>. Acesso em: 22 nov. 2022.

GOOGLE. **Google Earth.** 2022. Disponível em: <https://www.google.com.br/maps/>. Acesso em: 22 nov. 2022.

INMET. **Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990.** 2016. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/normais/>. Acesso em: 22 nov. 2022.

Lei institui marco legal da micro e minigeração de energia. **Da Agência Senado**, Brasília, 10 de jan. de 2022. Disponível em:

<https://www.camara.leg.br/noticias/843782-lei-institui-marco-legal-da-micro-e-minigeracao-de-energia/>. Acesso em: 22 nov. 2022.

MIRANDA, Stella. Inversor solar, o que é e para que serve?. **Canal Solar**, Campinas, 24 de mar. de 2022. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/inversor-solar-o-que-e-e-pra-que-serve/>. Acesso em: 22 nov. 2022.

Novas células PERC para painéis solares de alto desempenho. **SUNERGIA**, São Paulo, 04 de abr. de 2019. Disponível em: <https://sunergia.com.br/blog/novas-celulas-perc-para-paineis-solares-de-alto-desempenho/>. Acesso em: 22 nov. 2022.

OLIVEIRA, Iberê Carneiro D.; OBADOWSKI, Vinícius N.; JÚNIOR, Ary P. B S.; et al. **Geração de Energia Elétrica**. Barueri: Grupo A, 2021. E-book. ISBN 9786556902531. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786556902531/>. Acesso em: 22 nov. 2022.

PHILIPPI JÚNIOR, Arlindo; REIS, Lineu Belico dos. **Energia e sustentabilidade**. Barueri: Editora Manole, 2016. E-book. ISBN 9786555761313. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786555761313/>. Acesso em: 22 nov. 2022.

PINHO, J.T.; BARBOSA, C.F.O.; PEREIRA, E.J.S; SOUSA, H.M.S; BLASQUES, L.C. **Sistemas híbridos – Soluções energéticas para a Amazônia**. 1 ed. Brasília, Brasil: Ministério de Minas e Energia, 2008. 396 p.

PINHO; GALDINO. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. [S.l.]: GTES, 2014.

REIS, L.B. **Matrizes energéticas: conceitos e usos em gestão e planejamento**. Barueri: Manole, 2011a.

RODRIGUES, Gabriel. Redução do ICMS em Minas deixará conta de luz 10% mais barata, diz CEMIG. **OTEMPO**, Belo Horizonte, 01 de jul. de 2022. Disponível em: <https://www.otempo.com.br/economia/reducao-do-icms-em-minas-deixara-conta-de->

luz-10-mais-barata-diz-CEMIG-1.2692518/. Acesso em: 22 nov. 2022.

ROSSO, André Possamai; SCHAEFFER, Lirio; RAMPINELLI, Giuliano Arns. **Desenvolvimento de módulos fotovoltaicos a partir de um processo de laminação de baixo custo.** Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2020. Disponível em: <https://nteelsolar.paginas.ufsc.br/files/2020/10/045.-Planejamento-DESENVOLVIMENTO-DE-MÓDULOS-FOTOVOLTAICOS-A-PARTIR-DE-UM-PROCESSO-DE-LAMINAÇÃO-DE-BAIXO-CUSTO.pdf/>. Acesso em: 22 nov. 2022.

RUBIM, Bárbara. **ICMS em MG: incentivo renovado por mais 10 anos.** Contagem: GENYX, 2022. Disponível em: <https://genyx.com.br/icms-em-mg-incentivo-renovado-por-mais-10-anos/>. Acesso em: 22 nov. 2022.

RUBIM, Bárbara. **Lei 14.300: Valoração dos Créditos de Energia.** Contagem: GENYX, 2022. Disponível em: <https://barbararubim.com.br/e-book-lei-14-300-2022/>. Acesso em: 22 nov. 2022.

TRÊS CORAÇÕES. **Lei Complementar nº 538, de 05 de outubro de 2020.** Dispõe sobre a contribuição para o custeio do serviço de iluminação pública prevista no art. 149-A da Constituição Federal, no âmbito do Município de Três Corações/MG, e dá outras providências. Três Corações: Câmara Municipal, [2020]. Disponível em: <https://www.legislador.com.br//legisladorweb.asp?WCI=LeiTexto&ID=95&inEspecieLei=2&nrLei=538&aaLei=2020&dsVerbete=/>. Acesso em: 22 nov. 2022.

TRÊS CORAÇÕES. **Lei Ordinária nº 4738, de 30 de agosto de 2022.** Dispõe sobre a obrigatoriedade do Município de Três Corações a implantar sistema de captação e geração de energia solar fotovoltaica em todas as construções públicas a serem realizadas no município e dá outras providências. Três Corações: Câmara Municipal, [2022]. Disponível em: <https://www.legislador.com.br//legisladorweb.asp?WCI=LeiConsulta&ID=95&nrLeiDE=4738&>. Acesso em: 22 nov. 2022.

TRIBUCI, Einar. Convênio ICMS 68/2022: saiba os seus efeitos para a GD. **Canal**

Solar, Campinas, 26 de mai. de 2022. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/convenio-icms-68-2022-saiba-os-seus-efeitos-para-a-gd/>. Acesso em: 22 nov. 2022.

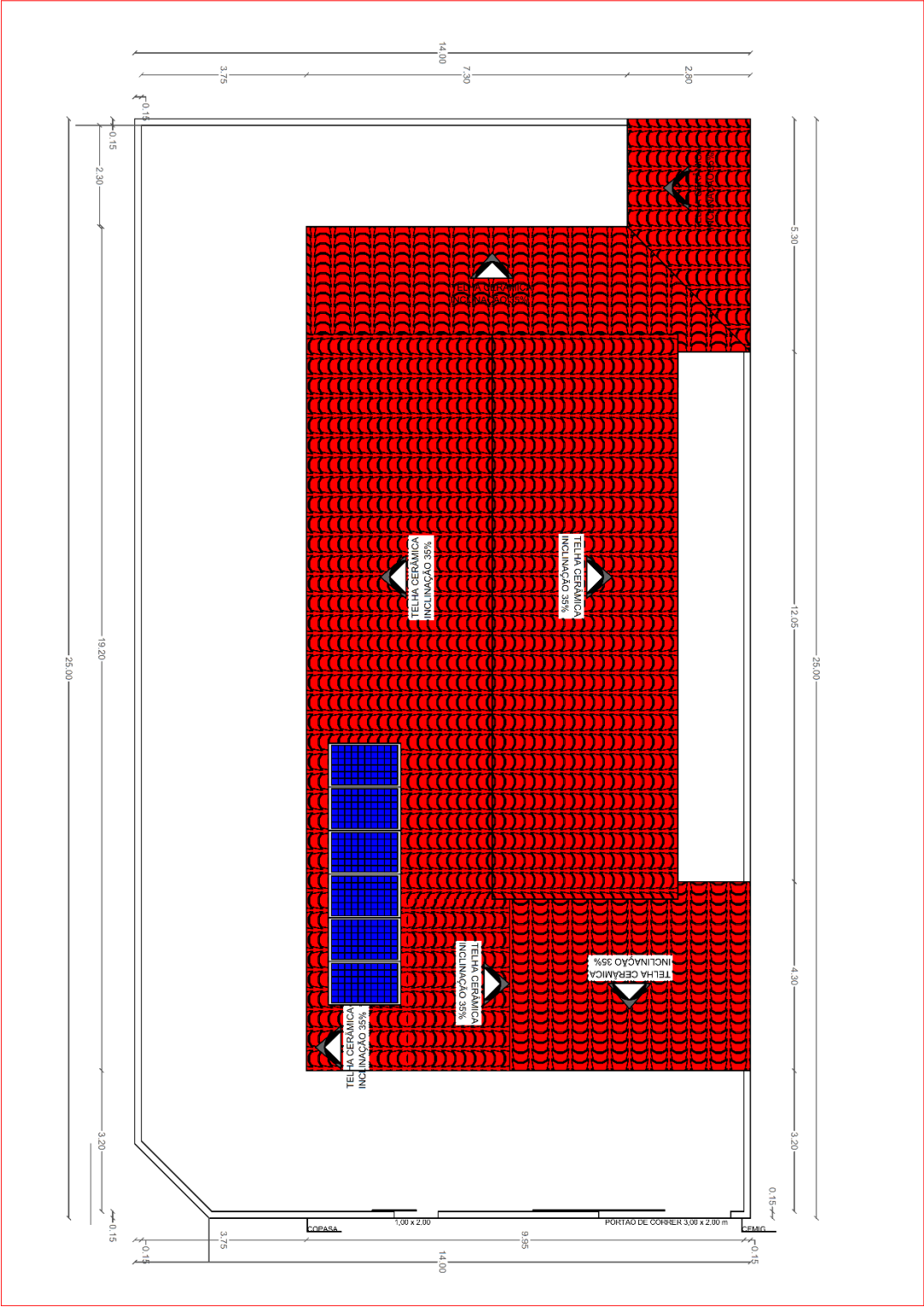
Vantagens do microinversor sobre o inversor tradicional. **SOLARINTIMA**, Sorocaba, 07 de out. de 2020. Disponível em: <https://solaritima.com.br/tabela-vantagens-do-microinversor-sobre-o-inversor-tradicional/>. Acesso em: 22 nov. 2022.

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

ZANESCO I, MOEHLECKE A. **Desenvolvimento de tecnologias industriais de fabricação de células solares e módulos fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: FINEP; 2012. Relatório Final Projeto FINEP.

ZILLES, R. et al. **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

ANEXO A – PLANTA DE COBERTURA DA RESIDÊNCIA



ANEXO B – CONTA DE ENERGIA DA RESIDÊNCIA



Cemig Distribuição S.A. CNPJ 06.981.180/0001-16 / Inscrição Estadual 062.322136.0087
Av. Barbacena, 1200 - 17º andar - Ala A1 - CEP 30190-131 - Belo Horizonte - MG

RUA JOSE CARNEIRO DE SOUZA
JARDIM RIO VERDE
37415-794 TRES CORACOES, MG

Referente a
NOV/2022
Código de Débito Automático

Nº DO CLIENTE

NOTA FISCAL - CONTA DE ENERGIA ELÉTRICA - SÉRIE U - Nº 091245808 - PTA Nº 45.000014006.81

REIMPRESSÃO

Classe	Subclasse	Datas de Leitura			Datas da Nota Fiscal		Nº DA INSTALAÇÃO
Residencial	GD -	Anterior	Atual	Próxima	Emissão	Apresentação	
Bifásico	Residencial	17/10	14/11	15/12	14/11	21/11	

Informações Técnicas					
Tipo de Medição	Medição	Leitura Anterior	Leitura Atual	Constante de Multiplicação	Consumo kWh
Energia kWh	ARL195100848	3.915	4.047	1	132
Energia Injetada	ARL195100848	7.286	7.411	1	125

Informações Gerais	Valores Faturados			
SALDO ATUAL DE GERAÇÃO: 3.414,00 kWh. Tarifa vigente conforme Res Anel nº 3.046, de 21/06/2022. Unidade faz parte de sistema de compensação de energia. O pagamento desta conta não quita débitos anteriores. Para estes, estão sujeitas penalidades legais vigentes (multas) e/ou atualização financeira (juros) baseadas no vencimento das mesmas. É dever do consumidor manter os dados cadastrais sempre atualizados e informar alterações da atividade exercida no local. Faça sua adesão para recebimento da conta de energia por e-mail acessando www.cemig.com.br Leitura realizada conforme calendário de faturamento OUT/2022 Band. Verde - NOV/2022 Band. Verde	Descrição	Quantidade	Tarifa/Preço (R\$)	Valor (R\$)
	Energia Elétrica kWh	50	0,74207816	37,08
	Energia injetada kWh HFP	82	0,65313000	-53,55
	En comp. kWh ISENTA	82	0,65313000	53,55
	Encargos/Cobranças			
	Contrib Ilum Publica Municipal			17,96
	Tarifas Aplicadas (sem impostos)			
	Energia Elétrica kWh		0,65313000	
	En comp. kWh ISENTA		0,65313000	

Indicadores de Qualidade de Fornecimento			
Tres Coracoes 1-Mês:09/2022		Valores Permitidos	
Apurado Mensal	Mensal	Trimestral	Anual
DIC 0,00	7,00	0,00	0,00
FIC 0,00	4,00	0,00	0,00
DMIC 0,00	5,00	-	-
DICRI -	13,00	-	-
Tensão: Nominal= 127/220 V Min.= 117/202 V Máx.= 133/231 V			
Valor Encargo Uso Sist. Distribuição: R\$ 70,36			

Informações de Faturamento					
PARCELAS	VALOR(R\$)	%	PARCELAS	VALOR(R\$)	%
Energia	11,38	30,69	Enc. setoriais	6,13	16,53
Distribuição	10,09	27,21	Tributos	4,43	11,95
Transmissão	2,34	6,31	Totais	37,08	100,00
Perdas	2,71	7,31			

VENCIMENTO	VALOR A PAGAR
06/12/2022	R\$ 55,04

Histórico de Consumo			
MÊS/ANO	CONSUMO kWh	MÉDIA kWh/Dia	Dias
NOV/22	132	4,71	28
OUT/22	142	4,43	32
SET/22	122	4,06	30
AGO/22	140	4,37	32
JUL/22	115	3,83	30
JUN/22	104	3,46	30
MAI/22	115	3,48	33
ABR/22	101	3,60	28
MAR/22	113	3,76	30
FEV/22	111	3,58	31
JAN/22	99	3,41	29
DEZ/21	98	3,37	29
NOV/21	100	3,33	30

Reservado ao Fisco			
6C9F.41F9.F919.0769.D112.E3AE.9877.8DAA			
Base de cálculo (R\$)	ICMS Aliquota (%)	Valor (R\$)	PASEP Valor (R\$)
17,82	18	3,20	0,22
		COFINS Valor (R\$)	
		1,01	

Ouvirória CEMIG: 0800 728 3838 - Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL - Telefone: 167 - Ligação gratuita de telefones fixos e móveis



Unidade de leitura	Conta Contrato	Vencimento	Total a pagar
		06/12/2022	R\$55,04

Novembro/2022

ANEXO C – FLUXO DE CAIXA DO TEMPO DE PROJETO

Consumo Anual de 1418 kWh					
Ano	Investimentos	Custos operacionais	Economia de energia	Fluxo de caixa anual	Fluxo de caixa acumulado
1	-R\$ 11.500,00	-R\$ 50,00	R\$ 1.024,01	-R\$ 10.525,99	-R\$ 10.525,99
2	R\$ 0,00	-R\$ 52,50	R\$ 1.127,63	R\$ 1.075,13	-R\$ 9.450,86
3	R\$ 0,00	-R\$ 55,13	R\$ 1.213,22	R\$ 1.158,09	-R\$ 8.292,77
4	R\$ 0,00	-R\$ 57,88	R\$ 1.308,39	R\$ 1.250,50	-R\$ 7.042,26
5	R\$ 0,00	-R\$ 60,78	R\$ 1.414,05	R\$ 1.353,28	-R\$ 5.688,99
6	R\$ 0,00	-R\$ 63,81	R\$ 1.531,23	R\$ 1.467,41	-R\$ 4.221,57
7	R\$ 0,00	-R\$ 67,00	R\$ 1.661,03	R\$ 1.594,02	-R\$ 2.627,55
8	R\$ 0,00	-R\$ 70,36	R\$ 1.804,68	R\$ 1.734,33	-R\$ 893,22
9	R\$ 0,00	-R\$ 73,87	R\$ 1.963,55	R\$ 1.889,67	R\$ 996,45
10	R\$ 0,00	-R\$ 77,57	R\$ 2.139,11	R\$ 2.061,54	R\$ 3.057,99
11	R\$ 0,00	-R\$ 81,44	R\$ 2.333,00	R\$ 2.251,56	R\$ 5.309,55
12	R\$ 0,00	-R\$ 85,52	R\$ 2.547,04	R\$ 2.461,52	R\$ 7.771,07
13	R\$ 0,00	-R\$ 89,79	R\$ 2.783,20	R\$ 2.693,41	R\$ 10.464,48
14	R\$ 0,00	-R\$ 94,28	R\$ 3.043,67	R\$ 2.949,39	R\$ 13.413,87
15	R\$ 0,00	-R\$ 99,00	R\$ 3.330,86	R\$ 3.231,87	R\$ 16.645,74
16	R\$ 0,00	-R\$ 103,95	R\$ 3.647,42	R\$ 3.543,47	R\$ 20.189,21
17	R\$ 0,00	-R\$ 109,14	R\$ 3.996,25	R\$ 3.887,10	R\$ 24.076,31
18	R\$ 0,00	-R\$ 114,60	R\$ 4.380,55	R\$ 4.265,95	R\$ 28.342,26
19	R\$ 0,00	-R\$ 120,33	R\$ 4.803,87	R\$ 4.683,54	R\$ 33.025,80
20	R\$ 0,00	-R\$ 126,35	R\$ 5.270,06	R\$ 5.143,72	R\$ 38.169,51
21	R\$ 0,00	-R\$ 132,66	R\$ 5.783,41	R\$ 5.650,75	R\$ 43.820,26
22	R\$ 0,00	-R\$ 139,30	R\$ 6.348,61	R\$ 6.209,31	R\$ 50.029,57
23	R\$ 0,00	-R\$ 146,26	R\$ 6.970,82	R\$ 6.824,56	R\$ 56.854,13
24	R\$ 0,00	-R\$ 153,58	R\$ 7.655,72	R\$ 7.502,15	R\$ 64.356,27
25	R\$ 0,00	-R\$ 161,25	R\$ 8.409,57	R\$ 8.248,32	R\$ 72.604,59

Consumo Anual de 2640 kWh					
Ano	Investimentos	Custos operacionais	Economia de energia	Fluxo de caixa anual	Fluxo de caixa acumulado
1	-R\$ 11.500,00	-R\$ 50,00	R\$ 1.909,17	-R\$ 9.640,83	-R\$ 9.640,83
2	R\$ 0,00	-R\$ 52,50	R\$ 2.102,36	R\$ 2.049,86	-R\$ 7.590,97
3	R\$ 0,00	-R\$ 55,13	R\$ 2.261,93	R\$ 2.206,81	-R\$ 5.384,16
4	R\$ 0,00	-R\$ 57,88	R\$ 2.439,36	R\$ 2.381,48	-R\$ 3.002,68
5	R\$ 0,00	-R\$ 60,78	R\$ 2.636,36	R\$ 2.575,59	-R\$ 427,09
6	R\$ 0,00	-R\$ 63,81	R\$ 2.854,83	R\$ 2.791,01	R\$ 2.363,92
7	R\$ 0,00	-R\$ 67,00	R\$ 3.096,83	R\$ 3.029,82	R\$ 5.393,75
8	R\$ 0,00	-R\$ 70,36	R\$ 3.364,66	R\$ 3.294,31	R\$ 8.688,05
9	R\$ 0,00	-R\$ 73,87	R\$ 3.660,85	R\$ 3.586,98	R\$ 12.275,03
10	R\$ 0,00	-R\$ 77,57	R\$ 3.988,16	R\$ 3.910,60	R\$ 16.185,63
11	R\$ 0,00	-R\$ 81,44	R\$ 4.349,66	R\$ 4.268,22	R\$ 20.453,84
12	R\$ 0,00	-R\$ 85,52	R\$ 4.748,71	R\$ 4.663,20	R\$ 25.117,04
13	R\$ 0,00	-R\$ 89,79	R\$ 5.189,01	R\$ 5.099,22	R\$ 30.216,26
14	R\$ 0,00	-R\$ 94,28	R\$ 5.674,64	R\$ 5.580,36	R\$ 35.796,62
15	R\$ 0,00	-R\$ 99,00	R\$ 6.210,08	R\$ 6.111,08	R\$ 41.907,71
16	R\$ 0,00	-R\$ 103,95	R\$ 6.800,26	R\$ 6.696,32	R\$ 48.604,02
17	R\$ 0,00	-R\$ 109,14	R\$ 7.450,62	R\$ 7.341,48	R\$ 55.945,50
18	R\$ 0,00	-R\$ 114,60	R\$ 8.167,13	R\$ 8.052,53	R\$ 63.998,03
19	R\$ 0,00	-R\$ 120,33	R\$ 8.956,36	R\$ 8.836,02	R\$ 72.834,05
20	R\$ 0,00	-R\$ 126,35	R\$ 9.825,54	R\$ 9.699,19	R\$ 82.533,24
21	R\$ 0,00	-R\$ 132,66	R\$ 10.782,63	R\$ 10.649,96	R\$ 93.183,21
22	R\$ 0,00	-R\$ 139,30	R\$ 11.836,38	R\$ 11.697,09	R\$ 104.880,29
23	R\$ 0,00	-R\$ 146,26	R\$ 12.996,43	R\$ 12.850,17	R\$ 117.730,46
24	R\$ 0,00	-R\$ 153,58	R\$ 14.273,37	R\$ 14.119,80	R\$ 131.850,26
25	R\$ 0,00	-R\$ 161,25	R\$ 15.678,86	R\$ 15.517,60	R\$ 147.367,86

Consumo Anual de 2850 kWh					
Ano	Investimentos	Custos operacionais	Economia de energia	Fluxo de caixa anual	Fluxo de caixa acumulado
1	-R\$ 11.500,00	-R\$ 50,00	R\$ 2.030,50	-R\$ 9.519,50	-R\$ 9.519,50
2	R\$ 0,00	-R\$ 52,50	R\$ 2.235,08	R\$ 2.182,58	-R\$ 7.336,92
3	R\$ 0,00	-R\$ 55,13	R\$ 2.404,74	R\$ 2.349,61	-R\$ 4.987,31
4	R\$ 0,00	-R\$ 57,88	R\$ 2.593,37	R\$ 2.535,49	-R\$ 2.451,82
5	R\$ 0,00	-R\$ 60,78	R\$ 2.802,81	R\$ 2.742,04	R\$ 290,22
6	R\$ 0,00	-R\$ 63,81	R\$ 3.035,07	R\$ 2.971,26	R\$ 3.261,48
7	R\$ 0,00	-R\$ 67,00	R\$ 3.292,36	R\$ 3.225,35	R\$ 6.486,83
8	R\$ 0,00	-R\$ 70,36	R\$ 3.577,11	R\$ 3.506,75	R\$ 9.993,58
9	R\$ 0,00	-R\$ 73,87	R\$ 3.892,00	R\$ 3.818,12	R\$ 13.811,71
10	R\$ 0,00	-R\$ 77,57	R\$ 4.239,98	R\$ 4.162,42	R\$ 17.974,12
11	R\$ 0,00	-R\$ 81,44	R\$ 4.624,31	R\$ 4.542,87	R\$ 22.516,99
12	R\$ 0,00	-R\$ 85,52	R\$ 5.048,56	R\$ 4.963,04	R\$ 27.480,03
13	R\$ 0,00	-R\$ 89,79	R\$ 5.516,67	R\$ 5.426,87	R\$ 32.906,91
14	R\$ 0,00	-R\$ 94,28	R\$ 6.032,96	R\$ 5.938,68	R\$ 38.845,59
15	R\$ 0,00	-R\$ 99,00	R\$ 6.602,21	R\$ 6.503,22	R\$ 45.348,80
16	R\$ 0,00	-R\$ 103,95	R\$ 7.229,67	R\$ 7.125,72	R\$ 52.474,52
17	R\$ 0,00	-R\$ 109,14	R\$ 7.921,09	R\$ 7.811,95	R\$ 60.286,47
18	R\$ 0,00	-R\$ 114,60	R\$ 8.682,85	R\$ 8.568,25	R\$ 68.854,72
19	R\$ 0,00	-R\$ 120,33	R\$ 9.521,91	R\$ 9.401,58	R\$ 78.256,30
20	R\$ 0,00	-R\$ 126,35	R\$ 10.445,98	R\$ 10.319,63	R\$ 88.575,93
21	R\$ 0,00	-R\$ 132,66	R\$ 11.463,51	R\$ 11.330,85	R\$ 99.906,78
22	R\$ 0,00	-R\$ 139,30	R\$ 12.583,81	R\$ 12.444,51	R\$ 112.351,29
23	R\$ 0,00	-R\$ 146,26	R\$ 13.817,11	R\$ 13.670,85	R\$ 126.022,14
24	R\$ 0,00	-R\$ 153,58	R\$ 15.174,69	R\$ 15.021,11	R\$ 141.043,26
25	R\$ 0,00	-R\$ 161,25	R\$ 16.668,93	R\$ 16.507,67	R\$ 157.550,93