

CENTRO UNIVERSITÁRIO FEI
HIGOR NASCIMENTO GROTTI DA SILVA

ANÁLISE DO RETORNO FINANCEIRO APÓS AS MUDANÇAS NA
REGULAMENTAÇÃO DA GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR NO BRASIL

São Bernardo do Campo - SP

SP

HIGOR NASCIMENTO GROTTI DA SILVA

Nascimento Grotti da Silva, Higor.

Análise do retorno financeiro após as mudanças na regulamentação da geração de energia solar no Brasil / Higor Nascimento Grotti da Silva. São Bernardo do Campo, 2023.

90 p. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso - Centro Universitário FEL

Orientador: Prof. Romildo de C. Paradelo Junior.

1. Energia solar. 2. Projeto fotovoltaico. 3. Fio B. I. de C. Paradelo Junior, Romildo, orient. II. Título.

Elaborada pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da FEI com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

ANÁLISE DO RETORNO FINANCEIRO APÓS AS MUDANÇAS NA
REGULAMENTAÇÃO DA GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR NO BRASIL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro Universitário FEI, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica. Orientado pelo Prof. Me. Romildo de Campos Paradelo Junior.

São Bernardo do Campo

2023

Higor Nascimento Grotti da Silva

ANÁLISE DO RETORNO FINANCEIRO APÓS AS MUDANÇAS NA
REGULAMENTAÇÃO DA GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR NO BRASIL

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado
ao Centro Universitário FEI, como parte dos
requisitos necessários para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Comissão julgadora

Romildo de Campos Paradelo Junior

Michele Rodrigues Hempel Lima

Wellington Cassio Pinheiro

São Bernardo do Campo

2023

Dedico este trabalho aos meus estimados pais, cuja presença e apoio incansável foram fundamentais, e que em nenhum momento, pouparam esforços para me ajudar ao longo de toda a minha trajetória acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao professor e orientador Romildo de Campos Paradelo Junior que ao longo dos últimos meses me acompanhou e orientou sempre solícitamente, auxiliando para a elaboração dessa pesquisa.

E aos demais professores que fizeram parte dessa trajetória, agradeço a oportunidade de aprender, crescer e superar desafios, construindo uma base sólida para o meu futuro profissional e pessoal.

RESUMO

O Brasil está em fase de expansão de sua capacidade de geração elétrica, na qual se destaca a energia solar. Este trabalho realizou uma análise do retorno financeiro de um projeto fotovoltaico residencial, considerando o aumento da aplicação desses sistemas, e pos em evidência os benefícios associados, tais como a redução das despesas com energia e os impactos positivos. Aspectos fundamentais dos sistemas fotovoltaicos foram discutidos em detalhes, juntamente com uma análise do perfil do consumidor residencial. A análise realizada surgiu também da necessidade de se contextualizar um projeto fotovoltaico frente às recentes alterações normativas no Brasil. A metodologia empregada consistiu na realização de uma análise financeira de um projeto fotovoltaico residencial localizado em São Bernardo do Campo, São Paulo. Utilizou-se o software PVSol para realizar simulações. A determinação da energia necessária para atender a uma família de cinco pessoas – consumo médio de 390kWh/mês – resultou em um projeto de 3,68 kWp. O trabalho também incluiu uma pesquisa de mercado que estimou custos médios. A análise financeira comparou diferentes cenários de instalação, demonstrando a viabilidade econômica ao longo de 25 anos em três cenários distintos: instalação até 2022, instalação em 2023 e instalação em 2029. Por fim, o estudo concluiu que, mesmo diante das mudanças regulamentadoras e da introdução da nova taxa do Fio B, o investimento em energia fotovoltaica residencial mantém-se economicamente viável no Brasil. Essa constatação reforçou a posição da energia solar como uma alternativa sustentável e lucrativa no contexto energético nacional.

Palavras-chave: Energia solar. Projeto fotovoltaico. Fio B.

ABSTRACT

Brazil is currently expanding its electrical generation capacity, with a notable focus on solar energy. This study conducted a financial analysis of a residential photovoltaic project, considering the increasing use of these systems, and highlighted associated benefits such as reduced energy expenses and positive impacts. We discussed in detail the fundamental aspects of photovoltaic systems, along with an analysis of the residential consumer profile. The analysis emerged from the need to contextualize a photovoltaic project in light of recent regulatory changes in Brazil. The methodology involved a financial analysis of a residential photovoltaic project located in São Bernardo do Campo, São Paulo, using PVSol software for simulations. The determination of the energy needed to serve a family of five – with an average consumption of 390 kWh/month – resulted in a 3.68 kWp project. The study also included market research estimating average costs. The financial analysis compared different installation scenarios, demonstrating economic viability over 25 years in three distinct scenarios: installation by 2022, installation in 2023, and installation in 2029. Ultimately, the study concluded that, even in the face of regulatory changes and the introduction of the new Fio B fee, investment in residential photovoltaic energy remains economically viable in Brazil. This finding reinforces solar energy's position as a sustainable and profitable alternative in the national energy context.

Keywords: Solar energy. Photovoltaic project. Fio B.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte.....	21
Figura 2: Geração de energia elétrica de fontes não renováveis.....	22
Figura 3: Evolução da capacidade instalada de geração fotovoltaica dos principais Países e no Brasil (GW).....	28
Figura 4: Potencial de Energia Solar no Mundo.....	30
Figura 5: Média anual de irradiação solar no Brasil.....	31
Figura 6: Sistema on-grid e off-grid.....	33
Figura 7: Sistema de aquecimento solar de água.....	34
Figura 8: Microgeração conectado à rede.....	35
Figura 9: Diagrama de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica	36
Figura 10: Módulos solares.....	37
Figura 11: Inversor fotovoltaico.....	38
Figura 12: Comportamento médio do consumo de energia elétrica de um dia.....	38
Figura 13: Tarifa de energia TE e TUSD.....	43
Figura 14: Porcentagem da TUSD no Fio B na tarifa de eletricidade em 2021.....	44
Figura 15: Percentuais de cobrança de acordo com o ano da instalação.....	47
Figura 16: Modulo Sunova 445-460W.....	50
Figura 17: Irradiação solar por mês.....	52
Figura 18: Expectativa de geração em comparação com o consumo por mês.....	55
Figura 19: Inversor Growatt MIN 3600TL-XH.....	56
Figura 20: Estrutura de fixação telhado de cerâmica.....	56
Figura 21: String Box quadro 2 entradas e 2 saídas 1000V.....	57
Figura 22: Vista superior telhado.....	58
Figura 23: Configuração por MPPT do inversor.....	59
Figura 24: Diagrama de blocos.....	60
Figura 25: Resultados obtidos através do software PVSol.....	60
Figura 26: Valores TUSD e TE (com tributos) em São Bernardo do Campo-SP.....	63
Figura 27: Valor TUSD Fio B.....	63
Figura 28: Retorno financeiro após 25 anos.....	66
Figura 29: Simulação do investimento.....	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Importações de módulos fotovoltaicos e inversores, Brasil 2012 -2020.....	29
Tabela 2: Irradiação solar diária média por mês.....	51
Tabela 3: Irradiação solar por inclinação do ângulo.....	52
Tabela 4: Geração por painel.....	53
Tabela 5: Lista de materiais do projeto.....	62
Tabela 6: Cotações sistema fotovoltaico.....	62
Tabela 7: Comparação da economia anual se o sistema fosse instalado até 2022 x sistema instalado no ano 2023 (75% injetada e 25% consumida)	65
Tabela 8: Condições.....	67
Tabela 9: Comparação de cenários energia injetada x energia consumida instantânea.....	68
Tabela 10: Economia Ajustada.....	71

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

ANP - Agência Nacional do Petróleo

AP - Audiência Pública

BEN - Balanço Energético Nacional

BNDES - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social

CA - Corrente Alternada

CC - Corrente Contínua

CCD - Contrato de Conexão

CCEE - Câmara de Comercialização de Energia Elétrica

CDB - Certificado de Depósito Bancário

CNPE - Conselho Nacional de Política Energética

CP - Consulta Pública

CRESESB - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica

CUSD - Contrato de Uso de Sistemas de Distribuição

EPE - Empresa de Pesquisa Energética

EPIA - European Photovoltaic Industry Association

GD - Geração Distribuída

GT-GDSF - Grupo de Trabalho de Geração Distribuída com Sistemas Fotovoltaicos

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IGBT - Insulated Gate Bipolar Transistor

LCA - Letra de Crédito do Agronegócio

MME - Ministério de Minas e Energia

MOSFET - Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor

ONU - Organização das Nações Unidas

PCH - Pequenas Centrais Hidrelétricas

PNAD - Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios

PROINFA - Programa de Estímulo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica

REN - Resolução Normativa

SCEE - Sistema de Compensação de Energia Elétrica

SIN - Sistema Interligado Nacional

TE - Tarifa de Energia

TEP - Toneladas Equivalentes de Petróleo

TFT - Taxa de Fecundidade Total

TUSD - Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição

TUST - Tarifa de Uso do Sistema de Transmissão

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 Energia.....	16
2.1.1 Histórico Brasileiro	17
2.1.2 Cenário Atual.....	18
2.2 Fontes de Energia	19
2.2.1 Cenário mundial	19
2.2.2 Oferta interna de energia elétrica	20
2.3 Energia Renovável.....	22
2.3.1 Energias Renováveis no Brasil	23
2.3.1 Principais fontes de energia renovável	24
2.3.1.1 Biomassa	25
2.3.1.2 Eólica	25
2.3.1.3 Hidrelétrica	26
2.3.1.4 Solar	26
2.4 Energia Fotovoltaica	27
2.4.1 Evolução	28
2.4.2 Cenário atual.....	29
2.1.3 Irradiação Solar	31
2.1.4 Sistemas Off e On-grid	32
2.1.5 Diferença entre sistema fotovoltaico e de aquecimento	33
2.4. Futuro da Energia Fotovoltaica	34
2.5 Sistema Fotovoltaico.....	35
2.5.1 Principais componentes.....	36
2.6.1 Crescimento Populacional	39
2.6.2 Aumento dos Eletrônicos	40
2.6.3 Consumo.....	40

2.6.4 Demanda de energia ao longo do dia	41
2.7 Regulamentação Energia Solar	42
2.7.1 Conceitos	43
2.7.1 REN 482/2012.....	44
2.7.1 REN 687/2015.....	45
2.7.1 Lei 14.300/2022	46
3 METODOLOGIA.....	49
3.1 Parâmetros e Materiais.....	49
3.1.1 Módulo Solar.....	50
3.1.2 Irradiação em Solar São Bernardo do Campo - SP	51
3.1.3 Dimensionamento	52
3.1.4 Materiais Diversos	56
3.2 Simulação	57
3.3 Valorização.....	61
3.4 Cenários.....	63
3.5 Análise dos Resultados dos Cenários.....	69
4 CONCLUSÃO.....	74
REFERÊNCIAS	76
ANEXOS	84
ANEXO A – GRAFICO DE CRESCIMENTO ANUAL DA POPULAÇÃO.....	85
ANEXO B – DATASHEET MODULO SUNOVA 460W	86
ANEXO C – INVERSOR GROWATT MIN2500TL-Xh – MIN6000TL-XH	88
ANEXO D – CONSUMO RESIDENCIAL (2029 -2023)	89
ANEXO E – COTAÇÃO A.....	89
ANEXO F – COTAÇÃO B	90
ANEXO G – COTAÇÃO C	90
ANEXO H – COTAÇÃO D	91

1 INTRODUÇÃO

A energia elétrica desempenha um papel crucial no desenvolvimento socioeconômico e tecnológico da sociedade contemporânea, refletindo uma crescente demanda global associada ao consumo moderno. No entanto, essa evolução também trouxe consigo uma dependência significativa de combustíveis fósseis, contribuindo para impactos ambientais, como emissões responsáveis pelo aquecimento global e perda de biodiversidade.

No contexto brasileiro, a história do desenvolvimento energético revela uma transição de fontes, inicialmente centrada na queima de lenha durante a industrialização, para uma diversificação que inclui hidrelétricas e, usinas eólicas e usinas fotovoltaicas de pequeno a grande porte.

A metodologia aplicada neste trabalho envolve a análise financeira do investimento em uma instalação de energia fotovoltaica projetada para uma residência em São Bernardo do Campo, São Paulo, considerando dois cenários: antes e depois da regulamentação atualmente em vigor, conhecida como marco legal da energia solar. O estudo abrange a avaliação completa do investimento necessário, incluindo materiais, instalação e custos associados, visando comparar os períodos de retorno do investimento em ambos os cenários.

Considerando a variação do consumo residencial ao longo do dia e a injeção de energia na rede elétrica, a análise do payback será realizada com base no valor final do sistema de geração, levando em consideração as regulamentações vigentes e a progressiva adição ao valor do FIO B até 2029. Essa abordagem visa proporcionar uma compreensão abrangente das implicações financeiras da adoção da energia solar no contexto regulatório brasileiro.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Energia

A energia elétrica é um dos pilares fundamentais da sociedade contemporânea, desempenhando um papel crucial no desenvolvimento econômico, social e tecnológico. O crescimento do consumo de energia elétrica é um movimento global associado ao desenvolvimento das sociedades e à qualidade de vida e saúde (SOUZA et al., 2013; FERREIRA NETO; CORRÊA; PEROBELLI, 2019). A energia está presente em todos os setores da sociedade, desde a economia, o trabalho, o ambiente até a moradia, a alimentação e o transporte (Hinrichs, 2010). As pessoas possuem demanda por serviços energéticos essenciais para suprir suas atividades diárias, tais como locomoção, iluminação, aquecimento e refrigeração, os quais podem ser satisfeitos por meio de energia.

Observa-se, contudo, que o sistema energético mundial é fortemente dependente dos combustíveis fósseis, ou seja, das energias primárias, e seu uso se dá a cerca de 150 anos. Tem-se como fontes primárias de energia: carvão, gás, petróleo e urânio (Goldemberg, 2010, p. 28). Segundo Hinrichs (2010, p. 1), a energia é necessária para criação de bens a partir de recursos naturais e para fornecer muitos dos serviços que nos beneficiam diariamente. Ademais, energia é classificada como um direito essencial, uma vez que permite que os indivíduos alcancem uma existência digna.

Ao longo dos anos, o desenvolvimento humano resultou em maior conforto e longevidade devido aos avanços na agricultura, medicina e outros campos. No entanto, esse progresso levou ao aumento da densidade populacional e à demanda por recursos energéticos, resultando em impactos ambientais. De fato, é impossível abordar o tema da energia sem fazer referência ao meio ambiente. Nos tempos atuais, é muito alto o consumo de energia pelo homem, sendo uma das causas em grande parte dos impactos ambientais. Como exemplo, têm-se as fontes de emissões de gases, principais ocasionadoras do aquecimento global, que intensificam as mudanças climáticas e causam perda da biodiversidade (Goldemberg, 2010, p. 37).

A crescente preocupação com as questões ambientais e a conscientização mundial sobre a promoção do desenvolvimento em bases sustentáveis vêm estimulando a realização de pesquisas de desenvolvimento tecnológico voltadas ao uso de fontes renováveis de energia, com baixo impacto ambiental (FREITAS & DATHEIN, 2013).

2.1.1 Histórico Brasileiro

O Brasil, de maneira particular, é constituído por variadas matérias-primas úteis para a produção de energia. Embora em quantidades distintas, isso não representa um obstáculo para atender à demanda interna nem para a dependência externa de petróleo. Diante de uma paisagem biológica diversificada no território brasileiro, a exploração da Matriz Energética Brasileira teve início primordialmente em necessidades de transporte.

Ao início da industrialização brasileira, utilizou-se inicialmente da queima da lenha, em que o consumo atingia mais de 75%. Desde então foram surgindo necessidades de diversificação nesta matriz energética que suprisse o país no contexto de um acentuado crescimento urbano e industrial, no qual se destacam a eletricidade para a indústria, famílias e transporte, além do gás e petróleo para também compor indústrias e transportes (CEMIG, 2012; EPE, 2007). A partir da década de 1960, durante a ditadura militar, houve aumento considerável no consumo energético impulsionado pelas grandes construções nos setores de transportes e de construções, sob a tutela da necessidade do progresso nacional. Nesse mesmo período, a expansão energética foi observada através das edificações de usinas hidroelétricas, como as de Ilha Solteira, de Tucuruí e a Usina de Itaipu, além das usinas nucleares Angra 1 e Angra 2 (SILVEIRA, 2017). Com o vigoroso crescimento econômico e demográfico brasileiro, a demanda interna por energia no século XX também acompanhou este mesmo ritmo. De acordo com a série histórica de consumo de energia, em 1970 o consumo interno foi estimado em 68,01 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (tep), à época com uma população de 93 milhões de habitantes. Em compensação, na virada do século, a demanda por energia mais que dobrou, atingindo 197,06 milhões tep, em face de uma população de cerca de 170 milhões de pessoas (TOLMASQUIM; GUERREIRO; GORINI, 2007). Durante os anos 1990, ocorreu um aumento de 49% no consumo de energia, porém a capacidade de geração de energia instalada expandiu apenas 35%. Diante da iminente possibilidade de uma crise no fornecimento, o racionamento de energia foi adiado em virtude da produção termelétrica no Brasil. Além disso, a utilização das reservas hídricas também foi adotada como medida para suprir essa disparidade entre a demanda e a oferta de energia. Entretanto, o uso dessas fontes resultou em riscos cada vez maiores de déficit energético, segundo Tolmasquim.

O Brasil se tornou autossuficiente em petróleo em 2006, quando foi anunciado pela Petrobrás extensas reservas de petróleo e gás nas camadas de pré-sal do litoral do Espírito Santo e de São Paulo. Também, nesse mesmo período, começou a se verificar um crescimento da demanda por biocombustíveis. Com isso, para além da preocupação com questões ambientais,

o interesse brasileiro em diversificar sua matriz energética concentrou-se principalmente na inserção de fontes alternativas à gasolina no mercado interno, diminuindo a dependência do mercado externo (KOHLHEPP, 2010). Cabe destacar que a produção e o consumo de gás natural aumentaram e, portanto, foram desenvolvidas maiores infraestruturas para o transporte e para a importação. Ademais foram descobertas novas reservas de gás natural no assoalho marítimo, mas que ainda precisam de instalações próprias para seu armazenamento e, conseqüentemente, de fomento para essa indústria (CONFORT; MOTHE, 2014).

2.1.2 Cenário Atual

A preocupação do crescimento contínuo do consumo está relacionada à segurança energética e à necessidade de ampliação da capacidade instalada (OLIVEIRA; REBELATTO, 2015; FERREIRA NETO; CORRÊA; PEROBELLI, 2019). Em 2018, a oferta interna de energia elétrica foi de 636,4 TWh, da qual uma parcela de 35,0 TWh foi importada. Esse total equivale a 2,3% da geração mundial (EPE, 2019).

Segundo a EPE, apesar dos avanços em eficiência energética, no período entre 2000 e 2019, esse consumo cresceu a uma taxa média geométrica anual de 2,8% no Brasil, em sua recente publicação do Anuário Estatístico de Energia Elétrica. A capacidade instalada de geração de eletricidade no Brasil foi expandida em 4,1% no período entre 2021 e 2022, com a contribuição majoritária da geração hidráulica (54,6%). Porém, a maior expansão proporcional ocorreu na geração solar, que fechou o ano de 2022 com um aumento na potência instalada de 59,5% em relação ao ano anterior, o que corresponde a uma expansão de 2,8 GW de plantas de geração solar.

A alta na produção hidrelétrica está intimamente ligada às condições hidrológicas favoráveis registradas em 2022, o que levou ao aumento na geração de energia por meio de usinas hidrelétricas e à redução da utilização de usinas termelétricas movidas a combustíveis fósseis. Assim, as maiores reduções percentuais foram observadas na geração de energia por usinas termelétricas a gás natural (-51,6%), derivados de petróleo (-57,2%) e carvão (-54,6%). Esses movimentos contribuíram para a diminuição da participação desses combustíveis fósseis na matriz de geração de energia nacional, caindo de 18,7% em 2021 para 8,5% em 2022, enquanto a geração hidrelétrica retomou sua contribuição em 2022, representando 63% do total gerado, um patamar semelhante ao registrado em 2020, conforme relatado pela EPE.

2.2 Fontes de Energia

As fontes de energia desempenham um papel vital na sustentação das atividades humanas, impulsionando o desenvolvimento econômico e tecnológico. Ao longo dos anos, a humanidade tem explorado diversas fontes para atender à crescente demanda energética, a princípio recursos fósseis, como petróleo e carvão. Como solução para exaustão dos combustíveis fósseis e os problemas relacionados ao seu uso, tem-se indicado uma migração para fontes de energia renováveis (Veiga, 2010, p. 63), como solar, eólica, hidrelétrica e biomassa (com destaque para os biocombustíveis que são obtidos a partir de matérias-primas renováveis e têm a capacidade de substituir total ou parcialmente os combustíveis fósseis em motores de combustão e outras formas de geração de energia).

No contexto brasileiro, destacam-se dois biocombustíveis de uso amplamente difundido: o etanol, produzido a partir da cana-de-açúcar; e o biodiesel, obtido a partir de óleos vegetais ou gordura animal, que é adicionado ao diesel derivado do petróleo. O uso desses biocombustíveis resulta em emissões atmosféricas de poluentes reduzidas em comparação com os combustíveis fósseis convencionais. Além disso, as emissões de dióxido de carbono provenientes da queima do etanol são parcialmente compensadas pela absorção do carbono pelas plantações de cana-de-açúcar. O biodiesel também oferece vantagens ambientais, tais como emitir em média 48% menos monóxido de carbono, 47% menos material particulado – estes penetrantes nos pulmões –, e 67% menos hidrocarbonetos (BRASIL, 2017). Farina e Rodrigues (2018) constaram que a utilização dos biocombustíveis é uma perspectiva concreta para substituir os combustíveis fósseis, sendo economicamente viável e capaz de atender à crescente demanda do mercado brasileiro de maneira sustentável.

A escolha das fontes de energia possui implicações significativas em termos de disponibilidade, segurança, impactos ambientais e sustentabilidade. Portanto, compreender as características, benefícios e desafios associados a cada fonte de energia é de suma importância para orientar políticas energéticas eficientes e sustentáveis.

2.2.1 Cenário mundial

No cenário atual, em que a preocupação com as mudanças climáticas e a busca por alternativas mais limpas e sustentáveis são cada vez mais relevantes, as fontes de energia renováveis ganham destaque global. A energia eólica, por exemplo, tem experimentado um

crescimento notável em sua adoção, devido à disponibilidade abundante de sua fonte e aos benefícios ambientais que proporciona.

Para Tolmasquim (2012), destaca-se a importância da energia eólica como fonte de energia, devido à sua tendência de redução de custos na geração. Em 2005, o custo de produção de energia eólica era viável a partir de R\$ 300/MWh. No período de 2011, os preços oscilaram entre R\$ 99/MWh e R\$ 105/MWh, representando um terço do valor anterior. Esse declínio nos custos é resultado do aumento da capacidade instalada. Em 2004, a capacidade instalada era de apenas 30 MW, enquanto em 2016 atingiu a marca de 8000 MW. Esses avanços indicam um cenário promissor para a expansão da energia eólica como uma alternativa econômica e sustentável.

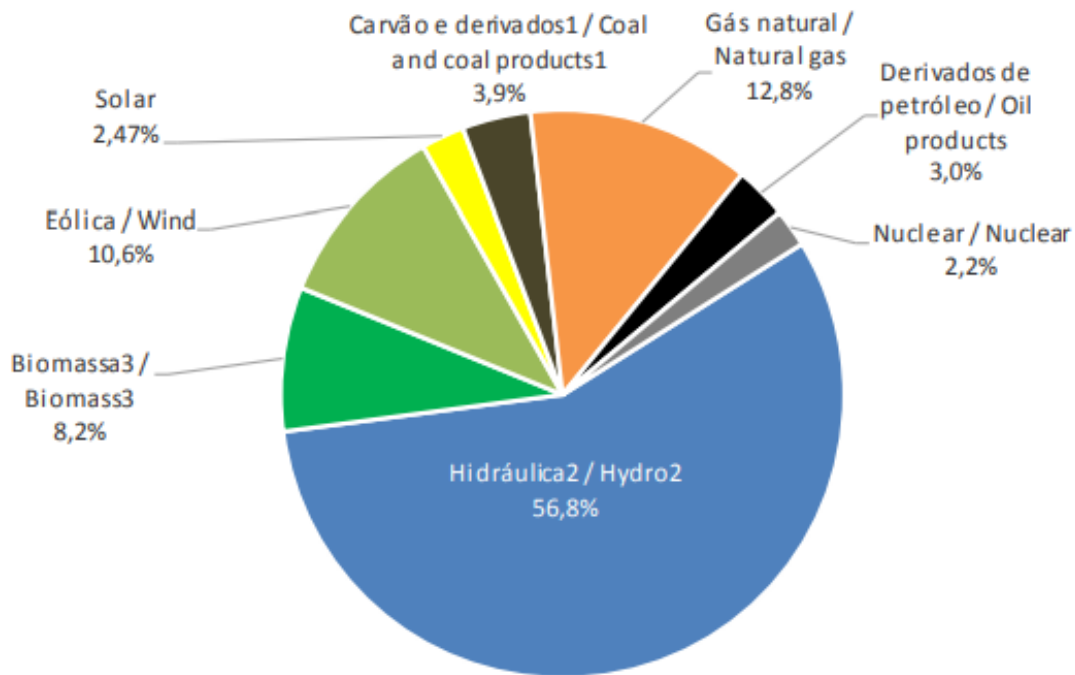
Além disso, a energia hidrelétrica, já estabelecida e amplamente utilizada em muitos países, continua sendo uma importante fonte de energia renovável para o mundo e principalmente para o Brasil. Sendo a fonte geradora mais expressiva em nosso país, no entanto, é importante ressaltar que essa fonte de energia está sujeita à dependência das condições hidrológicas. Isso ficou evidenciado durante períodos de intensa seca ocorridos nos últimos anos, os quais representaram uma ameaça à produção de energia elétrica no país.

Diante desse cenário, surgiu a demanda de diversificação da matriz energética e reduzir a dependência exclusiva da energia hidrelétrica. Há necessidade de expandir o fornecimento de energia por meio de inserção de fontes renováveis, otimizar a geração de energia intermitente, que é o caso da energia hidráulica, além de analisar o papel da energia fossilizada diante do contexto mundial (SILVA; MARCHI NETO; SEIFERT, 2016).

2.2.2 Oferta interna de energia elétrica

A geração de energia elétrica no Brasil em centrais de serviço público e autoprodutores atingiu 656,1 TWh em 2021, resultado 4% acima de 2020. A geração hídrica, principal fonte de energia como visto no gráfico 1, reduziu -8,6% na comparação com o ano anterior, segundo o BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL 2022 fornecido pela EPE.

Figura 1: Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte.

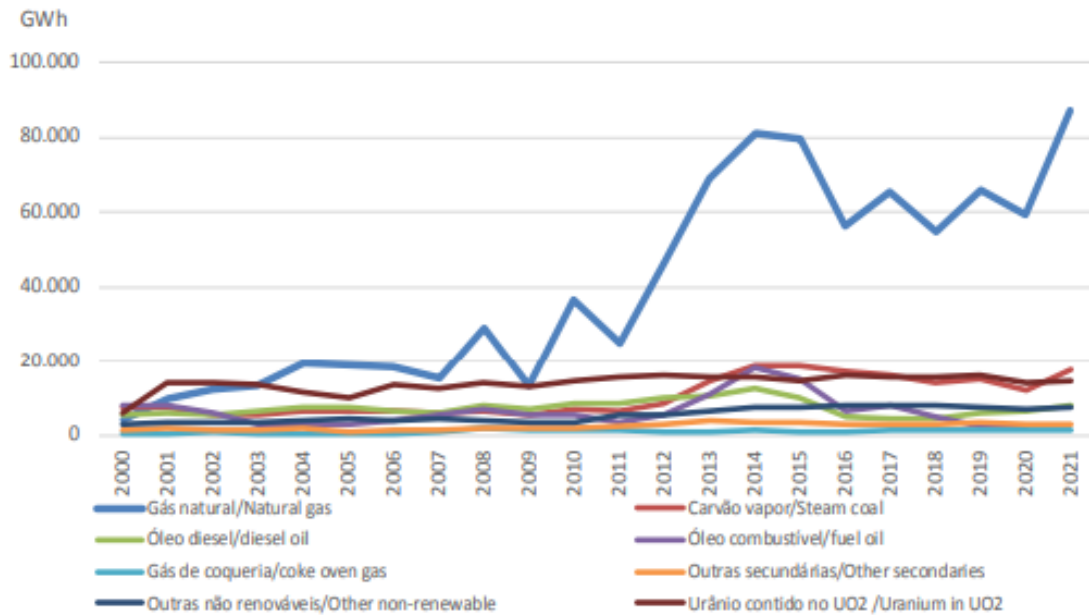


Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 2021.

O consumo final foi de 570,8 TWh, representando uma expansão de 5,7% em comparação ao ano anterior. O gráfico 1.1.b apresenta a estrutura da oferta interna de eletricidade no Brasil em 2021. (EPE, 2021). Para Tolmasquim (2012), a composição energética do Brasil é, e continuará sendo, um modelo a ser seguido por outras nações, devido à sua significativa proporção de fontes de energia renovável em sua matriz. Essa tendência indica um aumento crescente no uso dessas formas de energia nos próximos anos. O Brasil já se destaca no setor de geração de energia devido à substancial participação no uso de fontes renováveis.

Ainda em relação ao gráfico, a geração elétrica a partir de fontes não renováveis representou 22,6% do total nacional, contra 16,8% em 2020. Entretanto é importante destacar a evolução do gás natural, que, ao longo dos últimos 10, contribuiu para minimizar as emissões provenientes da geração de eletricidade a partir de fontes não renováveis, ao substituir o óleo combustível e o diesel (EPE, 2021), e cuja oferta poderá crescer até 2050, com a descoberta do pré-sal. Desta forma, o gás natural brasileiro pode ter condições de competir com o gás natural importado, principalmente vindo da Bolívia, de modo a influenciar diretamente na definição dos preços dos insumos no Brasil (EPE, 2018).

Figura 2: Geração de energia elétrica de fontes não renováveis.



Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 2021.

2.3 Energia Renovável

Os efeitos ambientais e sociais das energias renováveis estão cada vez mais em destaque devido à conscientização global sobre os impactos negativos das fontes de energia não renováveis. As fontes renováveis de energia são decorrentes de fontes naturais tidas como inesgotáveis dentro de uma escala de tempo geológico (GOLDEMBERG; LUCON, 2007). Conseqüentemente, à medida que se promove o incremento do emprego de energia renovável, diminui-se a apreensão relativa à preservação dos recursos energéticos naturais, estabelecendo-se, desse modo, uma cultura de consumo sustentável.

Essa conscientização tem impulsionado a adoção acelerada das fontes de energia alternativas renováveis em diversos países. No Brasil, a preocupação com o uso de energias renováveis teve o início com a Lei nº 9.478, de 6 de agosto de 1997, que dispôs sobre a política energética nacional e sobre as atividades relativas ao monopólio do petróleo, bem como instituiu o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) e a Agência Nacional do Petróleo (ANP). Nos objetivos dessa lei estão a proteção ao meio ambiente e a promoção da conservação de energia, como também a utilização de fontes alternativas de energia, mediante o aproveitamento econômico dos insumos disponíveis e das tecnologias aplicáveis (BRASIL, 1997).

Essas fontes de energia, que incluem solar, eólica, hidrelétrica e biomassa, oferecem uma abordagem mais sustentável e ambientalmente amigável para atender às necessidades energéticas da sociedade, reduzindo assim os impactos negativos sobre o meio ambiente e contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas. Além disso, as energias renováveis também têm o potencial de impulsionar o desenvolvimento econômico, criar empregos verdes e melhorar a qualidade de vida das comunidades locais.

De acordo com Bursztyn (2010), as energias renováveis proporcionam a possibilidade de acesso a uma fonte energética com incontestáveis vantagens econômicas, sociais e de reduzido impacto ambiental. Nota-se que a energia elétrica pode ser gerada de diversas fontes energéticas, porém, quando falamos da distribuição da energia elétrica global, ainda há desigualdade, com muitas pessoas sem o devido acesso à energia elétrica (CAPELLI, 2010). Portanto, o crescente impulso em direção às energias renováveis reflete uma resposta global à urgência de enfrentar os desafios ambientais e sociais associados às fontes de energia convencionais. Diante dessa situação, a relevância da questão da sustentabilidade levou a Organização das Nações Unidas (ONU) a incorporar em seus objetivos de desenvolvimento sustentável a necessidade de assegurar o acesso universal a fontes de energia viáveis, sustentáveis e atualizadas.

Nesse contexto, é relevante mencionar a criação, em 2004, do Programa de Estímulo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) no Brasil, conforme estabelecido pelo Decreto nº 5.025. Esse programa foi estabelecido com o intuito de aumentar a participação da energia elétrica gerada por empreendimento desenvolvidos em torno de fontes como energia eólica, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas (PCH) no Sistema Elétrico Interligado Nacional (SIN).

2.3.1 Energias Renováveis no Brasil

O Brasil apresenta uma economia independente, e o desenvolvimento energético sustentável é crucial para fornecer os recursos necessários para seu crescimento econômico. A expansão da geração de energia proveniente de fontes renováveis não só aumentaria o crescimento econômico do país e travaria a deterioração do meio ambiente, mas também criaria uma oportunidade para um papel de liderança no sistema internacional e melhoraria da concorrência brasileira frente a países mais desenvolvidos (PAO e FU, 2018).

O aproveitamento da energia sempre gera algum tipo de impacto ambiental, seja ela renovável ou não renovável, de pequena ou grande proporção. Porém, esses impactos podem

ser minimizados quando associados ao planejamento de recursos integrados, visto que eles permitem um mundo mais sustentável, a partir da promoção de medidas políticas e econômicas (TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI, 2011; FREITAS & DATHEIN, 2013). Na maioria das vezes encontramos um mercado limitado junto a essas tecnologias influenciando diretamente no custo dessas fontes, o que favorece constantemente a importação de tecnologias de outros países (CEMIG, 2012; WWF, 2012).

A dependência do setor energético no Brasil em relação ao governo do país ainda é intensa, seja por meio de investimentos diretos ou por meio de financiamentos e subsídios ou renúncias fiscais. Igual preocupação atinge as geradoras termoelétricas que usam o diesel ou gás, além da emissão de gases decorrentes (Ingram, 2017).

2.3.1 Principais fontes de energia renovável

Ao longo da história, observa-se uma dinâmica na matriz energética do país, sendo influenciada por diversos fatores como crises econômicas, transformações demográficas, mudanças de comportamento e a descoberta e utilização de novas fontes de energia. Essas mudanças refletem a necessidade de adaptar-se às circunstâncias socioeconômicas e ambientais em constante evolução, visando garantir um suprimento energético eficiente e sustentável (PEREIRA, 2012). De acordo com os dados obtidos a partir do Balanço Energético Nacional (BEN), relatório fornecido anualmente pelo Ministério de Minas e Energia, a matriz elétrica do Brasil em 2017 é majoritariamente composta por fontes renováveis, sendo a geração hidráulica a principal responsável, representando 68,1% da oferta interna. As fontes de energia renovável totalizam 81,7% da oferta interna de eletricidade, que consiste na soma da produção nacional com as importações, que também são predominantemente renováveis. No que diz respeito ao consumo, foi observada uma queda total de 0,9%, com exceção do setor residencial, que apresentou um aumento de 1,4% em relação ao ano anterior. Já o setor industrial registrou uma redução de 1,3% no consumo de eletricidade, com exceção dos setores de papel e celulose, que tiveram um crescimento de 4,7%, e de alimentos e bebidas, que aumentaram em 3,2% (BEN, 2017).

No âmbito da discussão sobre fontes de energia renovável, destacam-se quatro importantes recursos que têm ganhado cada vez mais atenção: a biomassa, a energia eólica, a hidroelétrica e a energia solar. A biomassa, proveniente de resíduos orgânicos e vegetais, é uma fonte energética que pode ser utilizada de forma sustentável, contribuindo para a redução de emissões de gases de efeito estufa. Por sua vez, a energia eólica é gerada a partir da força dos

ventos, sendo uma opção limpa e abundante. A energia hidroelétrica é obtida através do aproveitamento dos recursos hídricos, sendo uma fonte estabelecida e com grande capacidade de geração. Já a energia solar, proveniente da radiação solar, apresenta um enorme potencial de aproveitamento, sendo uma alternativa cada vez mais viável e atrativa. Neste contexto, será apresentado mais detalhadamente essas quatro fontes de energia renovável, explorando suas características, benefícios e desafios para sua ampla adoção e contribuição para um futuro energético mais sustentável.

2.3.1.1 Biomassa

A adoção de biocombustíveis no território brasileiro, como o etanol, tem sido amplamente reconhecida como uma significativa conquista ambiental, acarretando a diminuição das emissões de monóxido de carbono de acordo com dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2018). Segundo o Balanço Energético Nacional, a biomassa, destinada ao aproveitamento energético, é uma fonte primária de energia, não fóssil, que consiste em matéria orgânica de origem animal ou vegetal (BEN, 2021).

O país possui condições naturais e geográficas favoráveis para a produção e uso da biomassa como recurso energético, com extensas áreas agricultáveis e clima propício (Plano Nacional de Energia 2030, 2007). Além dos benefícios ambientais, o uso da biomassa também traz vantagens econômicas e sociais, gerando empregos, receita para os municípios e promovendo a independência energética (LIMA, 2017). A biomassa é considerada uma fonte de energia de baixo custo, que reaproveita resíduos e é menos poluente em comparação aos combustíveis fósseis (LARA, 2021).

2.3.1.2 Eólica

O conceito de gerar energia elétrica a partir dos ventos teve início no século XIX, naquela época eram usados os moinhos para moer grãos, transportar mercadorias em barcos a vela e bombear água, sendo utilizado o mesmo método até os dias de hoje, onde o vento atinge a hélice da qual gira um eixo impulsionando gerador (ATLAS, 2008). Segundo o Balanço Energético Nacional (BEN 2021), a energia eólica é gerada por meio da utilização dos ventos, que representam o deslocamento das correntes de ar.

Dentre as vantagens desse tipo de energia, destacam-se sua característica de ser inesgotável, sua ausência de emissão de gases poluentes e a não geração de resíduos. Além

disso, um aspecto positivo é a rapidez na construção das usinas. Em períodos de baixa incidência solar, seriam particularmente favoráveis, pois seriam caracterizados por uma presença significativa de ventos (BIZAWU, 2017).

2.3.1.3 Hidrelétrica

A energia hidrelétrica é uma forma de energia renovável amplamente utilizada em todo o mundo. Por meio do aproveitamento do potencial hidráulico dos rios, essa fonte de energia utiliza a força da água em movimento para gerar eletricidade. A energia hidrelétrica é gerada através da utilização do potencial hidráulico de um rio para a produção de eletricidade. Esse processo requer a construção de usinas em rios com um fluxo abundante de água e variações de nível ao longo do seu percurso (BIZAWU, 2017).

Atualmente, as hidroelétricas ocupam uma posição central na matriz energética brasileira, sendo a principal fonte de energia do país. Com um total de 1.220 usinas hidroelétricas em operação, o Brasil possui uma capacidade instalada de 92.415MW, o que representa 61,34% da matriz elétrica nacional. Esses números estão previstos para aumentar nos próximos anos, com a construção de mais sete empreendimentos em andamento e outros seis prestes a iniciar sua operação. “Apesar do imenso potencial hídrico do Brasil, sozinho este sistema de energia não seria suficiente para suprir a demanda de energia no futuro” (JACINTO, 2013, p. 28).

2.3.1.4 Solar

A energia solar é uma fonte de energia limpa e renovável que tem ganhado cada vez mais destaque como uma alternativa sustentável para suprir a demanda energética. A utilização da luz do sol para a geração de eletricidade oferece inúmeras vantagens, desde a redução da dependência de combustíveis fósseis até a diminuição das emissões de gases de efeito estufa. “O Brasil, em relação à energia solar, é considerado privilegiado, visto a imensa incidência de raios solares emitidos em seu território e pelas reservas de quartzo para a produção do silício, utilizados na fabricação de células solares.” (AGUILAR et al., 2012). Neste texto, exploraremos de forma mais detalhada o tema da energia solar, abordando seus benefícios, funcionamento e perspectivas futuras.

2.4 Energia Fotovoltaica

Com a crescente preocupação com as mudanças climáticas e a busca por fontes de energia renováveis e limpas, a energia solar tem se destacado como uma alternativa sustentável e abundante. Por meio da captação da luz do sol e sua conversão em eletricidade ou calor, a energia solar oferece uma fonte de energia inesgotável e ambientalmente amigável. A energia solar é reconhecida como uma fonte energética altamente sustentável e de fácil implementação, apresentando a vantagem adicional de reduzir a dependência dos combustíveis fósseis, como o petróleo. Além disso, seu uso contribui significativamente para a diminuição das emissões de gases poluentes na atmosfera. (HOSENUZZAMAN et al., 2014).

O termo Geração Distribuída (GD) é utilizado para descrever a produção de energia elétrica próxima ou adjacente aos consumidores, independentemente da tecnologia ou fonte de energia utilizada. Conforme destacado por Malfa (2002), a geração distribuída refere-se à produção de energia que não é planejada ou despachada de forma centralizada, não havendo um órgão responsável por coordenar as operações das unidades de geração descentralizada. Por meio da promulgação da Resolução Normativa número 482/2012 pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) em 2012, foram estabelecidas as diretrizes e regulamentações para a implantação da energia solar no território brasileiro. Essa resolução definiu os critérios e requisitos para a geração e distribuição de energia solar no país. Em 2015, ocorreu uma revisão e modificação dessa normativa, resultando no aumento do limite de capacidade de geração e na implementação de um mecanismo de compartilhamento da energia produzida (Tolmasquim, 2016). A Resolução Normativa número 482/2012 foi oficialmente revogada, e substituída pela Resolução 1.000, com as atualizações feitas pela Resolução 1.059.

De forma simplificada, podemos compreender o processo de geração de energia solar da seguinte maneira: a corrente contínua proveniente dos painéis solares é convertida em corrente alternada, que atende aos padrões de amplitude, frequência e qualidade de energia (incluindo a minimização de harmônicos). Além disso, quando o sistema está conectado à rede elétrica, é necessário garantir a sincronização da tensão com a rede. Os conversores de corrente contínua para corrente alternada desempenham um papel importante nesse processo, monitorando também outros parâmetros relacionados à rede e utilizando algoritmos de controle específicos. (HESKES; ENSLIM, 2003).

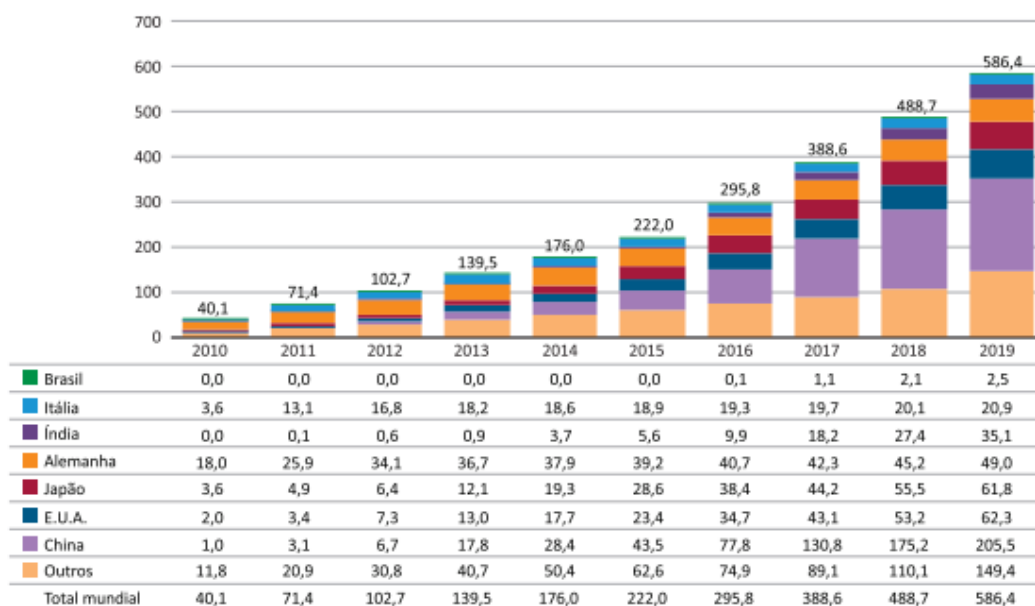
2.4.1 Evolução

A energia solar tem experimentado uma evolução notável em todo o mundo nas últimas décadas. Avanços significativos em tecnologia, pesquisa e desenvolvimento resultaram em uma crescente eficiência e redução de custos nos sistemas fotovoltaicos solares. Além disso, políticas governamentais favoráveis, incentivos financeiros e metas ambiciosas de energia renovável impulsionaram ainda mais a adoção da energia solar em muitos países.

Como resultado, a capacidade de geração solar global tem aumentado exponencialmente, com um número crescente de nações investindo em parques solares de grande escala, instalações comerciais e residenciais, e projetos de geração distribuída. A energia solar está se tornando uma fonte cada vez mais importante e confiável de energia limpa, contribuindo para a redução das emissões de gases de efeito estufa e fornecendo uma alternativa sustentável para as necessidades energéticas do mundo.

A tendência é que, com o passar dos anos, este tipo de geração se torne cada vez mais comum, sendo adotada em larga escala, a qual poderá causar impactos importantes para a rede e por isso merecem ser estudados (SLOOTWEG; KLING, 2002).

Figura 3: Evolução da capacidade instalada de geração fotovoltaica dos principais países e no Brasil (GW).



Fonte: ETENE, 2021.

A participação da fonte solar na geração de energia elétrica mundial, correspondente a 2,68% em 2019, embora ainda tímida, cresce exponencialmente. (ETENE, 2021)

Nos últimos anos, tem-se observado um notável crescimento na importação de módulos fotovoltaicos no Brasil. Esse aumento reflete o crescente interesse e demanda por sistemas de energia solar no país. Os módulos fotovoltaicos, que são a base para a geração de energia solar, têm sido amplamente importados devido a diversos fatores, como a necessidade de suprir a demanda nacional, a busca por tecnologias mais avançadas e a competitividade dos preços no mercado internacional.

Essa tendência de importação de módulos fotovoltaicos no Brasil mostra o compromisso crescente com a energia solar como uma alternativa sustentável e eficiente para suprir as necessidades energéticas do país (BEZERRA, 2021).

Tabela 1: Importações de módulos fotovoltaicos e inversores, Brasil 2012 -2020.

Ano	Módulos solares			Valor Inversores (US\$ milhões)
	Valor (US\$ milhões)	Estimativa de potência (MWp)	Estimativa de preço médio unitário (US\$/Wp)	
2012	7,11	7,97	0,89	25,26
2013	18,72	30,33	0,62	27,80
2014	16,80	25,72	0,65	28,25
2015	44,45	87,00	0,51	25,62
2016	256,62	659,37	0,39	43,39
2017	350,33	1.077,44	0,33	57,96
2018	580,53	1.868,39	0,31	72,30
2019	1.010,49	3.993,00	0,25	157,58
2020	1.027,05	4.781,32	0,21	77,92

Fonte: Ministério da Economia (2021).

Conforme os dados da tabela nota-se que a estimativa de potência cresceu constantemente desde o ano de 2012, sendo inversamente proporcional a estimativa de preço médio unitário, pois com o passar do tempo a tecnologia foi evoluindo e custando menos.

2.4.2 Cenário atual

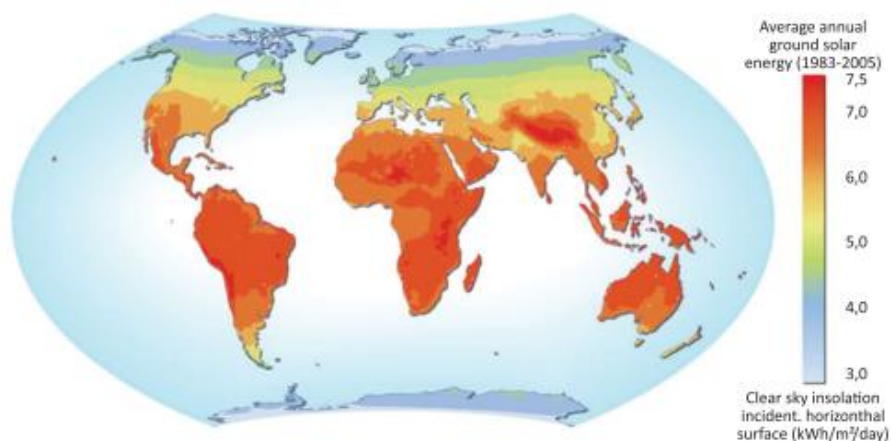
Para o Plano Nacional de Energia 2030 (2007), o custo das células fotovoltaicas é a principal barreira para a adoção generalizada dos sistemas solares no Brasil. Atualmente, estima-se que a geração solar se torne competitiva a partir de um custo de aproximadamente US\$ 3.000 por quilowatt (kW), levando em consideração as tarifas de fornecimento de energia

como referência. No entanto, a curva de evolução tecnológica sugere que esse patamar de custo seja alcançável no futuro.

Nos Estados Unidos, espera-se que essa viabilidade seja alcançada apenas após 2020, demonstrando a importância contínua dos avanços tecnológicos e da redução de custos para a expansão da energia solar. Quando se considera o futuro da energia solar, é interessante mencionar um estudo conduzido em conjunto pela *European Photovoltaic Industry Association* (EPIA, 2010) e pelo Greenpeace, que apresenta uma previsão promissora. De acordo com esse estudo, espera-se que os custos dos equipamentos solares diminuam significativamente nos próximos anos, com uma redução de aproximadamente 60% em relação aos preços atuais. Essa perspectiva demonstra o potencial contínuo de avanços tecnológicos e ganhos de eficiência, tornando a energia solar uma alternativa ainda mais acessível e atrativa economicamente.

A distribuição da energia solar na superfície terrestre é desigual em todo o mundo. Ela é influenciada por uma série de variáveis, incluindo a latitude, a estação do ano e as condições atmosféricas. A quantidade de energia solar recebida varia de acordo com esses fatores, resultando em diferentes níveis de irradiação solar em diferentes regiões (BEZERRA, 2021).

Figura 4: Potencial de Energia Solar no Mundo.



Fonte: United Nations Environment Programme, 2018.

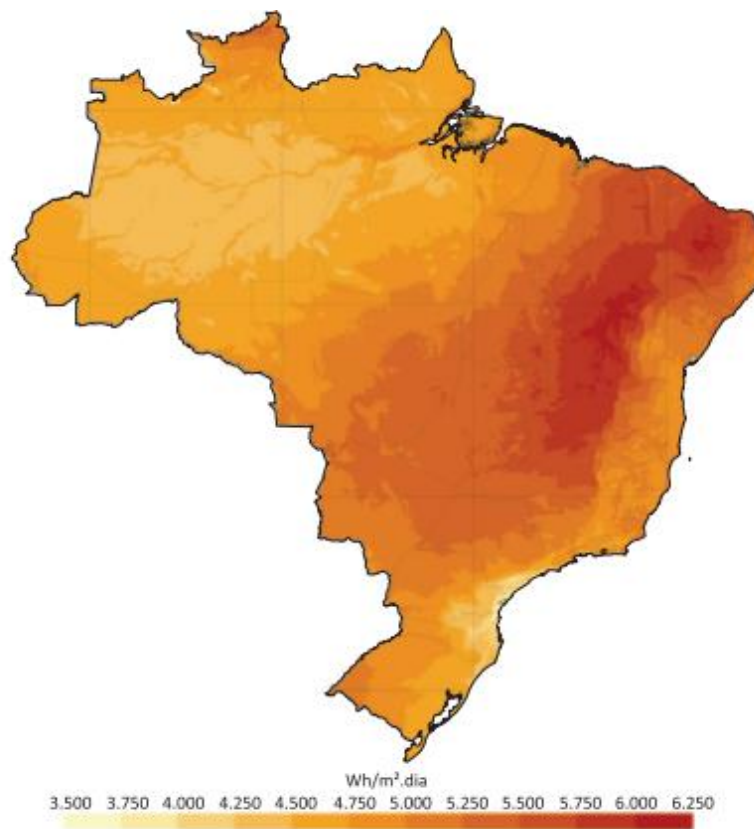
A quantidade de energia solar disponível na superfície terrestre é consideravelmente maior do que a demanda global por energia elétrica. Embora a participação da energia solar na geração global de eletricidade tenha sido modesta, correspondendo a 2,68% em 2019, ela está crescendo de forma exponencial. Esse aumento expressivo na expansão da geração solar é esperado para os próximos anos, impulsionado pela necessidade de produção de energia a partir de fontes renováveis, pelas perspectivas de redução dos custos de geração e pelo contínuo aumento da eficiência da tecnologia fotovoltaica (BEZERRA, 2021).

2.1.3 Irradiação Solar

O Brasil possui um imenso potencial para aproveitar a energia solar devido à sua privilegiada localização geográfica. A maior parte do país está situada em uma zona tropical, o que significa que desfruta de uma incidência solar favorável ao longo de todo o ano. A média anual de irradiação solar no Brasil varia entre 1.200 e 2.400 kWh/m²/ano, muito acima da média europeia.

Na Região Nordeste, em particular, são observados os maiores valores de irradiação, com a região central da Bahia apresentando níveis máximos. Além disso, outras áreas do país, como o norte de Minas Gerais, o nordeste de Goiás e o sul de Tocantins, também exibem altos índices de irradiação solar, conforme apontado pelo Núcleo de Estudos Estratégicos de Energia (2016). Essas condições climáticas favoráveis tornam o Brasil um cenário promissor para a geração de energia solar.

Figura 5: Média anual de irradiação solar no Brasil.



Fonte: BEZERRA, 2021

Para Tolmasquim (2016), a localização geográfica do Brasil proporciona uma incidência solar mais direta, resultando em altos índices de irradiação em praticamente todo o país. Essa condição favorável é resultado da posição geográfica do Brasil, que recebe os raios solares de forma mais vertical. Como consequência, o território brasileiro é beneficiado com uma abundante quantidade de radiação solar ao longo do ano.

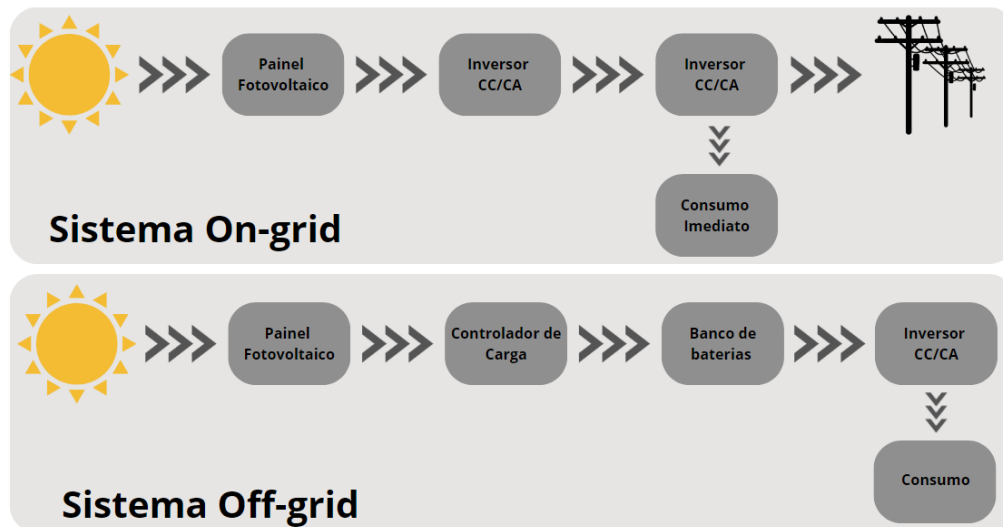
Essa característica geográfica contribui para o potencial expressivo de aproveitamento da energia solar em todo o país. Além disso, a localização próxima à linha do equador resulta em uma menor variação na incidência solar ao longo do ano. Isso significa que, mesmo durante o inverno, o Brasil continua a desfrutar de níveis significativos de irradiação solar. Essas condições proporcionam ao país vantagens favoráveis para a utilização eficiente do recurso solar na geração de energia. (MME, 2002).

2.1.4 Sistemas Off e On-grid

Existem duas principais categorias de sistemas de energia solar: on-grid (conectado à rede elétrica) e off-grid (independente da rede elétrica). O sistema on-grid está conectado à rede elétrica convencional, permitindo que a energia excedente gerada pelos painéis solares seja injetada na rede. Já o sistema off-grid é autônomo, sem conexão com a rede elétrica, e requer armazenamento de energia em baterias para uso posterior.

A decisão entre os sistemas on-grid e off-grid é baseada nas demandas de energia locais, disponibilidade da rede elétrica e metas do proprietário. Os inversores conectados à rede são projetados para sincronizar automaticamente com a rede elétrica à qual estão conectados, utilizando o próprio sinal da rede. Por outro lado, os inversores autônomos possuem um circuito eletrônico dedicado para controlar e sincronizar o sinal com a fonte de energia. A escolha entre esses tipos de inversores depende das necessidades específicas de cada sistema e das condições de conexão com a rede elétrica (WAENGA; PINTO, 2016).

Figura 6: Sistema on-grid e off-grid



Fonte: Adaptado de Machado, Miranda, 2015.

No sistema de conexão à rede, não é preciso instalar um banco de baterias para armazenar a energia gerada. O sistema deve operar em sincronia com a frequência e a tensão da rede de corrente alternada (CA). É necessário obter autorização da concessionária de energia para conectar o sistema à rede, uma vez que a concessionária precisa estar preparada para receber o excedente de energia gerada (WAENGA; PINTO, 2016).

No off-grid, o sistema não é conectado à rede. Por conta disso, ele precisa de baterias para acumular a energia que é produzida. Isso faz com que seja um sistema mais caro, pois há necessidade de mais equipamentos (BOSO; GABRIEL; FILHO, 2015).

Quando se utiliza o sistema autônomo, com baterias, geralmente é necessário o uso de controladores de carga, que regulam a carga da bateria e melhoram a produção energética do painel. Os sistemas autônomos são geralmente utilizados em áreas não atendidas por rede de eletricidade ou em pontos isolados e com baixa movimentação de pessoas, como fazendas, ilhas, campings, entre outros (MORAES; BARBOSA, 2015).

2.1.5 Diferença entre sistema fotovoltaico e de aquecimento

A energia solar fotovoltaica é gerada por meio de células solares fotovoltaicas, as quais são construídas com materiais semicondutores e realizam a conversão direta da radiação solar em eletricidade, conhecida como efeito fotovoltaico. (LAMBERTS et al., 2010). Enquanto isso, a energia solar térmica envolve a captura da radiação solar que incide e sua conversão em energia calorífica através de superfícies projetadas especificamente para esse

propósito, possibilitando seu emprego para aquecer substâncias como a água. (SANTOS, 2018). Os sistemas de aquecimento solar de água geralmente incluem coletores solares, responsáveis pela captação solar e pela conversão em energia térmica, um tanque de armazenamento térmico, uma fonte secundária de energia, dispositivos de controle e uma rede para distribuição da água aquecida. (LAMBERTS et al., 2010).

Figura 7: Sistema de aquecimento solar de água



Fonte: Usina Azul, 2019.

2.4. Futuro da Energia Fotovoltaica

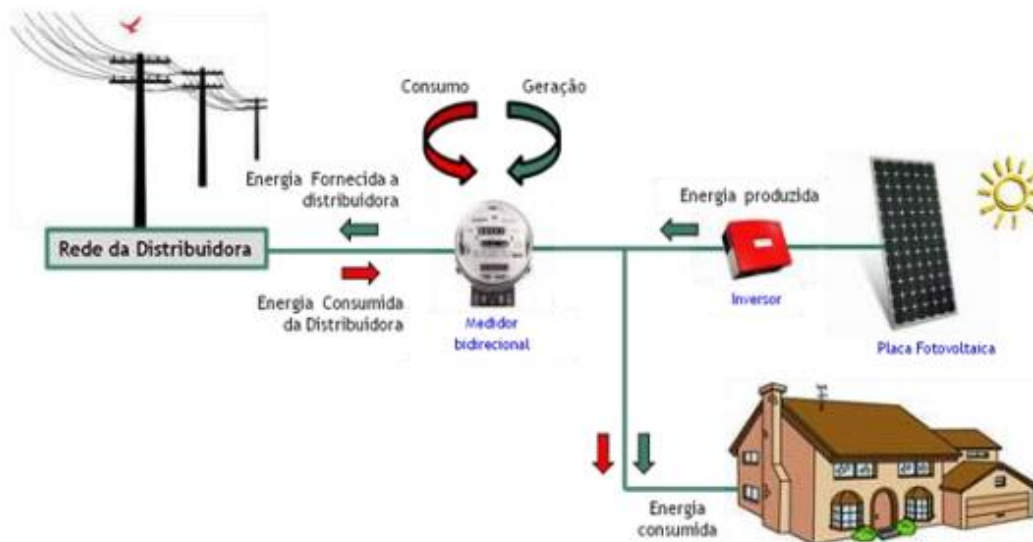
A disponibilidade de elevado potencial de fontes renováveis, a qualidade dos recursos energéticos nacionais, o alto valor das tarifas de eletricidade para os consumidores e um modelo de compensação de créditos extremamente favorável, tornou o investimento de geração própria bastante rentável no Brasil. Isso levou não apenas consumidores residenciais, mas também grandes redes varejistas, bancos e indústrias a investirem em sistemas de Micro e Minigeração Distribuída (MMGD), locais e remotos (MME; EPE; 2019).

A título de comparação, foram instalados no Brasil 4,7 GW em projetos fotovoltaicos (UFV) de geração distribuída em 2020, enquanto foram acrescidos 4,8 GW por todas as fontes no Sistema Interligado Nacional (SIN), inclusive UFV centralizada. Ressalta-se que a geração distribuída não integra a base de dados das usinas do SIN. Para projetos centralizados, o Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica 2030 (MME; EPE, 2021) prevê crescimento da geração solar fotovoltaica de 8 TWh em 2021 para 21 TWh.

2.5 Sistema Fotovoltaico

Nos últimos anos, houve um crescimento significativo na adoção de sistemas fotovoltaicos em residências. Essa tecnologia promissora oferece uma maneira viável de reduzir a dependência de combustíveis fósseis, diminuir as emissões de gases de efeito estufa e alcançar a sustentabilidade energética. Para que todo um sistema fotovoltaico funcione de forma satisfatória e eficiente é imprescindível que seja realizado um projeto com dimensionamentos corretos e adequados para cada objetivo (WAENGA; PINTO, 2016).

Figura 8: Microgeração conectado à rede.



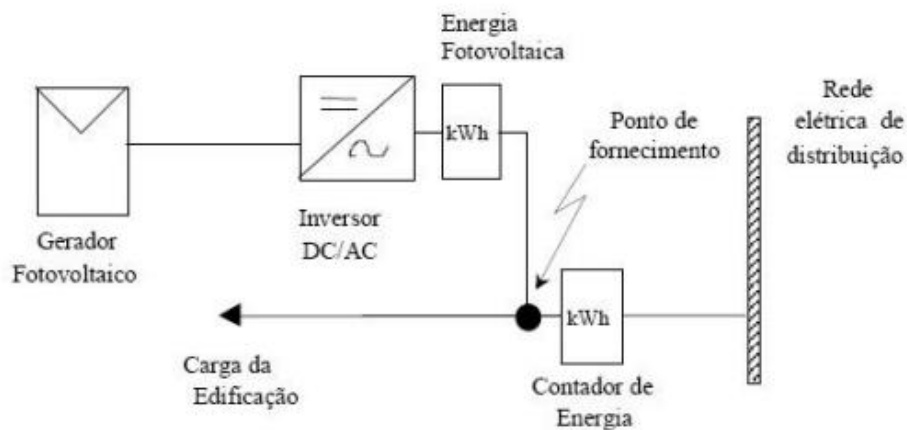
Fonte: VIRDIAN, 2015.

Há uma série de impactos positivos em diferentes aspectos para consumidores, distribuidores e fornecedores de energia solar. Esses impactos podem ser exemplificados por meio da redução no valor da conta de energia dos usuários, aumento no faturamento das empresas que fornecem e realizam a instalação dos sistemas fotovoltaicos, benefícios para a sociedade em geral, como economia na contratação de energia, redução de perdas técnicas, diminuição das emissões de gases do efeito estufa e geração de novos postos de trabalho. Esses efeitos favoráveis demonstram como a adoção da energia solar traz vantagens tanto para os consumidores como para a sociedade como um todo, promovendo a sustentabilidade energética e contribuindo para a mitigação dos impactos ambientais negativos. (EPE, 2014).

2.5.1 Principais componentes

Um sistema fotovoltaico é composto por diversos elementos essenciais que trabalham em conjunto para captar, converter e utilizar a energia solar de forma eficiente. Entre os principais componentes estão o módulo fotovoltaico, responsável por transformar a luz solar em eletricidade; o inversor, que converte a corrente contínua produzida pelos painéis solares em corrente alternada utilizável; e a estrutura de suporte, que sustenta e protege os módulos fotovoltaicos. Esses componentes desempenham papéis fundamentais na operação e desempenho de um sistema fotovoltaico, garantindo a geração de energia limpa e renovável a partir do sol.

Figura 9: Diagrama de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica



Fonte: Zilles, 2028.

A figura 6 oferece uma representação simplificada da disposição de um sistema fotovoltaico conectado à rede de eletricidade. Os principais componentes desse sistema são o painel solar fotovoltaico e o inversor conectado à rede, responsável por transformar a corrente contínua (CC) gerada pelos painéis em corrente alternada (CA), apropriada para ser integrada à rede de distribuição de energia (ZILLES, 2008).

2.5.1.1 Módulo Fotovoltaico

As células solares fotovoltaicas são interconectadas eletricamente e protegidas para formar os módulos fotovoltaicos. Conforme mencionado por Pinho e Faldino (2014), um módulo pode ser composto por um agrupamento de células fotovoltaicas conectadas em série

e/ou paralelo. Essa configuração é determinada pelos parâmetros elétricos, como tensão, corrente e potência, que são mais adequados para a aplicação específica do sistema fotovoltaico. A escolha da associação das células tem o objetivo de otimizar o desempenho e a eficiência do módulo, considerando as necessidades de geração de energia e a melhor adequação aos requisitos da instalação.

Figura 10: Módulos solares.



Fonte: Jim Williams, 2012

A eficiência dos módulos fotovoltaicos varia de acordo com a estrutura dos cristais de silício utilizados. Por exemplo, os módulos monocristalinos possuem alta eficiência devido à sua estrutura de cristal quase perfeita, enquanto os demais tipos de módulos apresentam uma diminuição na eficiência devido às imperfeições nos cristais.

A qualidade da formação dos cristais de silício é um fator determinante para o desempenho dos módulos fotovoltaicos, uma vez que cristais mais perfeitos proporcionam uma melhor captura da luz solar e uma conversão mais eficiente em eletricidade. Essa diferença na eficiência dos módulos fotovoltaicos é importante a ser considerada na escolha do tipo de módulo para uma determinada aplicação. (PE,2016).

2.5.1.2 Inversores

Conversores eletrônicos de potência, também conhecidos como inversores, são necessários em sistemas fotovoltaicos devido à natureza unidirecional da energia elétrica gerada pelos painéis solares fotovoltaicos. Esses conversores são responsáveis por converter a corrente contínua (CC) gerada pelos painéis em corrente alternada (CA), atendendo aos padrões de amplitude, frequência e qualidade de energia exigidos para alimentar cargas residenciais, comerciais e industriais (ALMEIDA, 2011).

Figura 11: Inversor fotovoltaico.



Fonte: Jim Williams, 2011.

Existem dois tipos principais de inversores: os comutados pela rede e os autos comutados. Os inversores comutados pela rede são usados em altas potências, enquanto os autos comutados são mais comuns em potências menores (HESKES; ENSLIM, 2003). Os inversores comutados pela rede sincronizam automaticamente o sinal do inversor com a rede elétrica à qual estão conectados. Já os inversores auto comutados possuem um circuito eletrônico que controla e sincroniza o sinal de forma independente (REMMERS K. H., 2013).

Os inversores comutados pela rede têm como função rastrear o ponto máximo de potência dos módulos fotovoltaicos, otimizando a geração de energia elétrica no lado CC e convertendo-a para o lado CA com magnitude e frequência idêntica à rede. Além disso, eles

realizam a conversão da corrente contínua em corrente alternada, utilizando transistores como MOSFETs ou IGBTs, dependendo da potência e tensão do sistema (REMMERS K. H., 2013).

2.6 Perfil Consumidor Residencial

O consumo de energia residencial é um tema de grande relevância e abrange diferentes aspectos. Com o crescimento populacional contínuo, o número de residências aumenta, resultando em uma maior demanda por energia elétrica. Além disso, o constante aumento de aparelhos eletrônicos nas residências, como smartphones, televisores e eletrodomésticos, contribui para o aumento do consumo de energia. A própria questão do consumo de energia em si é fundamental, pois influencia diretamente os custos e a sustentabilidade do setor energético. Vale ressaltar também que a demanda de energia ao longo do dia varia, sendo os horários de pico de consumo um desafio para a infraestrutura elétrica. Diante desses quatro tópicos interligados, é fundamental compreender e abordar o consumo de energia residencial para promover a eficiência energética e a sustentabilidade no setor.

2.6.1 Crescimento Populacional

A partir do final da primeira metade do século XX, ocorre o início do processo de transição demográfica no Brasil, no qual a população passa de altas para baixas taxas de mortalidade e fecundidade. Essa mudança tem causado um impacto profundo e provavelmente irreversível na estrutura etária do país. Em 1970, a parcela da população com 60 anos ou mais representava 5,1% do total, mas em 2010 esse número aumentou para 10,8% e, de acordo com as projeções, espera-se que chegue a cerca de 25% no meio do século XXI (DIÓGENES, 2020).

Além disso, houve um aumento significativo na expectativa de vida ao nascer nos últimos 60 anos, que aumentou em mais de 30 anos. A Taxa de Fecundidade Total (TFT), que era de 6,2 filhos por mulher em 1960, caiu para 1,8 em 2010, de acordo com o IBGE em 2013. Portanto, as transformações demográficas profundas vivenciadas pelo Brasil e grande parte do mundo resultaram no envelhecimento da população, mudanças nos arranjos familiares e, conseqüentemente, uma tendência de menor número de pessoas por domicílio. Essa dinâmica demográfica desempenha um papel crucial na definição do padrão e do nível do consumo agregado, o que, por sua vez, tem impactos no meio ambiente devido à pressão exercida pela população. (DIÓGENES, 2020).

2.6.2 Aumento dos Eletrônicos

De acordo com as pesquisas de OJIMA, R., houve um impacto significativo da transição da estrutura etária no consumo de energia no Brasil. Esse impacto pode ser observado no aumento da presença de bens duráveis nos domicílios brasileiros. Um exemplo é o aumento no uso de máquinas de lavar, que passou de 33,64% dos domicílios em 2001 para mais de 50% em 2011. Outro exemplo é o aumento no uso de geladeiras, que passou de 85,12% para 95,75% no mesmo período.

Além disso, de acordo com os dados da PNAD, o acesso à internet nos domicílios também teve um aumento significativo. Entre 2005 e 2011, o percentual de domicílios com acesso à internet aumentou de 13,7% para 36,5%.

É importante ressaltar que o crescimento da economia e a inclusão de uma parcela da população antes marginalizada no mercado consumidor naturalmente levarão a um aumento nos gastos energéticos e na intensidade do consumo (DIÓGENES, 2020).

2.6.3 Consumo

No ano de 2019, foi observado um aumento significativo no consumo de energia elétrica no setor residencial em todas as regiões do Brasil, de acordo com as estimativas. Esse aumento pode ser atribuído a diversos fatores, como a expansão do acesso à energia elétrica, o aumento do número de domicílios e a mudança cultural, que resultou em um maior número de equipamentos por domicílio (ABRAHÃO, 2019).

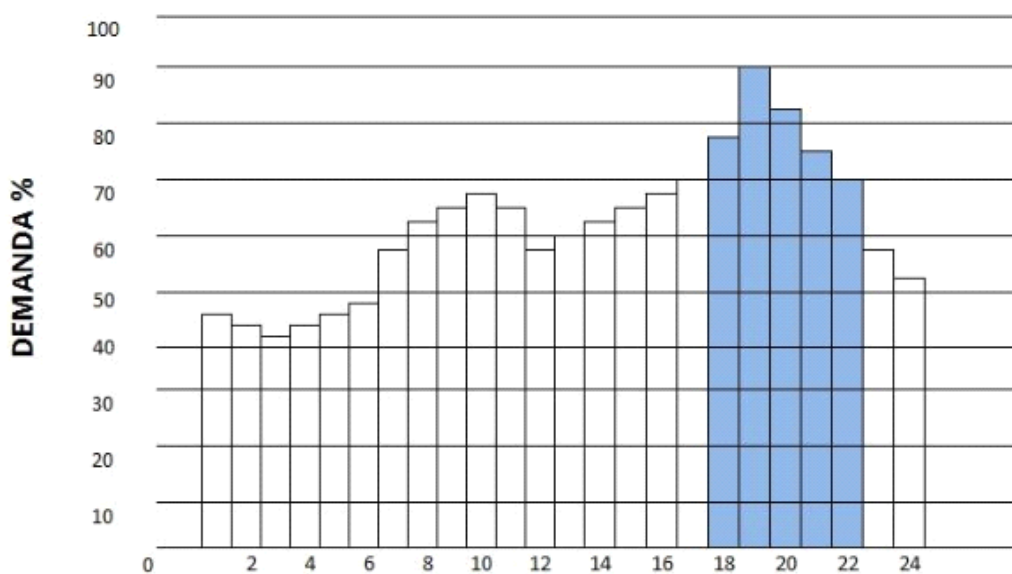
A investigação do setor residencial tem recebido atenção em âmbito global, devido à sua participação significativa e ao crescimento do consumo de energia elétrica. No geral, as pesquisas nesse campo envolvem diversas abordagens e metodologias variadas. (GUO, 2018). Destacando a dinâmica da estrutura regional, indicando que a análise do consumo médio de energia elétrica para todo o Brasil pode não refletir as particularidades de cada região. Portanto, sugere-se que uma abordagem mais detalhada e regionalizada seja considerada nas políticas energéticas, especialmente em relação aos sistemas de aquecimento de água e ao aumento do uso de aparelhos de ar-condicionado, que estão em franca expansão no país, como mencionado por Abrahão em seu estudo.

No Brasil, o consumo de energia elétrica pelo setor residencial em 2019 foi de 141.929 GWh, equivalente a 29,4% do consumo total, um incremento de 69,7% em relação ao ano 2000 (EPE, 2019).

Segunda o Anuário Estatístico de 2023 fornecido pela Empresa de pesquisa energética as tarifas médias no setor regulado de eletricidade apresentaram um aumento de 5,9% entre 2021 e 2022, indicando uma desaceleração em relação ao crescimento observado entre 2020 e 2021 (+17,9%). A região Centro-Oeste registrou a maior taxa de aumento (+8,0%), enquanto a região Sul apresentou a menor (+3,3%). Em relação às faixas de tensão de fornecimento, a faixa de 2,3 a 25 kV teve a maior taxa de crescimento (+7,9%), enquanto a faixa de 230 kV apresentou uma redução de 3,9%. Entre as diferentes classes de consumo, a classe Rural apresentou o maior crescimento na tarifa média (+10,0%), enquanto a classe de Iluminação Pública teve o menor aumento (+1,6%).

2.6.4 Demanda de energia ao longo do dia

Figura 12: Comportamento médio do consumo de energia elétrica de um dia.



Fonte: Revista Light, 2018.

No período compreendido entre as 17h e 22h, ocorre um aumento significativa do consumo de eletricidade em diversas categorias que compõem o mercado, como setores industrial, comercial, residencial, iluminação pública, rural e outros. Esse período de maior demanda, conhecido como "horário de ponta" do sistema elétrico, é quando as redes de distribuição são submetidas a uma carga máxima, atingindo seu valor mais elevado por volta das 19h. Lembrando que esse horário pode variar ligeiramente de uma região para outra (DIÓGENES, 2020).

Segunda o Anuário estatístico de 2023 fornecido pela Empresa de pesquisa energética as tarifas médias no setor regulado de eletricidade apresentaram um aumento de 5,9% entre 2021 e 2022, indicando uma desaceleração em relação ao crescimento observado entre 2020 e 2021 (+17,9%). A região Centro-Oeste registrou a maior taxa de aumento (+8,0%), enquanto a região Sul apresentou a menor (+3,3%). Em relação às faixas de tensão de fornecimento, a faixa de 2,3 a 25 kV teve a maior taxa de crescimento (+7,9%), enquanto a faixa de 230 kV apresentou uma redução de 3,9%. Entre as diferentes classes de consumo, a classe Rural apresentou o maior crescimento na tarifa média (+10,0%), enquanto a classe de iluminação pública teve o menor aumento (+1,6%).

2.7 Regulamentação Energia Solar

No final de 2008, o governo federal tomou duas iniciativas significativas que proporcionaram um maior debate sobre a energia solar fotovoltaica no país. O Ministério de Minas e Energia (MME), estabeleceu o GT-GDSF (Grupo de Trabalho de Geração Distribuída com Sistemas Fotovoltaicos), por meio da portaria N° 36/2008. O objetivo desse grupo era conduzir estudos, propor condições e sugerir critérios para a elaboração de uma proposta de política destinada à utilização da energia solar fotovoltaica conectada à rede, principalmente em edificações urbanas (JANNUZZI, 2009).

Em 2010, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) realizou a Consulta Pública (CP) n° 15 com o objetivo de apresentar os principais instrumentos regulatórios utilizados no Brasil e em outros países para incentivar a geração distribuída de pequeno porte a partir de fontes renováveis de energia, conectada à rede de distribuição. Essa consulta teve como propósito receber contribuições dos agentes interessados e da sociedade em geral, abordando as questões que o órgão regulador deve abordar para reduzir as barreiras existentes (ANEEL, 2010).

E logo em seguida em 2011, ANEEL promoveu a Audiência Pública (AP) n° 42, com o intuito de receber contribuições para a elaboração da minuta da Resolução Normativa (REN). Essa REN tinha como objetivo principal a redução dos impasses para a implementação de sistemas de micro e minigeração distribuída incentivada, bem como a alteração do desconto aplicado à Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD) e à Tarifa de Uso do Sistema de Transmissão (TUST) para usinas que utilizam energia solar como fonte (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2011).

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) é responsável pela regulação e fiscalização das atividades. A abordagem da ANEEL em relação à Geração Distribuída foi uma resposta direta a um problema identificado de natureza técnico-administrativa. Dessa forma, a estrutura regulatória da Geração Distribuída foi estabelecida inicialmente em 2012, por meio da Resolução Normativa (REN) 482.

Desde a Resolução Normativa (REN) nº 482/2012 tem passado por aprimoramentos sucessivos, por meio da publicação de novas de Resoluções Normativas que realizam adições ou correções em seu conteúdo (RIOS, 2019).

2.7.1 Conceitos

Antes de analisar suas principais inclusões e mudanças após cada resolução, é necessário entender os seguintes conceitos fornecidos pela Intelbras (2022), a tarifa é composta por diversos componentes, como pode-se observar na figura 9, a tarifa é dividida em duas partes sendo elas a TE e a TUSD.

TUSD é um valor aplicado na fatura mensal dos consumidores para cobrir o uso do sistema de distribuição e transmissão da energia elétrica. Nessa tarifa é subdividida em outros componentes, sendo eles os encargos, as perdas, o Fio A e o Fio B.

Figura 13: Tarifa de energia TE e TUSD

Tarifa de Energia					
TE		TUSD			
Energia	Encargos	Fio A	Fio B	Encargos	Perdas

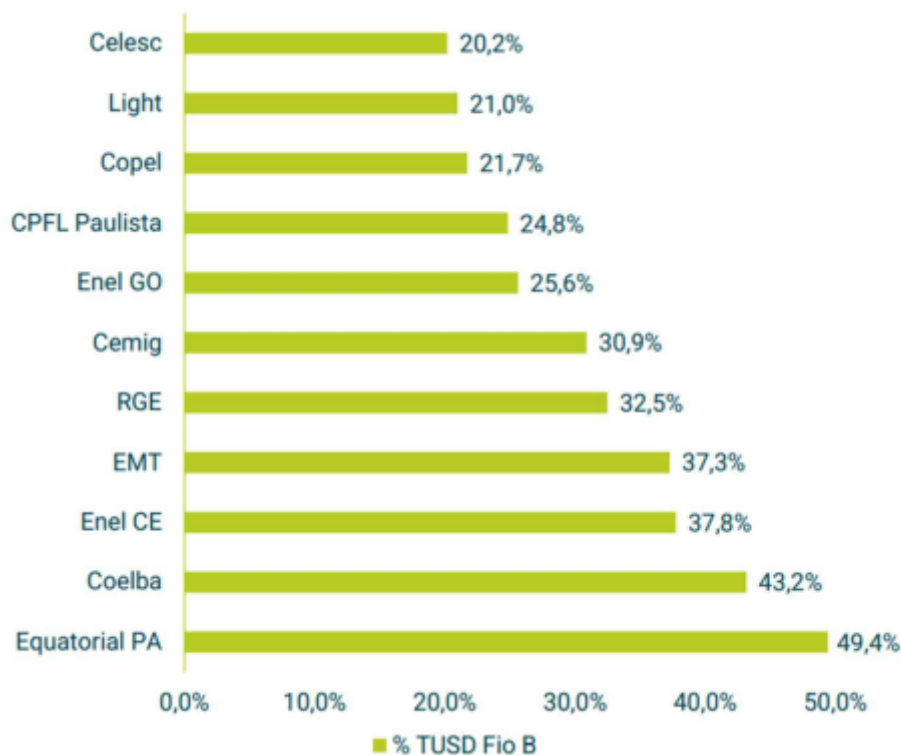
Fonte: Intelbras, 2022.

O Fio A corresponde ao valor pago para cobrir os custos de operação da infraestrutura, da transmissão e a manutenção das linhas de transmissão de energia elétrica. Em outras palavras, refere-se ao trecho compreendido entre a usina geradora e a distribuidora, incluindo todas as despesas relacionadas a essa etapa do processo.

E o Fio B corresponde aos custos associados às linhas de transmissão que vão da distribuidora até a residência do consumidor, englobando os serviços prestados pela distribuidora de energia. Vale ressaltar que o valor do Fio B varia de acordo com a região e é estabelecido pela concessionária de energia elétrica e anualmente validado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

Resumidamente o Fio A são os custos de transmissão da energia e o Fio B o custo da distribuição.

Figura 14: Porcentagem do Fio B na TUSD na tarifa de eletricidade em 2021.



Fonte: Greener, 2022.

2.7.1 REN 482/2012

A Resolução Normativa 482/2012 estabeleceu as disposições gerais para o acesso da microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, bem como as diretrizes para o sistema de compensação de energia elétrica e outras medidas pertinentes. Além disso, a responsabilizou pela realização de estudos visando à integração de pequenos geradores é atribuída à distribuidora. Ficou estabelecido que não era necessário firmar contratos de comercialização, como o Contrato de Uso de Sistemas de Distribuição (CUSD) e

o Contrato de Conexão (CCD), ou efetuar registro junto à Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) (FERREIRA, 2022). A Resolução Normativa número 482/2012 foi oficialmente revogada, e substituída pela Resolução 1.000, com as atualizações feitas pela Resolução 1.059.

Dentro dos incentivos à microgeração e minigeração, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) opta por implementar o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE). Conforme definição fornecida por um estudo financiado pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), o SCEE tem como objetivo principal regular a troca de energia entre os consumidores que geram energia e as concessionárias. É importante salientar que as concessionárias acumulam créditos quando há excedentes de energia, ou seja, quando a geração solar supera o consumo local. Por outro lado, débitos são registrados quando ocorre o oposto, ou seja, quando o consumo local supera a geração solar. No momento cobrança da conta de energia, as concessionárias realizam uma análise para equilibrar os créditos acumulados e compensar os débitos (ESPOSITO; FUCHS, 2013).

As despesas relacionadas a possíveis alterações na instalação são de responsabilidade da concessionária no caso de microgeração distribuída, enquanto, no caso de minigeração, tais custos são suportados pelo próprio consumidor interessado. A concessionária também é encarregada dos custos de operação e medição, independentemente da potência instalada na unidade consumidora. No entanto, caso seja comprovado que irregularidades na unidade consumidora, que possui micro ou minigeração distribuída, resultaram em danos ao sistema elétrico, fora das 26 normas de operação estabelecidas pela concessionária, a utilização dos créditos de energia ativa gerados no sistema de compensação durante o período será impossibilitada (ANDRADE, 2019).

2.7.1 REN 687/2015

Em 2015, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) emite a Resolução Normativa 687, introduzindo importantes atualizações na Resolução 482/2012. Entre as principais modificações estão o aumento do prazo para utilização dos créditos energéticos, estendido para 60 meses, bem como a revisão dos limites de potência instalada. Com as alterações, a microgeração passa a englobar unidades com potência instalada de até 75 kW, enquanto a minigeração abrange sistemas com potência instalada entre 75 kW e 5 MW (ANEEL, 2015).

A resolução estabelece as diretrizes e regulamentos fundamentais que as concessionárias de energia elétrica devem observar. Por meio desta resolução, foram definidos e segmentados os níveis de capacidade instalada de geração, estabelecendo categorias distintas, sendo as mais relevantes a microgeração distribuída e a minigeração distribuída. (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2015).

Diante dessa expansão e do cenário promissor para o mercado, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) anuncia uma nova revisão da Resolução Normativa 482, visando evitar o fenômeno do subsídio cruzado. Conforme apontado pela agência, essa distorção nos custos resultou em um montante de R\$ 205 milhões em 2018, sendo previsto atingir bilhões de reais até 2025. O subsídio cruzado consiste em uma forma de transferência de custos, na qual as tarifas das distribuidoras são estabelecidas de maneira a considerar as despesas com base no uso de todos os consumidores, porém, sendo cobradas apenas dos consumidores "convencionais". Para Castro (2019) a perspectiva da agência, essa situação poderia desencadear uma "espiral de deterioração", na qual tarifas mais elevadas incentivariam um número crescente de consumidores a instalarem seus próprios geradores, resultando em uma acentuada diminuição na arrecadação de pagamentos referentes aos custos da rede.

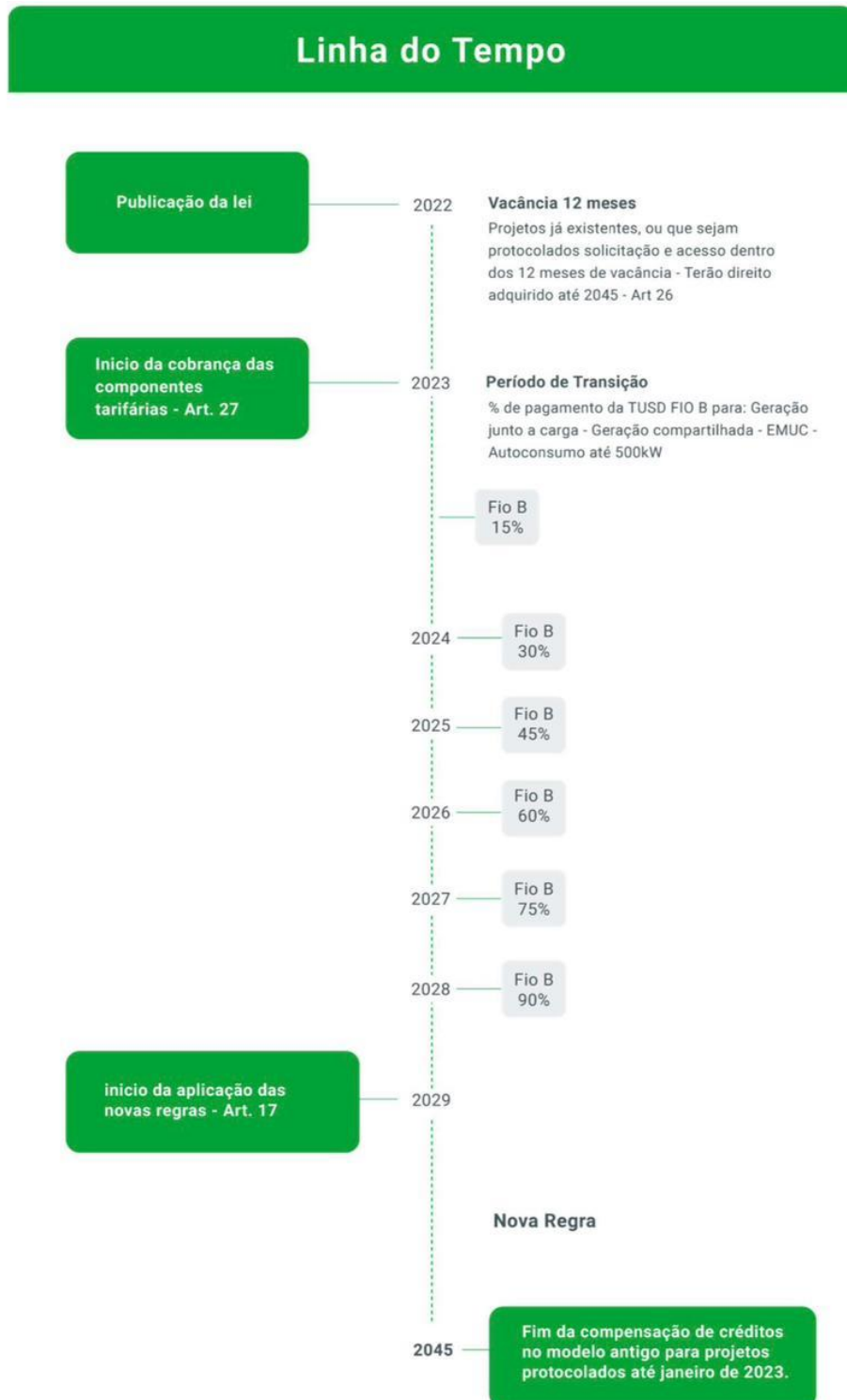
2.7.1 Lei 14.300/2022

Aprovada em 2021 e sancionada no ano subsequente, a legislação estabelece um ambiente propício para a geração de pequena escala por meio de fontes incentivadas, com destaque especial para a energia solar fotovoltaica, a qual é atualmente empregada em 88,3% dos projetos. Tal medida proporciona uma base estável para o desenvolvimento dessa forma de geração de energia (FERREIRA, 2022).

Anteriormente à promulgação do Marco Legal, as resoluções da ANEEL estavam sujeitas a serem modificadas mediante novas deliberações da autarquia. Conforme apontado por especialistas, a referida lei resguarda o consumidor de alterações retroativas que possam prejudicar o seu investimento, proporcionando a segurança jurídica estabelecida como uma diretriz pelo Conselho Nacional de Política Energética (PLANALTO, 2022). Para Ferreira (2022) A principal modificação resultante é a introdução da tarifa pelo uso da infraestrutura da concessionária nos períodos em que não ocorre geração simultânea. Atualmente, aqueles que geram sua própria energia não estão sujeitos ao pagamento da Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD), e a lei mantém essa definição para todas as usinas já instaladas e para os consumidores que solicitarem a conexão à rede de distribuição até 6 de janeiro de 2023. A

garantia desse benefício estende-se até 2045, superando o período de vida útil das instalações de captação de energia solar.

Figura 15: Percentuais de cobrança de acordo com o ano da instalação.



Fonte: Intelbras, 2022.

Para os potenciais investidores em sistemas de micro ou minigeração a partir do início de 2023, a cobrança da tarifa será implementada de maneira gradual ao longo dos próximos anos, com uma taxa de aumento anual de 15%. Serão estabelecidos dois grupos de transição, com base na data de adesão de cada consumidor ao sistema (FERREIRA, 2022).

Segundo Ferreira (2022) uma inclusão relevante é a inclusão da possibilidade de venda do excedente de energia produzida à concessionária. Essa transação comercial ocorrerá por meio de chamadas públicas, cujo processo ainda será devidamente regulamentado pela ANEEL. Ao comercializar os créditos excedentes, os consumidores geradores terão a oportunidade de compensar o valor do investimento realizado no sistema em um período menor do que o atualmente estabelecido, o que cria mais um incentivo para a adoção da microgeração e minigeração distribuída.

É de responsabilidade da ANEEL ajustar a legislação pertinente, a fim de viabilizar a formação dos recursos financeiros e acompanhar de forma física e contábil o Plano de Expansão da Redes de Serviços (PERS) além de regulamentar as chamadas públicas para contratação de serviços com o propósito de implementar a instalação do sistema gerador. Por fim, é de responsabilidade do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) estabelecer as diretrizes para a valoração dos custos e benefícios da micro e mini distribuída, enquanto cabe à ANEEL elaborar a regulamentação correspondente até julho de 2023 (FERREIRA, 2022).

Anteriormente, ocorria uma compensação integral de todos os componentes tarifários, porém, agora alguns componentes deixarão de ser compensados de forma gradual e escalonada. Outro ponto relevante é a possibilidade de comercialização dos excedentes de energia com as distribuidoras, por meio de uma chamada pública que ainda será regulamentada pela ANEEL (AGUIAR, 2022).

3 METODOLOGIA

A metodologia desse trabalho consiste na análise financeira do investimento em uma instalação de energia fotovoltaica em uma residência localizada em São Bernardo do Campo, São Paulo, com consumo médio para 5 pessoas, o que corresponde a cerca de 390kWh/mês. O estudo tem como objetivo principal comparar os períodos de retorno do investimento, principalmente em dois cenários distintos: antes e depois da regulamentação atualmente em vigor, conhecida como marco legal da energia solar.

Inicialmente, será desenvolvido um projeto fotovoltaico partindo do zero, considerando todos os gastos envolvidos, incluindo materiais e instalação, com preços cotados para o ano de 2023. Essa abordagem visa garantir uma avaliação completa e precisa do investimento necessário para a implementação do sistema.

Por meio de análise da literatura vista nas revisões bibliográficas, é plausível tratar que a maioria das residências consome uma quantidade reduzida de energia durante o período de maior geração de energia solar, geralmente entre as 7h e as 16h. Isso se deve ao fato de que o horário de pico do consumo residencial ocorre a partir das 18h, momento em que os sistemas fotovoltaicos estão no fim da sua geração diária. Portanto, será levado em consideração que uma grande parte da energia gerada será injetada na rede elétrica, enquanto uma parcela mínima será consumida instantaneamente.

Com base no valor final do sistema de geração obtido pela análise de mercado, juntamente com a estimativa anual de geração de energia pelo projeto fotovoltaico, será possível obter a análise do payback. Nessa etapa, será verificada a diferença no tempo de retorno entre o período anterior à nova regulamentação e o período considerando o ano de 2023. É importante ressaltar que, de acordo com as regulamentações vigentes, a cada ano será adicionada uma porcentagem ao valor do FIO B de acordo com a Figura 11. Portanto, será realizada a mesma análise para cada ano subsequente até 2029, ano em que a porcentagem se estabelece em um valor fixo final.

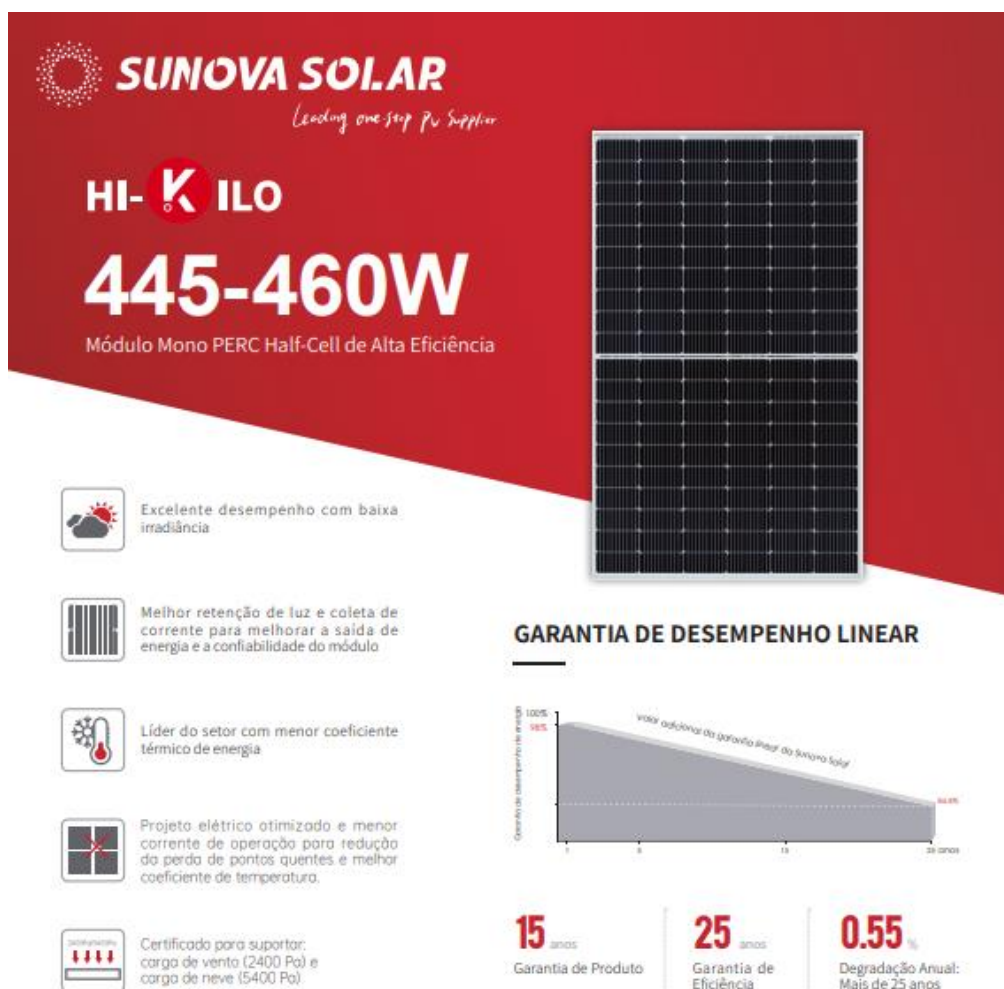
3.1 Parâmetros e Materiais

Para iniciar o projeto fotovoltaico é necessário definir os principais parâmetros como potência dos módulos solar, irradiação solar na região da residência, inclinação dos módulos e temperatura média. Com essas definições é possível dimensionar o número de módulos, potência do inversor, e os demais materiais necessários para o projeto.

3.1.1 Módulo Solar

No mercado atual do Brasil, encontra-se diversos modelos de módulos solares com tamanhos e potências que variam e podem chegar até mais de 700Wp, para o presente estudo será utilizado o modelo de 460W, pois é um painel fácil de se encontrar no mercado brasileiro, o modelo escolhido é o HI-K-ILO da marca Sunova, conforme pode ser visto na figura 16. O seu datasheet completo com as informações e características técnicas encontra-se no anexo B.

Figura 16: Modulo Sunova 445-460W.



FONTE: SUNOVA, 2023

3.1.2 Irradiação Solar em São Bernardo do Campo - SP

Conforme estipulado na metodologia, a escolha do local para a implementação do projeto recairá em São Bernardo do Campo, São Paulo. Para a obtenção de dados sobre irradiação solar e o número de horas de sol pleno, utilizar-se-á o site do CRESEB, Centro de Referência para Energia Solar e Eólica. Vale observar que, a partir das coordenadas geográficas do local, os dados podem ser obtidos no site do CRESEB, considerando que o sistema busca locais próximos, aproximadamente a 10 km das coordenadas inseridas.

É importante ressaltar que a presença das cidades de São Paulo e São Bernardo do Campo nas comparações se justifica devido à busca do CRESEB por locais mais próximos às coordenadas geográficas fornecidas (em torno de 10 km). Recomenda-se verificar a precisão das coordenadas inseridas no site do CRESEB.

Quanto à obtenção da irradiação, serão utilizados dados relativos à média, sendo consultado o site do CRESEB. A Tabela 2 compara as médias diárias por mês entre os municípios de São Bernardo do Campo - SP e São Paulo - SP, proporcionando uma visão detalhada das condições solares na região.

A Tabela 2, assim, ilustra as irradiações solares específicas para a localidade onde o sistema fotovoltaico será instalado.

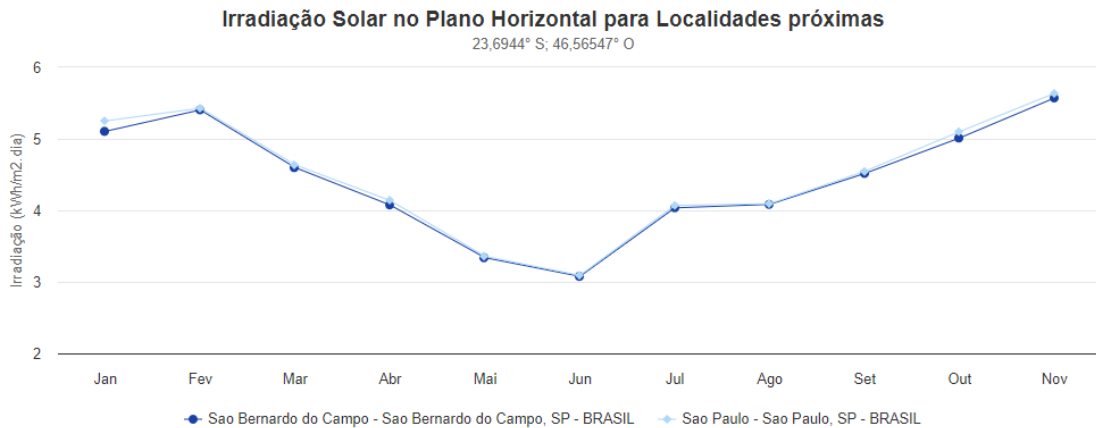
Tabela 2: Irradiação solar diária média por mês.

Município	UF	País	Irradiação solar diária média [kWh/m ² .dia]																	
			Latitude [°]	Longitude [°]	Distância [km]	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta	
Sao Bernardo do Campo	SP	BRASIL	23,701° S	46,549° O		1,8	5,11	5,40	4,60	4,08	3,34	3,08	3,18	4,04	4,08	4,51	5,01	5,57	4,33	2,49
Sao Paulo	SP	BRASIL	23,701° S	46,649° O		8,5	5,25	5,43	4,64	4,14	3,36	3,09	3,20	4,07	4,09	4,55	5,10	5,64	4,38	2,55
Sao Paulo	SP	BRASIL	23,601° S	46,549° O		10,5	5,19	5,44	4,67	4,14	3,40	3,16	3,26	4,16	4,18	4,69	5,11	5,65	4,42	2,50

FONTE: CRESEB, 2023

A Tabela 2 ilustra as irradiações solares para a região onde o sistema fotovoltaico será instalado em comparação com São Paulo - SP, por serem próximos não apresentam grandes diferenças na irradiação média mensal.

Figura 17: Irradiação solar por mês.



FONTE: CRESESB, 2023

Conforme a figura 17, os meses de fevereiro e novembro apresentam os maiores valores de irradiação diária, enquanto os meses de maio e junho os piores.

Tabela 3: Irradiação solar por inclinação do ângulo.

Estação: Sao Bernardo do Campo
Município: Sao Bernardo do Campo , SP - BRASIL
Latitude: 23,701° S
Longitude: 46,549° O
Distância do ponto de ref. (23,6944° S; 46,56547° O): 1,8 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
<input checked="" type="checkbox"/>	Plano Horizontal	0° N	5,11	5,40	4,60	4,08	3,34	3,08	3,18	4,04	4,08	4,51	5,01	5,57	4,33	2,49
<input checked="" type="checkbox"/>	Ângulo igual a latitude	24° N	4,62	5,15	4,72	4,62	4,12	4,00	4,04	4,78	4,33	4,40	4,60	4,95	4,53	1,15
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior média anual	21° N	4,71	5,22	4,74	4,58	4,05	3,91	3,96	4,72	4,33	4,45	4,68	5,06	4,53	1,31
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior mínimo mensal	33° N	4,32	4,90	4,62	4,67	4,28	4,21	4,22	4,90	4,29	4,23	4,32	4,59	4,46	,70

FONTE: CRESESB, 2023

A partir da Tabela 3, é possível notar a diferenças na média da irradiação solar diária de acordo com a inclinação dos módulos, sendo o melhor cenário com inclinação em 0 graus.

3.1.3 Dimensionamento

Para o projeto atender o consumo mensal de 390kWh/mês é de extrema importância realizar o dimensionamento correto tanto da quantidade de painéis, quanto a potência do inversor.

Para iniciar os cálculos é calculado a geração de energia através do módulo escolhido de 460W por dia. Através da Equação 1.

$$Gd = P_{\text{MÓDULO}} \times Ir \times Fp \quad (1)$$

Gd: Geração diária por modulo (kWh)

$P_{\text{MÓDULO}}$: Potência do modulo (Wp)

Ir: Irradiação solar diária

Fp: Fator de perda (0,80)

As perdas no sistema de geração se dão por conta de alguns fatores, sendo eles: a condução da energia gerada, sombreamento, depreciação dos módulos com o passar dos anos, poeira e também pela temperatura, pois ao contrário do que grande parte da população acredita, altas temperaturas prejudicam a produção do sistema de energia, por conta dos motivos apresentados aplicamos o fator de perda de 0,80.

Após a aplicação da Equação 1, utilizando a irradiação solar mês a mês, encontra-se a média da geração diária por modulo e multiplicando considerando 30 dias/mês, conforme na tabela 4.

Tabela 4: Geração por painel.

Geração por painel		
Mês	kWh/dia	kWh/mês
Janeiro	1,58976	47,6928
Fevereiro	1,8032	54,096
Março	1,70016	51,0048
Abril	1,71856	51,5568
Maio	1,57504	47,2512
Junho	1,54928	46,4784
Julho	1,55296	46,5888
Agosto	1,8032	54,096
Setembro	1,57872	47,3616
Outubro	1,55664	46,6992
Novembro	1,58976	47,6928
Dezembro	1,68912	50,6736
Total anual por painel		591,192

Fonte: Autor

Para os cálculos foi utilizado a irradiação considerando a inclinação de 30 graus. A partir do total anual por painel é possível chegar no total do número de placas. Cálculo presente na Equação 2.

$$N_p = \text{Consumo anual} / \text{total de geração por painel por ano} \quad (2)$$

$$N_p = 7,916209962.$$

N_p : número de placas

Como o número de painéis não pode ser em valor quebrado foi arredondado para 8 painéis para atender o consumo anual de 4680 kWh.

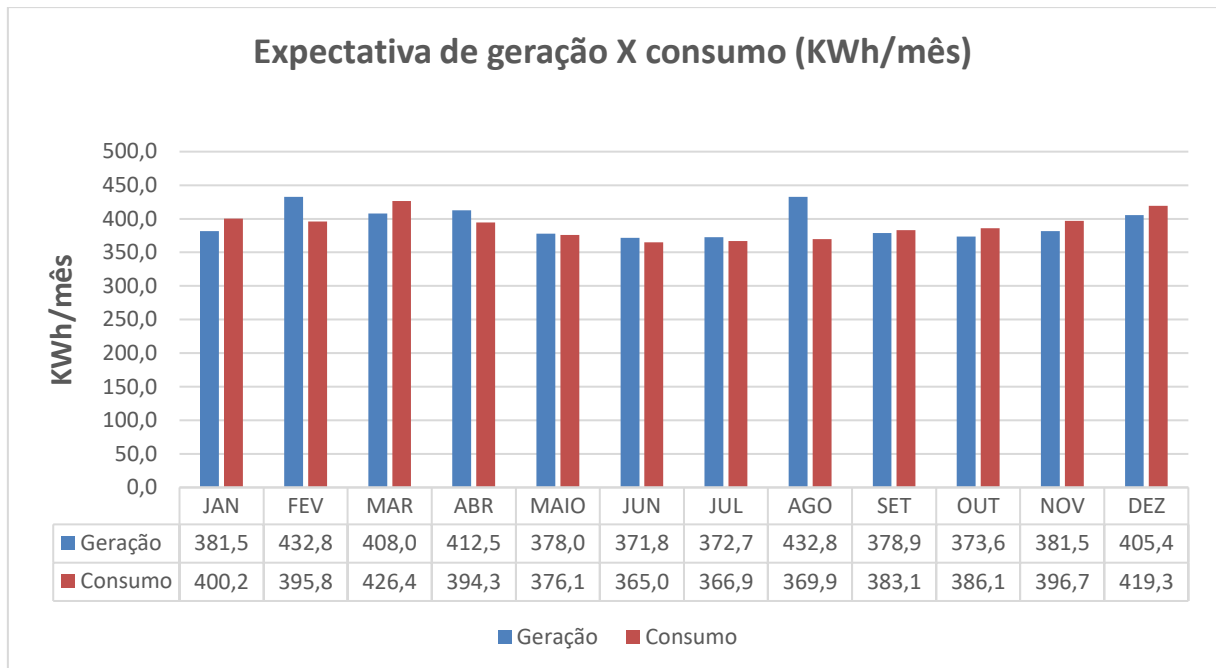
$$\text{Potência do sistema} = N_p * P_{\text{MÓDULO}} \quad (3)$$

$$\text{Potência do sistema} = 8 * 460W$$

$$\text{Potência do sistema} = 3680kWp$$

Este sistema proporcionará uma média mensal de 390 kWh e uma média anual de 4.680 kWh, conforme planejado. Essa implementação levará à redução total do consumo de energia. Para atender a essa demanda, foi projetado um sistema de geração fotovoltaica com capacidade de 3.680 Wp. Para os valores do consumo médio mensal estabeleceu-se a partir do gráfico disponível no anexo D. Retirado da Empresa de Pesquisa Energética, referente ao consumo residencial de energia nos últimos anos.

Figura 18: Expectativa de geração em comparação com o consumo por mês.



Fonte: Autor.

Na figura 18, nota-se que em determinados meses, como janeiro, o consumo é maior que a geração. Neste caso, o consumidor terá que pagar a diferença para a concessionária de distribuição ou utilizar o crédito gerado em um mês anterior, onde a geração tenha sido maior do que o consumo, como exemplo o mês de fevereiro.

Outro item importante do projeto residencial é o inversor, que transformará os sinais de corrente contínua em corrente alternada, permitindo realizar a ligação na rede da residência. No projeto foi considerado o módulo MIN 3600TL-XH da marca Growatt, o datasheet do módulo está no anexo C.

Figura 19: Inversor Growatt MIN 3600TL-XH



Fonte: Growatt, 2023.

3.1.4 Materiais Diversos

Para os demais materiais do projeto foi considerado um telhado de telha cerâmica, como da grande maioria das residências brasileiras, para que esse estudo possa abranger o maior número de casos possíveis.

No caso de instalações solares em residências a sua grande maioria instala o sistema no telhado e para fixar o sistema fotovoltaico utiliza-se a estrutura de fixação para telhados de cerâmica conforme a figura 20.

Figura 20: Estrutura de fixação telhado de cerâmica.



Fonte: NeoSolar, 2022.

Para realizar a instalação do sistema fotovoltaico existe a necessidade da utilização de cabos elétricos específicos para estes sistemas, também chamados de cabo solar fotovoltaico. Para esse projeto foi considerado 30 metros de cabo de cobre isolado em PVC, na cor preta para o terminal negativo e 30 metros da cor vermelho para o terminal positivo. A seção nominal deste cabo é igual a 6mm².

Para garantir a segura do projeto estudado foi incluído o sistema de proteção contra surtos e oscilações a partir do sistema de proteção CA e CC, conhecidos no mercado solar como String Box. A string box é essencial em sistemas fotovoltaicos, conectando e protegendo as strings de painéis solares. Além de gerenciar conexões, ela proporciona proteção elétrica com fusíveis ou disjuntores. Projetada para resistir às condições ambientais, a string box assegura conexões elétricas organizadas entre as strings e o inversor, seguindo normas elétricas e de segurança para garantir o funcionamento seguro e eficiente do sistema fotovoltaico, funcionando como um dispositivo de proteção

Figura 21: String Box quadro 2 entradas e 2 saídas 1000V.



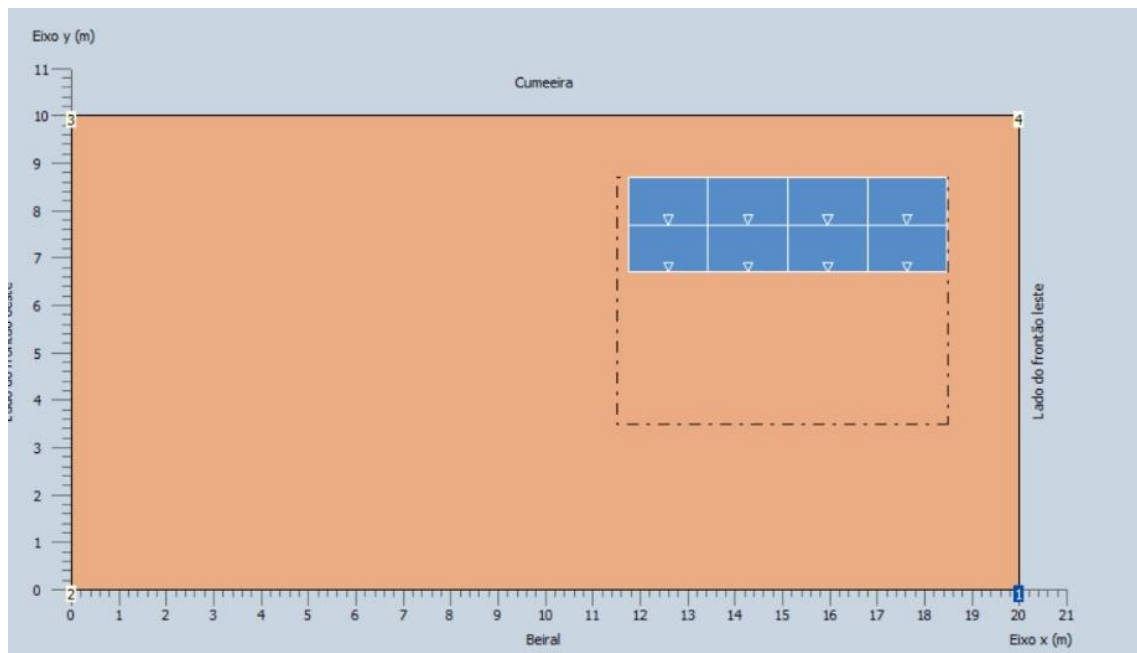
Fonte: Vatis, 2022.

3.2 Simulação

Para uma análise mais profunda do projeto foram realizadas simulações a partir do uso da ferramenta PVSol, disponível no laboratório do Centro Universitário FEI, esse software permite visualizar a instalação dos painéis no telhado e gerar diagramas e resultados conforme apresentados abaixo, do projeto residencial. Para garantirmos o bom funcionamento do sistema.

O painel solar da Sunova, escolhido para o projeto possui 1,903m de altura, 1,134 m de comprimento e 3 cm de espessura, instalado em um telhado de 10 metros por 20 metros, com o ângulo de 30 graus, pois como foi escolhido o telhado cerâmico como característica esses telhados costumam apresentar essa angulação.

Figura 22: Vista superior telhado.



Fonte: Autor, 2023.

Por ser um sistema de pequeno porte não existe a necessidade de deixar espaço entre os módulos para manutenção pois é possível acessar todos os painéis com facilidade. O sistema instalado ocupará uma área útil aproximada de 8,63 m². Observa-se na Figura 22 a disposição dos módulos no telhado.

No software, foram realizadas as configurações dos MPPT e do strings do inversor. Por esta razão, opta-se em utilizar 4 painéis por MPPT (rastreamento do ponto de máxima potência), dividindo as cargas igualmente, essa divisão permite a ligação de arranjos com características distintas, podendo depender da sua localização, do ângulo e do sombreamento. Esse inversor permite operar simultaneamente os dois arranjos mesmo que ocorra casos de diferentes pontos de máxima, permitindo monitorar a geração separadamente, e compará-las.

Figura 23: Configuração por MPPT do inversor.

Configuração automática

Padrão [Seleção de inversores](#) para a configuração automática: Adequado: 4 / Seleção: 7

SolarEdge *

VERIFICAÇÃO VALORES POTÊNCIA

CONFIGURAÇÃO: Área do módulo 1

INVERSOR 1: Conexão polistring

1 x GROWATT New Energ... MDN 3600TL-XH 3,68 kWp

Otimizador de potência

Modo operacional: PMP 1, PMP 2

PMP 1: 1 String x 4 Módulos em série

PMP 2: 1 String x 4 Módulos em série

Área do módulo: Configurado

Área do módulo 1 8 x SS-460-60MDH = 3,68 kWp 8 Módulos fotovoltaicos

Opções: [Verificar sistema](#)

[Limites de configuração](#)

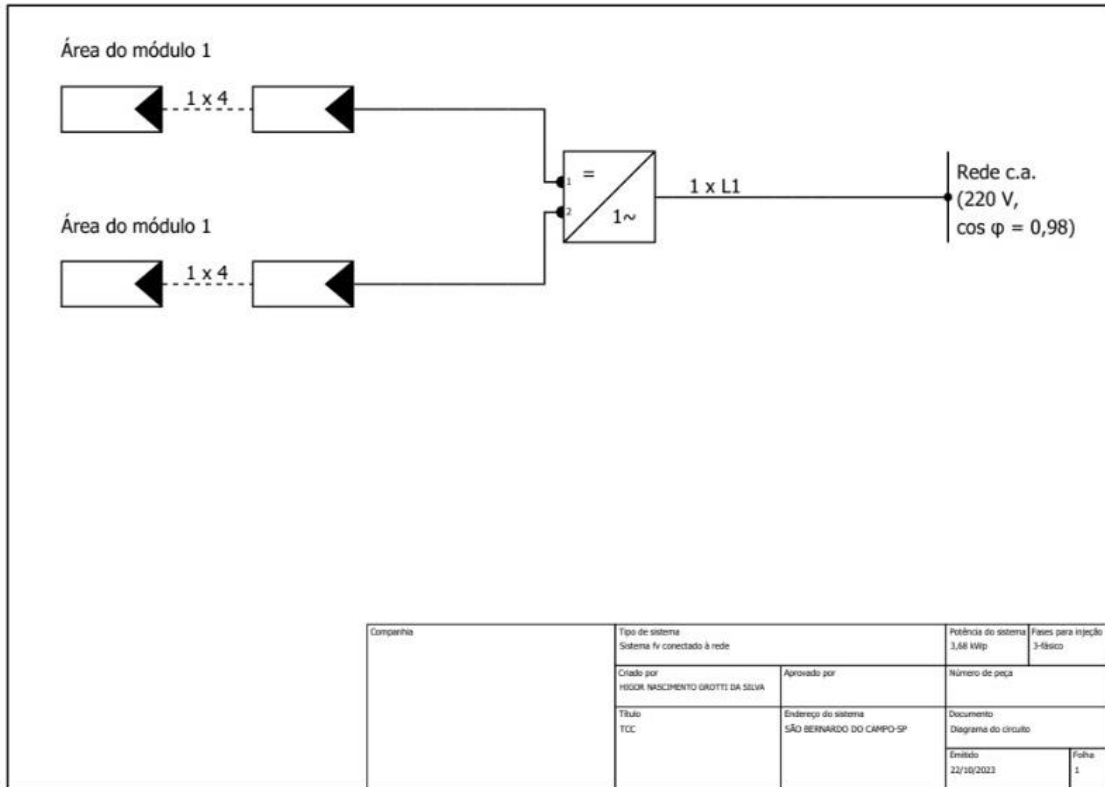
Selecionar o inversor apenas entre os favoritos

*) As propostas de configuração do PV*SOL para produtos da SolarEdge não representam uma recomendação oficial da SolarEdge.

Fonte: Autor, 2023.

Após posicionar os painéis no telhado e configurar as MPPTs do inversor, foi gerado o Diagrama de Blocos do projeto.

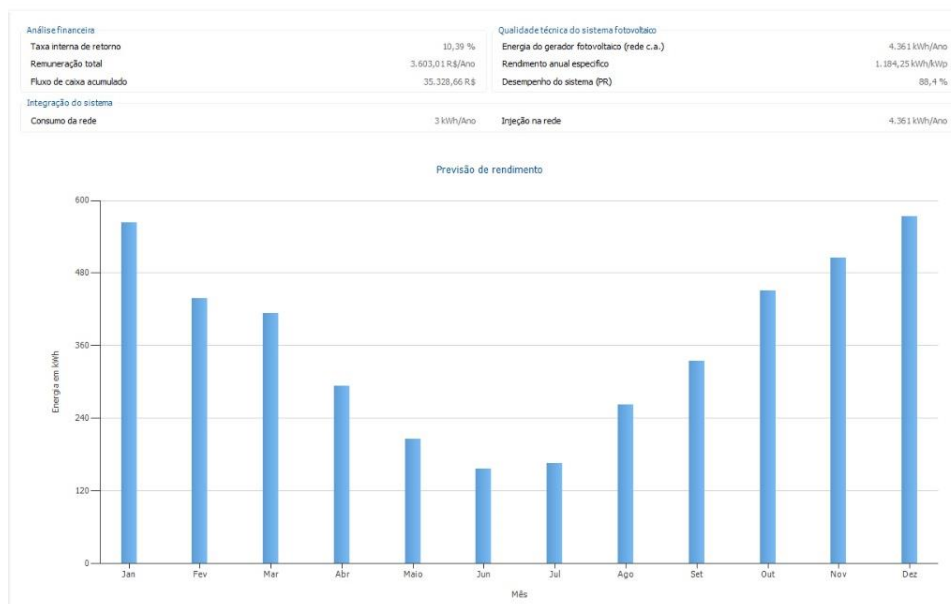
Figura 24: Diagrama de blocos.



Fonte: Autor, 2023.

Por fim foi gerado os resultados do sistema no software, conforme a figura 24.

Figura 25: Resultados obtidos através do software PVSol.



Fonte: Autor, 2023.

Os resultados obtidos no software PVSol, não são os mesmos dos resultados que foram previamente calculados por alguns fatores, sendo um deles por ser um software limitado, que não permite incluir a localização escolhida para o projeto, e nem incluir a concessionária considerada nesse projeto, além deles usarem uma base de dados diferentes de irradiação solar.

3.3 Valorização

A valorização atualizada do projeto de instalação do sistema fotovoltaico desempenha um papel fundamental na pesquisa de análise de retorno financeiro nos possíveis cenários. Ela refere-se à prática de ajustar o valor de ativos, investimentos ou fluxos de caixa para refletir o valor atual. Essa abordagem é essencial na análise de retorno financeiro, pois reflete a mudança nos valores ao longo do tempo devido a condições econômicas e a nova legislação, Lei 14.300. Ela permite comparações justas entre investimentos em momentos diferentes, auxilia na avaliação de riscos e é crucial para cálculos de métricas de desempenho e no *payback*. Além disso, a prática de valorização atualizada é vital para tomar decisões de investimento informadas e para monitorar o desempenho ao longo do tempo, especialmente em projetos de longo prazo.

Tendo em vista os pontos levantados da importância de se realizar a valorização do projeto, após o dimensionamento do sistema fotovoltaico, foi realizada uma pesquisa de mercado buscando três opções de preço dos materiais mais instalação para calcularmos uma média simples em cima dos valores fornecidos com o objetivo de tornar real nossa comparação de cenário. Cabe ressaltar, que os preços apresentados na Tabela 6, correspondem aos valores praticados no local de implantação e instalação do sistema fotovoltaico, podendo variar de acordo com a cidade, por conta de questões de frete e mão de obra especializada.

Tabela 5: Lista de materiais do projeto.

Lista de Materiais - Gerador de Energia Fotovoltaica - Potência total de 3,68 KWp		
Qtde.	Produto	Marca
8	Módulo Solar 460 Wp	Sunova
1	Inversor MIN 3600TL-XH	Growatt
2	Estrutura de Fixação para Telha Fibrocimento/Cerâmica - Retrato - 4 Módulos	Alumax
1	Sistema de Proteção CA e CC	Clamper
4	Conectores MC4	Sky Master
30	Cabo Solar Vermelho 6mm	Sil
30	Cabo Solar Preto 6mm	Sil
1	Serviço de Instalação + Homologação do Sistema na Concessionaria	Fornecedor
1	Frete do material	Fornecedor

Fonte: Autor, 2023.

Após a definição da lista de matérias, apresentada na Tabela 5. Realizou-se a cotação com quatro empresas diferentes, entretanto por conta de as cotações estarem com potências diferentes e considerarem materiais diversos, não é possível obter uma média apenas dos valores finais, conforme apresentado na Tabela 6.

Tabela 6: Cotações sistema fotovoltaico.

Cotações			
Empresa	Potência do sistema (kWp)	Valor final	Preço por Wp
A	3,85	R\$ 12.300,00	R\$ 3,19
B	2,66	R\$ 9.379,14	R\$ 3,53
C	3,85	R\$ 11.969,89	R\$ 3,11
D	3,30	R\$ 11.433,43	R\$ 3,46

Fonte: Autor, 2023.

O preço por Wp foi determinado através da divisão do valor do sistema pela potência oferecida pelas empresas, as propostas comerciais estão presentes no anexo, em todas elas são oferecidas um sistema fotovoltaico completo, instalado e homologado. Partindo de uma média simples conclui-se que o valor por Wp é de R\$ 3,32. Sendo que o sistema projetado possui 3680 Wp, é possível estimar que o gasto para implementação do sistema é de R\$ 12.217,60.

3.4 Cenários

Para realizar as comparações dos cenários, é preciso definir alguns pontos. Como o presente estudo trata-se de uma residência, a tarifa residencial a ser considerada é a B1 Convencional. Além do preço da tarifa é necessário também definir a porcentagem do Fio B.

Figura 26: Valores TUSD e TE (com tributos) em São Bernardo do Campo-SP.

Itens de Fatura	Unid.	Quant. (kWh)	Preço unit (R\$) com tributos
USO SIST. DISTR. (TUSD)	KWH	114,000	0,43202
ENERGIA (TE)	KWH	114,000	0,33237

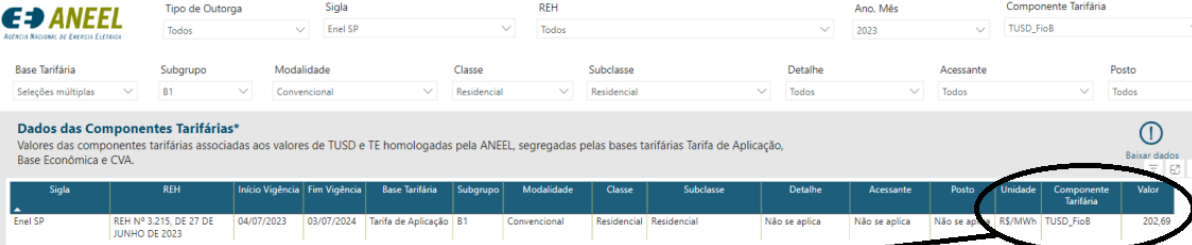
Fonte: Enel, 2023.

Conforme a figura 21, observa-se que:

- TUSD (com tributos) igual a R\$ 0,43202;
- TE (com tributos) igual a R\$ 0,33237;
- Tarifa residência B1 (com tributos) igual a R\$ 0,76439.

Para se definir o percentual da TUSD Fio B, é necessário consultar o site da ANEEL, pois o valor varia de acordo com a área da concessão e é definido pela distribuidora.

Figura 27: Valor TUSD Fio B.



Sigla	REH	Início Vigência	Fim Vigência	Base Tarifária	Subgrupo	Modalidade	Classe	Subclasse	Detalhe	Acessante	Posto	Unidade	Componente Tarifária	Valor
Enel SP	REH Nº 3.215, DE 27 DE JUNHO DE 2023	04/07/2023	03/07/2024	Tarifa de Aplicação	B1	Convencional	Residencial	Residencial	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	R\$/MWh	TUSD_FioB	202,69

Unidade	Componente Tarifária	Valor
R\$/MWh	TUSD_FioB	202,69

Fonte: Aneel, 2023.

O valor informado para a região do estudo é de 202,69 R\$/MWh ou 0,20268 R\$/kWh. Para calcular a porcentagem do fio B na tarifa utiliza-se a Equação 4.

Valor do Fio B Tarifa (%) = Valor da TUSD Fio B/ Tarifa residência B1Convencional (4)

$$\text{Valor do Fio B Tarifa (\%)} = 0,20268 / 0,76439$$

$$\text{Valor do Fio B Tarifa} = 26,52\%$$

Sendo assim, obtém-se que o valor do Fio B corresponde a 26,52% da tarifa residencial B1.

Dada a informação anterior é preciso calcular o valor da componente tarifaria do Fio B para o ano de 2023 e os subsequentes, pois serão de extrema importância para as análises que serão feitas. Conforme determinado pela legislação atual, Lei 14.00, para o ano de 2023 deu início a cobrança do pagamento de 15% do Fio B, com aumento graduado de 15% por ano até 2028 onde será cobrado 90% do Fio B. Para determinar o valor pago pelo fio, utiliza-se a Equação 5.

*Valor pago referente a utilização do Fio B = Percentual do ano atual * (Porcentagem do Fio B na tarifa * Tarifa total) (5)*

Ou seja, para o ano de 2023, com a tarifa de residência B1 no valor de 0,76439 reais, definida anteriormente.

$$\text{Valor pago referente o Fio B} = 15\% * (26,52\% * 0,7639)$$

$$\text{Valor pago referente o Fio B} = 15\% * (26,52\% * 0,7639)$$

$$\text{Valor pago referente o Fio B} = \text{R\$ } 0,030407434 / \text{kWh}$$

Como exemplo para as análises seguintes, nos casos residenciais que, por sua maioria, utiliza-se pouca energia durante o horário de pico da geração. Nestas condições, será adotado no presente trabalho que, durante o ano de 2023, foi consumido no período de maior geração 25% da sua potência, enquanto o restante (75%) foi injetado na rede da distribuidora.

O valor a ser pago pelo uso das instalações da distribuidora pode ser calculado a partir da Equação 6.

*Valor pago referente o Fio B anual = (Geração Anual * Energia Injetada) * Valor Fio B (6)*

$$\text{Valor pago referente o Fio B anual} = (4.680 * 75\%) * 0,030407434$$

$$\text{Valor pago referente o Fio B anual} = \text{R\$ } 106,73$$

Com o valor pago referente ao Fio B anual é possível calcular a economia acumulada durante o ano de 2023.

$$\text{Economia anual} = \text{Geração Anual} * \text{Tarifa} - \text{Valor pago referente o Fio B anual (7)}$$

$$\text{Economia anual} = 4680 \text{ kWh} * 0,76439 - 106,73$$

$$\text{Economia anual} = 3.577,3452 - 106,73$$

$$\text{Economia anual} = 3.470,62$$

Tabela 7: Comparação da economia anual se o sistema fosse instalado até 2022 x sistema instalado no ano 2023 (75% injetada e 25% consumida).

Ano	Economia Geração	Instalações até 2022		Instalação no ano de 2023	
		Taxa concessionária (50kWh por ano)	Economia Anual	Pagamento Fio B 75% Energia Injetada	Economia Anual
1	R\$ 3.577,35	R\$ 458,63	R\$ 3.118,71	R\$ 106,73	R\$ 3.470,62
2	R\$ 3.577,35	R\$ 458,63	R\$ 3.118,71	R\$ 213,46	R\$ 3.363,89
3	R\$ 3.577,35	R\$ 458,63	R\$ 3.118,71	R\$ 320,19	R\$ 3.257,16
4	R\$ 3.577,35	R\$ 458,63	R\$ 3.118,71	R\$ 426,92	R\$ 3.150,43
5	R\$ 3.577,35	R\$ 458,63	R\$ 3.118,71	R\$ 533,65	R\$ 3.043,70
6	R\$ 3.577,35	R\$ 458,63	R\$ 3.118,71	R\$ 640,38	R\$ 2.936,97
7	R\$ 3.577,35	R\$ 458,63	R\$ 3.118,71	R\$ 711,53	R\$ 2.865,82
8	R\$ 3.577,35	R\$ 458,63	R\$ 3.118,71	R\$ 711,53	R\$ 2.865,82
9	R\$ 3.577,35	R\$ 458,63	R\$ 3.118,71	R\$ 711,53	R\$ 2.865,82
10	R\$ 3.577,35	R\$ 458,63	R\$ 3.118,71	R\$ 711,53	R\$ 2.865,82
11	R\$ 3.577,35	R\$ 458,63	R\$ 3.118,71	R\$ 711,53	R\$ 2.865,82
12	R\$ 3.577,35	R\$ 458,63	R\$ 3.118,71	R\$ 711,53	R\$ 2.865,82
13	R\$ 3.577,35	R\$ 458,63	R\$ 3.118,71	R\$ 711,53	R\$ 2.865,82
14	R\$ 3.577,35	R\$ 458,63	R\$ 3.118,71	R\$ 711,53	R\$ 2.865,82
15	R\$ 3.577,35	R\$ 458,63	R\$ 3.118,71	R\$ 711,53	R\$ 2.865,82
16	R\$ 3.577,35	R\$ 458,63	R\$ 3.118,71	R\$ 711,53	R\$ 2.865,82
17	R\$ 3.577,35	R\$ 458,63	R\$ 3.118,71	R\$ 711,53	R\$ 2.865,82
18	R\$ 3.577,35	R\$ 458,63	R\$ 3.118,71	R\$ 711,53	R\$ 2.865,82
19	R\$ 3.577,35	R\$ 458,63	R\$ 3.118,71	R\$ 711,53	R\$ 2.865,82
20	R\$ 3.577,35	R\$ 458,63	R\$ 3.118,71	R\$ 711,53	R\$ 2.865,82
21	R\$ 3.577,35	R\$ 458,63	R\$ 3.118,71	R\$ 711,53	R\$ 2.865,82
22	R\$ 3.577,35	R\$ 458,63	R\$ 3.118,71	R\$ 711,53	R\$ 2.865,82
23	R\$ 3.577,35	R\$ 458,63	R\$ 3.118,71	R\$ 711,53	R\$ 2.865,82
24	R\$ 3.577,35	R\$ 458,63	R\$ 3.118,71	R\$ 711,53	R\$ 2.865,82
25	R\$ 3.577,35	R\$ 458,63	R\$ 3.118,71	R\$ 711,53	R\$ 2.865,82
Total após 25 anos	R\$ 89.433,63	R\$ 11.465,85	R\$ 77.967,78	R\$ 15.760,40	R\$ 73.673,23

Fonte: Autor, 2023.

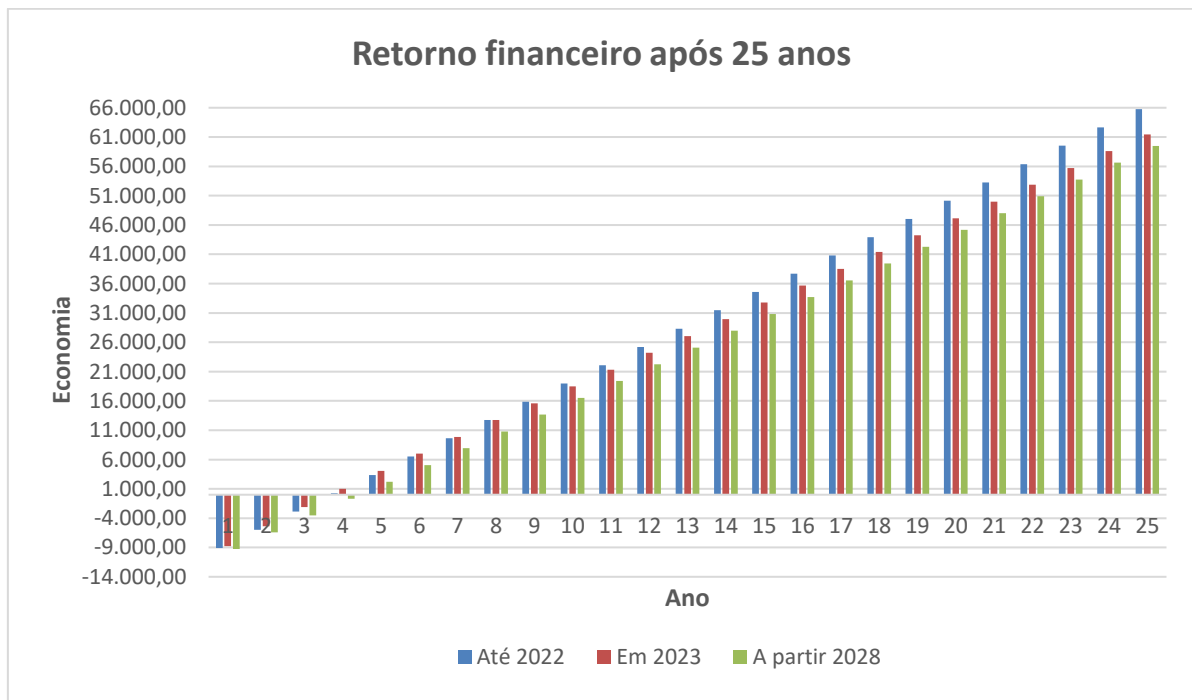
Para instalações realizadas até o ano de 2022, a Resolução Normativa de 414 de 2010, já revogada, obrigava o pagamento de uma taxa mínima de acordo com o padrão de

fornecimento, sendo de 30 kWh para ligação monofásica, 50 kWh bifásica e 100 kWh para trifásica. No presente trabalho é considerada uma residência com padrão de fornecimento bifásico, sendo o valor mínimo pago mensalmente a concessionária de distribuição o valor de R\$ 38,22, resultando em uma taxa anual de R\$ 458,63, conforme apresentado na tabela 7, na coluna “Taxa concessionaria (50kWh por ano)”. Estes valores variam de acordo com o consumo em kWh da residência e devem ser consideradas para pedidos de instalações com geração fotovoltaica instalada até o final do ano de 2022. Este modelo de valerá até o ano de 2045.

O retorno financeiro é um dos principais pontos levantados quando se trata de investimento. Para uma análise mais apurada, foi gerado o gráfico da figura 28, a partir dos dados obtidos na tabela 7, incluindo mais um caso na comparação, em verde no gráfico, representando instalações a partir do ano de 2028. Possibilitando comparar o retorno financeiro ao longo de 25 anos, que corresponde ao tempo médio de vida de um sistema fotovoltaico.

No Gráfico 7 compara-se 3 casos diferentes, sendo diferenciados pelo o ano da instalação de um mesmo sistema, o primeiro em azul caso o sistema fosse instalado até o ano de 2022, o segundo em laranja caso o mesmo sistema fosse instalado em 2023, e em laranja caso o sistema for instalado a partir de 2028.

Figura 28: Retorno financeiro após 25 anos.



Fonte: Autor, 2023.

Na figura 28, é considerado que o valor do investimento do sistema fotovoltaico é o mesmo para os três cenários, a diferença entre eles é o percentual de cobrança da taxa do Fio B que possui aumento gradativo a cada ano.

Na análise do projeto, destaca-se outro ponto relacionado à diferença entre a energia injetada e consumida instantaneamente durante a geração. Apesar de inicialmente definida como 75% injetada e 25% consumida, com o objetivo de fornecer mais informações, foram definidas 4 condições apresentadas na Tabela 8, e na Tabela 9 observa-se a comparação entre as condições A, B, C e D.

Tabela 8: Condições.

Condições	Injetada x consumida instantânea	Injetada (kWh)	Consumida (kWh)
A	100% injetada x 0% instantânea	4680	0
B	75% injetada x 25% instantânea	3510	1170
C	50% injetada x 50% instantânea	2340	2340
D	25% injetada x 75% instantânea	1170	3510

Fonte: Autor, 2023.

Tabela 9: Comparação de cenários energia injetada x energia consumida instantânea.

Ano	Porcentagem Fio B (%)	Pag. Fio B Condição A	Economia Anual	Pag. Fio B Condição B	Economia Anual	Pag. Fio B Condição C	Economia Anual	Pag. Fio B Condição D	Economia Anual
2023	15	R\$ 142,31	R\$ 3.435,04	R\$ 106,73	R\$ 3.470,62	R\$ 71,15	R\$ 3.506,19	R\$ 35,58	R\$ 3.541,77
2024	30	R\$ 284,61	R\$ 3.292,73	R\$ 213,46	R\$ 3.363,89	R\$ 142,31	R\$ 3.435,04	R\$ 71,15	R\$ 3.506,19
2025	45	R\$ 426,92	R\$ 3.150,42	R\$ 320,19	R\$ 3.257,15	R\$ 213,46	R\$ 3.363,89	R\$ 106,73	R\$ 3.470,62
2026	60	R\$ 569,23	R\$ 3.008,12	R\$ 426,92	R\$ 3.150,42	R\$ 284,61	R\$ 3.292,73	R\$ 142,31	R\$ 3.435,04
2027	75	R\$ 711,53	R\$ 2.865,81	R\$ 533,65	R\$ 3.043,69	R\$ 355,77	R\$ 3.221,58	R\$ 177,88	R\$ 3.399,46
2028	90	R\$ 853,84	R\$ 2.723,50	R\$ 640,38	R\$ 2.936,96	R\$ 426,92	R\$ 3.150,42	R\$ 213,46	R\$ 3.363,89
2029	100	R\$ 948,71	R\$ 2.628,63	R\$ 711,53	R\$ 2.865,81	R\$ 474,36	R\$ 3.102,99	R\$ 237,18	R\$ 3.340,17
2030	100	R\$ 948,71	R\$ 2.628,63	R\$ 711,53	R\$ 2.865,81	R\$ 474,36	R\$ 3.102,99	R\$ 237,18	R\$ 3.340,17
2031	100	R\$ 948,71	R\$ 2.628,63	R\$ 711,53	R\$ 2.865,81	R\$ 474,36	R\$ 3.102,99	R\$ 237,18	R\$ 3.340,17
2032	100	R\$ 948,71	R\$ 2.628,63	R\$ 711,53	R\$ 2.865,81	R\$ 474,36	R\$ 3.102,99	R\$ 237,18	R\$ 3.340,17
2033	100	R\$ 948,71	R\$ 2.628,63	R\$ 711,53	R\$ 2.865,81	R\$ 474,36	R\$ 3.102,99	R\$ 237,18	R\$ 3.340,17
2034	100	R\$ 948,71	R\$ 2.628,63	R\$ 711,53	R\$ 2.865,81	R\$ 474,36	R\$ 3.102,99	R\$ 237,18	R\$ 3.340,17
2035	100	R\$ 948,71	R\$ 2.628,63	R\$ 711,53	R\$ 2.865,81	R\$ 474,36	R\$ 3.102,99	R\$ 237,18	R\$ 3.340,17
2036	100	R\$ 948,71	R\$ 2.628,63	R\$ 711,53	R\$ 2.865,81	R\$ 474,36	R\$ 3.102,99	R\$ 237,18	R\$ 3.340,17
2037	100	R\$ 948,71	R\$ 2.628,63	R\$ 711,53	R\$ 2.865,81	R\$ 474,36	R\$ 3.102,99	R\$ 237,18	R\$ 3.340,17
2038	100	R\$ 948,71	R\$ 2.628,63	R\$ 711,53	R\$ 2.865,81	R\$ 474,36	R\$ 3.102,99	R\$ 237,18	R\$ 3.340,17
2039	100	R\$ 948,71	R\$ 2.628,63	R\$ 711,53	R\$ 2.865,81	R\$ 474,36	R\$ 3.102,99	R\$ 237,18	R\$ 3.340,17
2040	100	R\$ 948,71	R\$ 2.628,63	R\$ 711,53	R\$ 2.865,81	R\$ 474,36	R\$ 3.102,99	R\$ 237,18	R\$ 3.340,17
2041	100	R\$ 948,71	R\$ 2.628,63	R\$ 711,53	R\$ 2.865,81	R\$ 474,36	R\$ 3.102,99	R\$ 237,18	R\$ 3.340,17
2042	100	R\$ 948,71	R\$ 2.628,63	R\$ 711,53	R\$ 2.865,81	R\$ 474,36	R\$ 3.102,99	R\$ 237,18	R\$ 3.340,17
2043	100	R\$ 948,71	R\$ 2.628,63	R\$ 711,53	R\$ 2.865,81	R\$ 474,36	R\$ 3.102,99	R\$ 237,18	R\$ 3.340,17
2044	100	R\$ 948,71	R\$ 2.628,63	R\$ 711,53	R\$ 2.865,81	R\$ 474,36	R\$ 3.102,99	R\$ 237,18	R\$ 3.340,17
2045	100	R\$ 948,71	R\$ 2.628,63	R\$ 711,53	R\$ 2.865,81	R\$ 474,36	R\$ 3.102,99	R\$ 237,18	R\$ 3.340,17
2046	100	R\$ 948,71	R\$ 2.628,63	R\$ 711,53	R\$ 2.865,81	R\$ 474,36	R\$ 3.102,99	R\$ 237,18	R\$ 3.340,17
2047	100	R\$ 948,71	R\$ 2.628,63	R\$ 711,53	R\$ 2.865,81	R\$ 474,36	R\$ 3.102,99	R\$ 237,18	R\$ 3.340,17
Economia total após 25 anos		Condição A	R\$ 68.419,66	Condição B	R\$ 73.673,15	Condição C	R\$ 78.926,65	Condição D	R\$ 84.180,14

Fonte: Autor, 2023.

A condição selecionada como base para as comparações anteriores foi a condição B. Após uma análise aprofundada, observa-se que o consumo energético residencial é mais significativo durante a noite, devido a diversos fatores. A iluminação, necessária para a visibilidade interna e externa da residência, é uma contribuição substancial. Além disso, a utilização de eletrodomésticos, como sistemas de climatização e dispositivos eletrônicos, é mais frequente durante esse período. Adicionalmente, a recarga de dispositivos móveis, muitas vezes realizada durante a noite, também desempenha um papel significativo nesse aumento de consumo. A interação desses elementos resulta em um aumento notável no consumo residencial durante o que é considerado horário de ponta.

3.5 Análise dos Resultados dos Cenários

Para a análise dos resultados utiliza-se o payback simples, considerando o valor de retorno menos o valor investido, diferente do payback descontado, que leva em conta uma taxa de desconto que faz a correção de valores durante o período do investimento.

Os cálculos de determinação de economia devido à implementação do sistema solar foram sintetizados em uma planilha do software Excel, da Microsoft. Com a planilha desenvolvida é possível estabelecer a expectativa de economia para os anos a partir de 2023, inserindo as características de expectativa de geração energética anual, valor total do kWh na tarifa, valor TUSD do fio B e a porcentagem de energia injetada na rede. Com esses valores, partindo-se do ano de interesse (que deve ser igual ou superior a 2023), a planilha informa na tabela "Projeção de Economia por Ano" o valor estimado de economia nos 25 anos subsequentes, em termos de valores atuais (sem correção inflacionária ou influência da expectativa de variação de valores para cada ano). A planilha utiliza a informação inserida sobre o tipo de fornecimento para estabelecer o valor de economia em cada ano com base na norma seguida até 2022. Essa planilha foi disponibilizada em <https://drive.google.com/drive/folders/1aJu0e77iGOnkX320A6EoTFdUbvH2LSfd?usp=sharing>.

Conforme apresentado na Tabela 7 pode-se comparar a economia anual em dois cenários diferentes, sendo o primeiro considerado se o projeto fosse instalado e homologado na concessionária até o ano de 2022 com o outro cenário no caso da instalação sendo realizada no ano de 2023 e com 75% da energia gerada injetada na rede, dado que se trata de um dos cenários mais realistas como na maioria das residências. É possível observar que durante os primeiros quatro anos o pagamento referente ao Fio B na instalação em 2023 é menor do que a taxa

mínima que seria cobrado, tento em vista que para residências bifásicas são 50kWh/mês. A mudança ocorre quando é cobrado 75% do valor do Fio B no ano de 2027 e aumenta a partir do ano seguinte quando se estabelece os 90% conforme a nova legislação.

Levando em consideração que a vida útil do sistema fotovoltaico dura 25 anos, após esse período observa-se que se a instalação tivesse ocorrido em até 2022 o total da economia seria de R\$ 77.967,78 reais, e para instalação em 2023 o total é R\$ 73.673,23, sendo menos econômico em 5,5%, é válido ressaltar que caso o consumo instantâneo fosse maior, seria menor essa diferença.

Com intuito de gerar maiores comparações segue-se com as mesmas condições, mas adicionando outro cenário comparando os outros dois visto, com o mesmo sistema entretanto instalado no ano de 2028, 5 anos de diferença, quando o valor do Fio B atinge o valor de 90%, um ano antes de atingir seu valor máximo de 100%, na Figura 28 observa-se o payback do mesmo investimento em três possibilidades sendo ela, instalado até 2022, instalado em 2023 e em 2028, nota-se que apesar da cobrança total do Fio B a diferença é de apenas R\$ 1.956,72 para a cor vermelha que representa a instalação no ano de 2023, ou seja 3,18%. E comparado com a cor azul (até 2022) a diferença do retorno é de R\$ 6.251,35, representando uma menor economia de 9,51%.

Para representar-se outras condições além da pré-definida de 75% da energia injetada e 25% consumida no instante da geração, é proposta mais três opções de condições, com objetivo de compará-las, portanto define-se na tabela 8 as seguintes condições:

- Condição A: 100% injetada x 0% instantânea;
- Condição B: 75% injetada x 25% instantânea (já analisada anteriormente);
- Condição C: 50% injetada x 50% instantânea;
- Condição D: 25% injetada x 75% instantânea.

Dando início a partir do ano de 2023, e comparando até o ano de 2047, que representa os 25 anos de geração é notável que quanto menor a energia injetada na rede menor é o pagamento a concessionária, ou seja, maior a economia. Na Tabela 9 pode-se observar que o resultado total da economia após os 25 anos é visivelmente muito maior quando se compara as condições A e D, sendo 18,72% menos vantajoso na A. E se analisarmos com outro cenário de 100% da energia consumida no momento da geração com a condição A de 100% injetada a diferença é maior ainda subindo para 23,49%.

Para se avaliar o benefício do investimento em energia solar, fez-se uma comparação com a aplicação de igual valor de investimento em produtos financeiros disponíveis no mercado, considerando um intervalo de 25 anos. Fez-se uma análise da economia com a conta de eletricidade tomando por base a média histórica de aumento do custo de conta de luz entre 2015 e 2021, de modo a incluir o impacto dessa tendência na estimativa de economia anual. Segundo EXAME, 2022, o Brasil acumulou aumento de 114% da tarifa de energia elétrica nesse período – aumento superior ao dobro da inflação do período – o que corresponde a um aumento anual médio de 11,48%. Considerou-se também o custo de manutenção mensal, estipulado em 0,5% do valor de investimento, corrigido pela expectativa de inflação também calculada no período de 2015 a 2021 (por EXAME,2022, uma média anual de 5,7%).

Tabela 10: Economia ajustada.

Ano	Instalação no ano de 2023	
	Economia Anual	Economia Ajustada
1	R\$ 3.470,62	R\$ 3.409,53
2	R\$ 3.363,89	R\$ 3.475,42
3	R\$ 3.257,16	R\$ 3.538,92
4	R\$ 3.150,43	R\$ 3.599,62
5	R\$ 3.043,70	R\$ 3.657,07
6	R\$ 2.936,97	R\$ 3.710,77
7	R\$ 2.865,82	R\$ 3.808,21
8	R\$ 2.865,82	R\$ 4.006,68
9	R\$ 2.865,82	R\$ 4.215,30
10	R\$ 2.865,82	R\$ 4.434,60
11	R\$ 2.865,82	R\$ 4.665,14
12	R\$ 2.865,82	R\$ 4.907,48
13	R\$ 2.865,82	R\$ 5.162,23
14	R\$ 2.865,82	R\$ 5.430,03
15	R\$ 2.865,82	R\$ 5.711,55
16	R\$ 2.865,82	R\$ 6.007,48
17	R\$ 2.865,82	R\$ 6.318,57
18	R\$ 2.865,82	R\$ 6.645,60
19	R\$ 2.865,82	R\$ 6.989,38
20	R\$ 2.865,82	R\$ 7.350,77
21	R\$ 2.865,82	R\$ 7.730,68
22	R\$ 2.865,82	R\$ 8.130,04
23	R\$ 2.865,82	R\$ 8.549,87
24	R\$ 2.865,82	R\$ 8.991,21
25	R\$ 2.865,82	R\$ 9.455,15
Total após 25 anos	R\$ 73.673,23	R\$ 139.901,31

Fonte: Autor, 2023

Dessa forma, com a economia anual, majorada com o aumento médio anual, descontando-se a expectativa de custo anual de manutenção e o valor do investimento, e com correção inflacionária adotando inflação constante, estimava-se um ganho de R\$ 127.683,71, conforme Tabela 10. Cabe ressaltar que há vários outros fatores a serem levados em consideração para uma análise dessa natureza, os quais, dado o escopo desse trabalho, foram desconsiderados em prol da simplicidade. As taxas médias de aumento de tarifa de eletricidade e inflação sofrem forte flutuação, em especial considerando que o período adotado apresentou, parcialmente, influência de crise econômica no Brasil. No entanto, é evidente a tendência global de inflacionamento da moeda e de aumento da tarifa de eletricidade, de modo que a análise vislumbra uma expectativa de benefício financeiro de longo prazo com a economia pela instalação de painel solar.

A partir de calculadora de investimento de renda fixa (produtos com taxa de retorno estabelecida, e de menor risco) fornecida pela revista especializada em mercado financeiro Valor Econômico, do Grupo Globo, foi possível estabelecer uma expectativa de retorno com investimento a longo prazo do valor que seria utilizado no projeto de energia solar. A calculadora realiza estimativa partindo do pressuposto de taxas de juros e inflação constantes ao longo do período, e também considera descontos como imposto de renda regressivo e custo de custódia. Dessa forma, o maior retorno ocorreria para uma carteira baseada em Certificado de Depósito Bancário (CDB), com um ganho líquido de R\$ 172.167,12, conforme a figura 29. Já dos produtos do Tesouro, vinculados à segurança ofertada pelo Banco Central e pelo Tesouro Nacional (menor risco da renda fixa), o maior rendimento ocorre com o Tesouro Prefixado, em R\$ 108.047,51.

Figura 29: Simulação do investimento.

Simulação do investimento

Valor inicial investido: R\$ 12.217,60	Aportes Mensais: R\$ 0,00	Período da aplicação: 25 anos	Soma dos valores investidos: R\$ 12.217,60
--	-------------------------------------	---	--

	CDB	Tesouro Selic	Fundo DI	LCI e LCA	Tesouro Prefixado	Tesouro IPCA+	Poupança
Valor bruto acumulado	R\$ 214.767,15	R\$ 214.767,15	R\$ 204.371,83	R\$ 142.587,13	R\$ 148.266,44	R\$ 115.985,49	R\$ 65.834,29
Rentabilidade bruta	1.657,85%	1.657,85%	1.572,77%	1.067,06%	1.113,55%	849,33%	438,85%
Custos	R\$ 0,00	R\$ 11.000,07	R\$ 13.163,88	R\$ 0,00	R\$ 7.594,00	R\$ 5.940,61	R\$ 0,00
Valor pago em IR	R\$ 30.382,43	R\$ 30.382,43	R\$ 28.823,13	R\$ 0,00	R\$ 20.407,33	R\$ 15.565,18	R\$ 0,00
Valor líquido acumulado	R\$ 184.384,72	R\$ 173.384,64	R\$ 162.384,81	R\$ 142.587,13	R\$ 120.265,11	R\$ 94.479,69	R\$ 65.834,29
Rentabilidade líquida	1.409,17%	1.319,14%	1.229,11%	1.067,06%	884,36%	673,31%	438,85%
Ganho líquido	R\$ 172.167,12	R\$ 161.167,04	R\$ 150.167,21	R\$ 130.369,53	R\$ 108.047,51	R\$ 82.262,09	R\$ 53.616,69

Os cálculos consideram taxas de juros e inflação constantes ao longo do período e são baseados nas taxas de juros atuais e inflação projetada para os próximos 12 meses. É considerado o custo de 0,2% ao ano de custódia para aplicações no Tesouro, inclusive Tesouro Selic. O cálculo de IR segue a tabela regressiva, começando em 22,5% e caindo para 20% a partir de 6 meses, 17,5% em 12 meses e 15% em 24 meses.

Fonte: Valor, 2023.

Dessa forma, estipula-se que o investimento em energia solar, considerando apenas fatores financeiros, apresenta-se melhor do que as opções de menor risco (produtos do Tesouro Nacional), mas não deve apresentar ganho financeiro superior do que outros produtos de renda fixa de maior risco, como Letra de Crédito do Agronegócio (LCA) ou CDB.

4 CONCLUSÃO

O potencial brasileiro para a energia solar é destacado pela excepcional irradiação solar, a localização geográfica privilegiada do país, caracterizada por uma incidência solar direta ao longo do ano, contribui para o alto potencial de aproveitamento da energia solar em todo o território. A predominância de sistemas on-grid, conectados à rede elétrica convencional, evidencia a infraestrutura em desenvolvimento para integrar eficientemente a energia solar à matriz energética brasileira.

Considerando o cenário atual, o custo das células fotovoltaicas e demais equipamentos necessários para o sistema ainda é identificado como uma barreira para uma adoção mais ampla no Brasil, mas a curva de evolução tecnológica sugere a possibilidade de tornar a geração solar competitiva no futuro. Projeções otimistas indicam uma significativa redução nos custos dos equipamentos solares, impulsionando ainda mais a acessibilidade econômica para o uso deste tipo de fonte.

Diante da metodologia adotada no presente trabalho para a análise financeira do investimento em uma instalação de energia fotovoltaica, algumas conclusões podem ser destacadas. A pesquisa buscou comparar os períodos de retorno do investimento principalmente em dois cenários distintos: antes e depois da nova regulamentação conhecida como marco legal da energia solar.

Inicialmente, foi desenvolvido um projeto fotovoltaico considerando os parâmetros tais como: potência dos módulos solares, irradiação solar na região da residência e dimensionamento adequado para atender o consumo médio mensal de 390 kWh para 5 pessoas. O dimensionamento do sistema resultou em uma potência de 3.680 Wp.

A simulação do projeto foi realizada no software PVSol, que permitiu visualizar a instalação dos painéis no telhado, configurar os MPPTs e strings do inversor, gerar diagramas de blocos e obter resultados do sistema. A valorização do projeto foi considerada, ajustando o valor dos ativos e investimentos para refletir as mudanças dos valores economizados ao longo do tempo.

Na análise financeira, foi calculado o retorno do investimento considerando a economia gerada pela geração fotovoltaica e a taxa de uso da estrutura da distribuidora (Fio B). A comparação dos cenários de instalação até 2022, em 2023 e a partir de 2028 revelou que, apesar do aumento gradual da taxa do Fio B, o retorno financeiro ao longo de 25 anos mostrou-se

favorável para instalações realizadas em qualquer período, confirmando que apesar da cobrança ainda segue dando retorno financeiro o sistema fotovoltaico.

Além disso, a variação na porcentagem de energia injetada na rede elétrica e consumida instantaneamente durante a geração também foi analisada. Os resultados indicaram que, mesmo considerando diferentes cenários de consumo, a instalação do sistema fotovoltaico resultou em economia financeira ao longo dos anos, entretanto demonstra uma grande diferença em casos extremos, e conforme esperado quanto menos energia injetada a rede, menor o pagamento para concessionária gerando maior economia.

Em suma, o estudo apontou que o investimento em energia fotovoltaica para uma residência em São Bernardo do Campo é uma opção economicamente viável, apesar de apresentar uma irradiação solar menos favorável em comparação com algumas outras regiões do Brasil, proporcionando retorno financeiro positivo, mesmo após a nova regulamentação vigente e as condições de geração solar na região.

Para os futuros estudos recomenda-se realizar abordagem com maior econométrica para situação, além da utilização das bandeiras tarifárias nos cálculos. E desenvolvimento de um software a partir dos cálculos e do Excel disponibilizado.

REFERÊNCIAS

- [1] AGUIAR, F. M. de. **Estudo para aplicação de usinas virtuais de energia no Brasil**, 61f. Projeto de diplomação (Graduação de Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Curso de Engenharia Elétrica, Porto Alegre, 2022.
- [2] AGUILAR, R.S; OLIVEIRA, L.C.S; ARCANJO, G.L.F. **Energia Renovável : Os Ganhos E Os Impactos Sociais , Ambientais E Econômicos Nas Indústrias Brasileiras**. In: XXXII Encontro Nacional De Engenharia De Producao. Bento Gonçalves. Rio Grande do Sul: UFRGS, 2012 - Atlas de energia elétrica do Brasil / Agência Nacional de Energia Elétrica. 3. Ed. – Brasília: ANEEL, 2008.
- [3] ALMEIDA, Pedro Machado. **Condicionamento da Energia Solar Fotovoltaica para Sistemas Interligados à Rede Elétrica**, 2011. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/labsolar/files/2011/05/Condicionamento-da-Energia-SolarFotovoltaica.pdf>>. Acesso em: 27 maio 2023.
- [4] ANDRADE, J. R. A. de. **Viabilidade da implantação de energia eólica em condomínios horizontais -estudo de caso: Condomínio Residencial Paraíso de Maracajuá/RN**. 21 f.:il. Artigo científico (graduação) -Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Civil. Natal, RN, 2019.
- [5] ANEEL – **Agência Nacional de Energia Elétrica**. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>. Acesso em: 23 abril 2023.
- [6] ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Relatório de Análise de Impacto Regulatório 02/2018**. p. 1–78, 2018f.
- [7] ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa 414/2010**. 2010c.
- [8] ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa 482/2012**. 2012a. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>.
- [9] ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa 517/2012**. 2012b. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012517.pdf>>.
- [10] ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa 687/2015**. 2015f. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>.
- [11] ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Unidades Consumidoras com Geração Distribuída**. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/outorgas/geracao//asset_publisher/mJhnKli7qcJG/content/registro-

de-central-geradora-decapacidadereduzida/655808?inheritRedirect=false&redirect=http%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Foutorgas%2Fgeracao%3Fp_p_id%3D101_INSTANCE_mJhnKli7qc>.

[12] **Anuário Estatístico de Energia 2023**, EPE. Disponível: <<https://dashboard.epe.gov.br/apps/anuario-livro/>> Acesso em: 20 abril 2023.

[13] AQUILA G., PAMPLONA E. O., QUEIROZ A. **An overview of incentive policies for the expansion of renewable energy generation in electricity power systems and the Brazilian experience**. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 70: 1090-1098.

[14] **BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL**, EPE. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-638/BEN2022.pdf>> Acesso em: 23 abril 2023.

[15] BELO HORIZONTE. Companhia Energética de Minas Gerais. (CEMIG). **Alternativas energéticas: uma visão Cemig. Belo Horizonte**: Cemig, p. 369, 2012

[16] BEN (2017) **Balanco Energético Nacional. Ano Base 2016**. Empresa de Pesquisa Energética, Rio de Janeiro e Ministério de Minas e Energia, Brasília, Brasil. 292 pp.

[17] BEN, BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL. **BEN 50 Anos**.

[18] BEZERRA, F. D. **Energia Solar**. Disponível em: <bnb.gov.br>, 1 jul. 2021. Acesso em: 26 maio 2023.

[19] BOSO, A.C.; GABRIEL, C.; FILHO, L.R. **Análise de custos dos sistemas fotovoltaicos on-grid e off-grid no Brasil**. *Revista Científica ANAP Brasil*. v.8, n.12, nov. 2015.

[20] BP (2018) BP Energy Outlook 2035 - **Country and Regional Insights Brazil**. <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/energy-outlook.html> Cons. 04/09/2018).

[21] BRASIL. Conselho Nacional de Política Energética. Resolução (CNPE). nº 16, de 29 de outubro de 2018. **Dispõe sobre a evolução da adição obrigatória de biodiesel ao óleo diesel vendido ao consumidor final**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 29 de outubro de 2018.

[22] BRASIL. **Constituição Federal, de 5 de outubro de 1988**. Diário Oficial da União, Brasília, 5 out. 1988. Disponível em: <<http://www2.planalto.gov.br/acervo/constituicao-federal>>. Acesso em: 23 abril 2023.

[23] BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética (EPE). **Balanco energético nacional 2018: Ano base 2017**. Rio de Janeiro: EPE, 2018a.

- [24] BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Resenha energética brasileira**. Brasília 408 p., 2018a.
- [25] BURSZTYN, Marcel et al. **A difícil sustentabilidade: política energética e conflitos ambientais**. Rio de Janeiro: Garamond, 2001.
- [26] **Calculadora de investimentos**. Revista Valor Investe. Disponível em: <<https://infograficos.valor.globo.com/calculadoras/calculadora-de-renda-fixa.html>>. Acesso em: 09 dez. 2023.
- [27] CAPELLI, Alexandre. **Energia elétrica qualidade e eficiência para aplicações industriais**. São Paulo: Érica, 2013.
- [28] CASTRO, N. de; BRANDÃO, R.; OLIVEIRA, C. **Nova Regulamentação para Geração Distribuída**. 2019. Disponível em: <https://gesel.ie:ufrj:br/wp-content/uploads/2022/06/57_castro232.pdf> Acesso em: 1 jun. 2023."
- [29] CEMIG - Companhia Energética de Minas Gerais. **Alternativas energéticas: Uma visão da Cemig**. Belo Horizonte: CEMIG, 2012.
- [30] CONFORT, M.J.F.; MOTHE, C. G. **Estimating the required underground natural gas storage capacity in Brazil from the gas industry characteristics of countries with gas storage facilities**. J. Nat. Gas Sci. Eng., v. 18, p.120-130, mai. 2014.
- [31] CORREA, R. C. F. IBGE - **Educa | Jovens**. Disponível em: <<https://educa.ibge.gov.br/jovens/materias-especiais/21972-populacao-brasileira-cresce-6-5-e-chega-a-203-1-milhoes-de-habitantes-aponta-censo-2022.html>>. Acesso em: 19 ago. 2023.
- [32] **CRESESB-Centro de Referência para Energia Solar e Eólica**. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>>. Acesso em: 15 jul. 2023.
- [33] CRESESB. **Centro de Referência das Energias Solar e Eólica Sergio de S. Brito. Potencial v.3.0**. 2018. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>> Acesso em: 1 jun. 2023.
- [34] DOMINGUEZ, Ana Garriga; BRAVO, Álvaro A. A. Sanchez et al. **Derechos humanos, protección medio ambiental y nuevos retos sociales**. Madri: Dykinson c/ Meléndez Valdés, 2015.
- [35] EDUARDO, C.; MOREIRA, S. **Fontes alternativas de energia renovável, que possibilitam a prevenção do meio ambiente**. Revista de Divulgação do Projeto Universidade PETROBRAS/IF Fluminense, v. 1, p. 397-402, 2010.
- [36] ELETROBRAS. **Energia Limpa**. Acesso em: 13 maio 2023.

[37] ELETROBRAS. **Relatório Anual 2020**. Acesso em: 13 maio 2023.

[38] **Em 7 anos, conta de energia elétrica sobe mais do que o dobro da inflação**. Revista Exame. Jan. 2022. Disponível em: <<https://exame.com/economia/em-7-anos-conta-de-energia-eletrica-sobe-mais-do-que-o-dobro-da-inflacao/>>. Acesso em: 09 dez. 2023.

[39] Empresa de Pesquisa Energética. **Plano nacional de energia 2030**. Rio de Janeiro: EPE, p. 408, 2007.

[40] **Energia Solar - Suporte de fixação para telhado cerâmico - 4 placas**. Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/loja/kit-montagem-fixacao-neosolar-telhado-ceramica-ganchos-3-paineis-fotovoltaicos.html>>. Acesso em: 08 ago. 2023.

[41] EPIA; Greenpeace. **Solar Generation 2010**. Disponível em <<http://www.greenpeace.org/seasia/ph/Global/international/publications/climate/2010/SolarGeneration2010.pdf>>. Acesso em: 27 maio 2023.

[42] ESPOSITO, A. S.; FUCHS, P. G. **Desenvolvimento tecnológico e inserção da energia solar no Brasil**. Revista do BNDES, 2013. Disponível em: <https://web.bnDES.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/2431/1/RB%2040%20Desenvolvimento%20tecnol%20c3%b3gico_P.pdf> Acesso em: 2 jun. 2023.

[43] FARINA E.; RODRIGUES, L. **Política nacional de biocombustíveis e os ganhos de eficiência no setor produtivo**. FGV Energia. Março, 2018. Disponível em: <<https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/22059/Coluna%20Opinio%20Marco%20%20Biocombustiveis%20%20Elizabeth%20e%20Luciano.pdf?sequence=1&isAllowed=y>> Acesso em: 20 abril 2023.

[44] FERREIRA, Isabela dos Santos. **BREVE HISTÓRICO DA REGULAMENTAÇÃO DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA NO BRASIL**, 2022. Disponível em: <<https://repositorio.unifesp.br/bitstream/handle/11600/66482/tcc.pdf?sequence=3&isAllowed=y>>. Acesso em: Acesso em: 3 jun. 2023.

[45] FREITAS, G.C.; DATHEIN, R. **As energias renováveis no Brasil: uma avaliação acerca das implicações para o desenvolvimento socioeconômico e ambiental**. Revista Nexos Econômicos, v. 7, n. 1, p. 71-94, 2013.

[46] FURNAS – Centrais Elétricas S.A. **Furnas**. Disponível em: <<http://www.furnas.com.br/>>. Acesso em: 13 maio 2023.

[47] GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. **Energia e meio ambiente no Brasil**. Estudos Avançados, v. 21, n. 59, 2007.

[48] Governo federal, **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2023**. Disponível: <<https://dashboard.epe.gov.br/apps/anuario-livro/>> Acesso em: 13 março de 2023.

- [49] GREENER. Estudo Estratégico: **Mercado Fotovoltaico de Geração Distribuída 1º Semestre de 2021**. 2021. Disponível em: <<https://www.greener.com.br/estudo/estudo-estrategico-mercado-fotovoltaico-degeracao-distribuida-1-semester-de-2021/>>. Acesso em: 2 jun. 2023.
- [50] GUO, Z. et al. **Residential electricity consumption behavior: influencing factors, related theories and intervention strategies**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 81, p. 399-412, 2018.
- [51] HESKES, P. J. M.; ENSLIM, J. H. R. **Power quality behaviour of different photovoltaic inverter topologies**, 2003. Disponível em <<http://www.ecn.nl/docs/library/report/2003/rx03056.pdf>>. Acesso em: 26 maio 2023.
- [52] HINRICHS, Roger A.; KLEINBACH, Merlin; REIS, Lineu Belico dos. **Energia e meio ambiente**. São Paulo: Cengagr Learning, 2010.
- [53] **HISTÓRIA DA LIGHT**. Disponível em: <<http://www.light.com.br/grupo-light/Quem-Somos/histori-light.aspx>>. Acesso em: 13 março 2023.
- [54] HOSENUZZAMAN, M.; RAHIM, N.A.; SELVARAJ, J.; HASANUZZAMAN, M.; MALEK, A.B.M.A.; NAHAR, A. **Global prospects, progress, policies, and environmental impact of solar photovoltaic power generation**, 2014.
- [55] Ingram E (2017) **Hydropower shortage from drought raises electricity surcharge in Brazil**. Disponível em: <<https://www.hydroworld.com/articles/2017/10/hydropower-shortage-from-drought-raises-electricity-surcharge-in-brazil.html>>. Acesso em: 23 abril 2023.
- [56] JACKSON, Jose Amancio Alves. **Análise regional da energia eólica no Brasil. 2010**. Guarabira, Paraíba. Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional.
- [57] Jim Williams, 2011 Disponível em: <https://www.flickr.com/photos/midsummerenergy/6254275010/in/photostream/>>. Acesso: 07 jun. 2023
- [58] KOHLHEPP, G. **Análise da situação da produção de etanol e biodiesel no Brasil**. Estudos Avançados, São Paulo, v. 24, n. 68, 2010.
- [59] LAMBERTS, Roberto et al. **Casa Eficiente: consumo e geração de energia. Florianópolis: UFSC**, 2010. 2 v. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/livros/CasaEficiente_vol_II_WEB.pdf. Acesso em: 27 jul. 2023.
- [60] LARA, João Mesquita. **Energia da biomassa, conheça o potencial no Brasil**. Disponível em: <https://marsemfim.com.br/energia-da-biomassa-conheca-o-potencial-no-brasil/>. Acesso em: 20 abril 2023.

[61] LIMA, Gabriela Marcomini de. **Fontes alternativas de energia. Londrina, Paraná.** Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2017.

[62] MACHADO, C; MIRANDA, F. **Energia Solar Fotovoltaica: Uma Breve Revisão.** 2015. Disponível em: < <http://rvq-sub.s bq.org.br/index.php/rvq/article/view/664/508> >. Acesso em 19 ago. 2023.

[63] MALFA, Enrico. **ABB on Sustainable Energy Markets. Università di Brescia,** 2002.

[64] MERTEN, G. F. **Estudo comparativo entre os sistemas solar térmico e fotovoltaico para aquecimento de água residencial.** Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/248394/TCC%20Engenharia%20de%20Energia%20Gabriela%20Flores%20Merten.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 07 ago. 2023.

[65] M. JANNUZZI, G. M.; VARELLA, F. K. O. M.; GOMES, R. D. M.. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica no Brasil: Panorama da Atual Legislação.** Disponível em: <http://www.fem.unicamp.br/~jannuzzi/documents/RELATORIO_PROJETO_2_FINAL.pdf>. Acesso em: 27 ago. 2023.

[66] MME - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA; EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2030.** Brasília: MME/EPE, 2021.

[67] **Módulo Mono PERC Half-Cell de Alta Eficiência SEGURO DE DESEMPENHO 445-460W.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://genyx.com.br/novo-site/wp-content/uploads/2021/09/CATALOGO-PORTUGUES-MODULO-FOTOVOLTAICO-SUNOVA-450WP-MONOCRISTALINO.pdf>>. Acesso em: 11 ago. 2023.

[68] NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.** Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/7>. Acesso em: 5 maio 2023.

[69] NÚCLEO DE ESTUDOS ESTRATÉGICOS DE ENERGIA. **Energia eólica no Brasil e no mundo.** Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2014.

[70] OJIMA, R. **Mais quente e mais cheio? Alguns mitos e outras verdades sobre a população e mudanças climáticas no Brasil.** In: Martine, G. (Ed.). *População e sustentabilidade na era das mudanças climáticas.* Campinas: ABEP, p. 57-70, 2012. Ojima, R.; Diógenes, V. H. D.; Silva, B. L. da.

[71] OLIVEIRA, J. A. P. **The policymaking process for creating competitive assets for the use of biomass energy: the Brazilian alcohol programme.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 6, p. 129-140, 2002.

[72] Pao HT, Fu HC (2018) **Renewable energy, non-renewable energy and economic growth in Brazil.** *Renew. Sustain. Energy Rev.* 25: 381-392.

[73] Pereira MG, Camacho CF, Freitas M, da Silva NF (2012) **The renewable energy market in Brazil: Current status and potential.** *Renew. Sustain. Energy Rev.* 16: 3786-3802.

[74] PINHO, João Tavares e GALDINO, Marco Antonio. **Manual de engenharia para Sistemas Fotovoltaicos.** Rio de Janeiro: CEPEL-CRESESB, 2014.

[75] PIRES, Renata. Movido a água. **Viver Energia**, Belo Horizonte, VB Editora e Comunicação Ltda., p. 28, ago. 2013.

[76] PLANALTO. **LEI Nº 14.300. 2022.** Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/114300.htm. Acesso em: 1 jun. 2023.

[77] PNE 2030, Plano Nacional de Energia 2030. Brasil. Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Energia 2030. Ministério de Minas e Energia; colaboração Empresa de Pesquisa Energética.** Brasília: MME: EPE, 2007. p. 324.

[78] PNE 2050, **Plano Nacional de Energia 2050.** Plano Nacional de Energia 2050. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2020.

[79] QUEIROZ, R. et al. **Geração de energia elétrica através da energia hidráulica e seus impactos ambientais.** *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, v. 13, n. 13, p. 2774- 2784, 2013.

[80] REMMERS, K. H. **Inverter, Storage an PV System Technology: Industry Guide,** 2013.

[81] RIOS, H. S. **Análise da variação de atratividade em empreendimentos de geração fotovoltaica frente as mudanças de regulamentação.** Disponível em: <repositorio.unifei.edu.br>, Acesso em: 1 jun. 2023.

[82] RODRÍGUEZ, C. R. C.; JANNUZZI, G. **Mecanismos regulatórios, tarifários e econômicos na geração distribuída: o caso dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede.** *Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.*

[83] SANTOS, Ana Júlia de Lima. **Análise da complementaridade entre sistemas fotovoltaicos e sistemas de aquecimento solar de água em unidades prossumidoras do sul de Santa Catarina.** 2019. 45 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Energia, Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/203001>. Acesso em: 07 ago. 2023.

- [84] SILVA, M.S.T.; BRITO, S.O. **Impactos ambientais associados á construção de empreendimentos elétricos no setor de distribuição de energia**. Revista Faroeciância, v. 1, n. 1, p. 266-280, 2016.
- [85] SILVA, R. C.; MARCHI NETO, I.; SEIFERT, S. S. **Electricity supply security and the future role of renewable energy sources in Brazil**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 58, p. 238-241, jun.2016.
- [86] SILVEIRA, P. G. **Energia e mudanças climáticas: impactos socioambientais das hidrelétricas e diversificação da matriz energética brasileira**. Revista Opinion Jurídica, Medellin, vol.17, n. 33, p. 123-147, set. 2017.
- [87] SLOOTWEG, G. J; W. L. KLING. **Impacts of Distributed Generation on Power System Transient Stability**. The Netherlands: Delft University of Technology, 2002.
- [88] SOUZA, E. C. de et al. **Impactos das mudanças climáticas sobre o bem-estar relacionado a saudo no Brasil**. *Pesquisa e Planejamento Economico*, v. 43, n 1, p 49-87, 2013.
- [89] SOUZA, T. A. DE; NOGUEIRA, F. J. **Fontes Alternativas de energia no Brasil: Biomassa, Eólica e Solar**. Caderno de Estudos em Engenharia Elétrica, v. 4, n. 1, 1 ago. 2022.
- [90] **String Box QUADRO 2 ENTRADAS 2 SAIDAS 1000V (1 MPPT)**. Disponível em: <<https://vatisdistribuidora.com.br/string-box-quadro-2-entradas-2-saidas-1000v-1-mppt-p225>>. cesso em: 19 ago. 2023.
- [91] TOLMASQUIM, M. T. **As origens da crise energética brasileira**. Ambiente e Sociedade, Campinas, n. 6-7, jan./jun. 2000.
- [92] TOLMASQUIM, M. T.; GUERREIRO, Amilcar; GORINI, Ricardo. **Matriz energética brasileira: uma prospectiva**. *Novos Estudos*. - CEBRAP, São Paulo, n. 79, p. 47-69, nov. 2007.
- [93] Tolmasquim, Mauricio Tiomno. **Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica**. EPE: Rio de Janeiro, 2016.
- [94] TUNDISI, J.G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. **Recursos hídricos no Século XXI**, São Paulo: Oficina de Textos, 2011.
- [95] USINAZUL. **Sistema de Aquecimento Solar de Água. 2019**. Disponível em: . Acesso em 19 ago. 2023. Acesso em: 24 out. 2023.

[96] VEIGA, José Eli da. **Sustentabilidade: a legitimação de um novo valor**. São Paulo: Senac, 2010.

[97] VIRIDIAN. **Tecnologia / Energia Solar Fotovoltaica**. Disponível em <<http://www.viridian.com.br/tecnologia/energia+solar+fotovoltaica/4>>. Acesso em: 27 maio 2023.

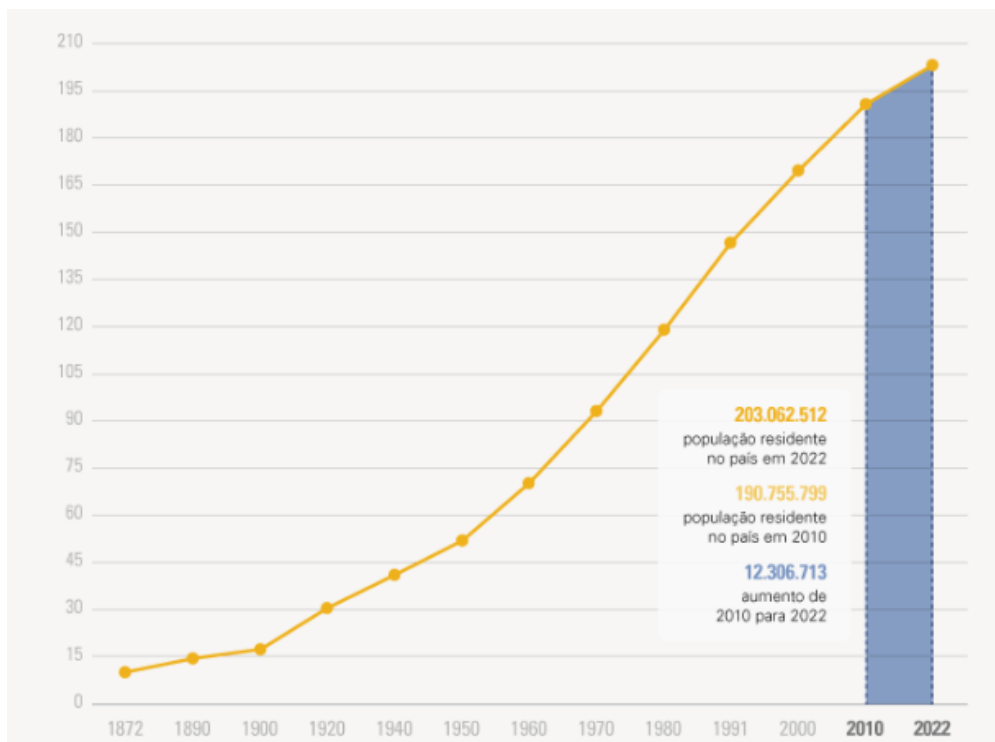
[98] Vista do ENERGIA RENOVÁVEL: **O IMPACTO NA USINA DE FURNAS**. Disponível em: <<http://revistadaajuris.ajuris.org.br/index.php/REVAJURIS/article/view/853/Ajuris%20145%20-%20DT10.pdf>>. Acesso em: 02 jun. 2023.

[99] WAENGA, A. F. C.; PINTO, D. A. F. **Impactos da geração distribuída fotovoltaica no sistema de distribuição de energia elétrica**. Disponível em: <<http://riut.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/9955>>. Acesso em: 27 maio 2023.

[100] ZILLES, R. **Aplicações e Regulamentação: Sistemas Fotovoltaicos Domiciliares, Miniredes e Sistemas Interligados**. II SIMPÓSIO NACIONAL DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA. CRESESB. 2005. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/snesf/palestras/18-05-2005/ZILLES.pdf>> Acesso em: 20 ago. 2023.

[101] ZILLES, R. **Geração de Eletricidade a Partir da Energia Solar: Sistemas Fotovoltaicos**. Acesso em: 24 out. 2023.

ANEXOS

ANEXO A – GRAFICO DE CRESCIMENTO ANUAL DA POPULAÇÃO

Fonte: IBGE, 2022.

ANEXO B – DATASHEET MODULO SUNOVA 460W



SUNOVA SOLAR

Leading one-stop PV Supplier

HI-KILO

445-460W

Módulo Mono PERC Half-Cell de Alta Eficiência





Excelente desempenho com baixa irradiação



Melhor retenção de luz e coleta de corrente para melhorar a saída de energia e a confiabilidade do módulo



Líder do setor com menor coeficiente térmico de energia



Projeto elétrico otimizado e menor corrente de operação para redução da perda de pontos quentes e melhor coeficiente de temperatura.



Certificado para suportar carga de vento (2400 Pa) e carga de neve (5400 Pa)



Teste EL triplo de 100%, permitindo uma redução notável da taxa de rachaduras ocultas dos módulos

GARANTIA DE DESEMPENHO LINEAR



15 anos

Garantia de Produto

25 anos

Garantia de Eficiência

0.55 %

Degradação Anual: Mais de 25 anos

CERTIFICADOS ABRANGENTES







ISO 9001: Sistema de Gestão da Qualidade

ISO 14001: Sistema de Gestão Ambiental Padrão

OHSAS 18001: Sistema Internacional de Avaliação de Saúde e Segurança Ocupacional Padrão

* Em certos mercados são diferentes requisitos de certificação. Além disso, os produtores estão em constante inovação. Confirme o status da certificação com os representantes de vendas seguros.

SEGURO DE DESEMPENHO





Make it happen

www.sunova-solar.com

CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS

120 células

Modelo dos módulos	SS-445-60MDH		SS-450-60MDH		SS-455-60MDH		SS-460-60MDH	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Potência máxima – P_{max} (W)	445	332	450	335	455	339	460	343
Voltagem de circuito aberto – V_{oc} (V)	41.27	38.79	41.46	38.97	41.65	39.15	41.78	39.34
Corrente de curto-circuito – I_{sc} (A)	13.42	10.88	13.47	10.91	13.54	10.97	13.63	11.01
Tensão máxima de energia – V_{mp} (V)	34.46	32.05	34.62	32.19	34.78	32.35	34.89	32.52
Corrente de potência máxima – I_{mp} (A)	12.92	10.36	13.01	10.41	13.09	10.48	13.19	10.55
Eficiência do Módulo – η_m (%)	20.6%		20.9%		21.1%		21.3%	
Tolerância de energia (W)					(0,+5)			
Tensão máxima do sistema (V)					1500			
Corrente nominal máxima do fusível (A)					25			
Temperatura de operação atual (°C)					-40~+85°C			

STC (Condições de Teste Padrão): Irradiância 1000 W/m², Temperatura da Célula 25 °C, Espectro em AM1.5

NOCT (Temperatura Nominal da Célula de Operação): Irradiância 800W/m², Temperatura Ambiente 20°C, Espectro em AM1.5, Vento em 1m/s

CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS

Dimensões do módulo (C*L*A)	1903 x 1134 x 30 mm
Largura	24 kg
Número de células	120 células
Célula	PERC Monocristalino 182x91 mm
Vidro	Temperado, 3,2 mm AR, alta transmitância, baixo ferro
Quadro/Armação	Liga de alumínio anodizado
Caixa de junção	IP68
Fio de saída	4,0 mm ² , comprimento do fio: 300 mm ou comprimento personalizado
Conector	Compatível com MC4
Carga mecânica	Carga de neve: 5400 Pa / Carga de vento: 2400 Pa

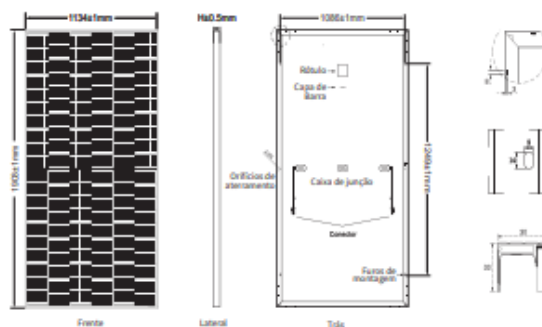
CLASSIFICAÇÕES DE TEMPERFORMANCE

Coefficiente de temperatura (P_{max})	-0.35 %/°C
Coefficiente de temperatura (V_{oc})	-0.28 %/°C
Coefficiente de temperatura (I_{sc})	+0.045 %/°C
Temperatura nominal da célula de operação	45 ± 2 °C

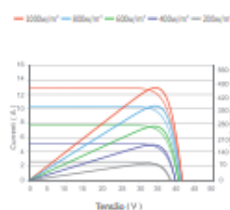
CONFIGURAÇÃO DA EMBALAGEM

Recipiente	40HQ
Quantidade/paleta	36
Paletes/contêiner	24
Quantidade/recipiente	864

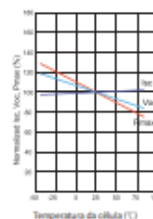
DIMENSÕES DO MÓDULO (MM)



Curvas de corrente-tensão e potência-tensão (400W)



Dependência de temperatura de I_{sc} , V_{oc} , P_{max}



SUNOVA SOLAR
Leading you step by step

Web: www.sunova-solar.com

E-mail: info@sunova-solar.com

* Os parâmetros técnicos contidos nesta folha técnica podem apresentar pequenas diferenças e a Sunova não garante que sejam totalmente precisos. Devido à contínua inovação, pesquisa e desenvolvimento e melhoria do produto, a Sunova reserva-se o direito de alterar as informações técnicas factuais sem qualquer aviso prévio. ©. Todos os direitos reservados. Este documento é propriedade da Sunova Solar e não pode ser reproduzido sem a autorização prévia da Sunova Solar. Este documento contém informações confidenciais e não deve ser divulgado para terceiros sem a autorização prévia da Sunova Solar. Este documento contém informações confidenciais e não deve ser divulgado para terceiros sem a autorização prévia da Sunova Solar.

Make it happen

SD202205001PT

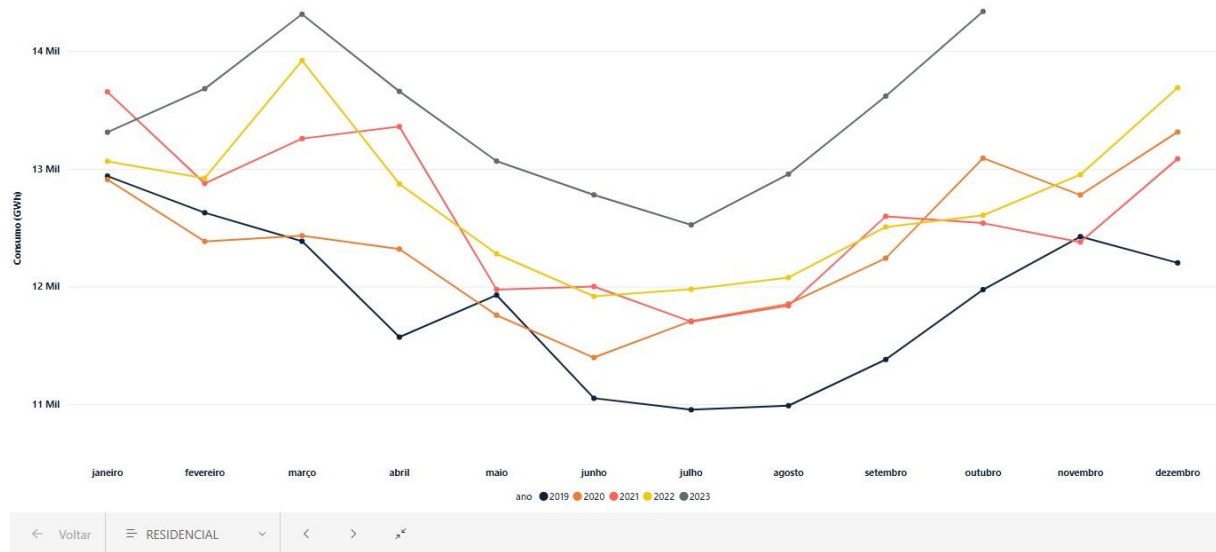
ANEXO C – INVERSOR GROWATT MIN2500TL-XH – MIN6000TL-XH

Datasheet	MIN 2500TL-XH	MIN 3000TL-XH	MIN 3600TL-XH	MIN 4200TL-XH	MIN 4600TL-XH	MIN 5000TL-XH	MIN 6000TL-XH
Input data (DC)							
Max. recommended PV power (for module STC)	5000W	6000W	7200W	8400W	9200W	10000W	10000W
Max. DC voltage	500V	500V	550V	550V	550V	550V	550V
Start voltage				100V			
Nominal voltage				360V			
MPP voltage range	70V-500V	70V-500V	70V-550V	70V-550V	70V-550V	70V-550V	70V-550V
No. of MPP trackers/strings per MPP tracker				2/1			
Max. input current per MPP tracker				13.5A			
Max. short-circuit current per MPP trackers				16.9A			
Input data (DC battery)							
Compatible battery	ARK XH Battery System (5.12kWh–17.9kWh)						
Operating voltage range	360-500V			360-550V			
Max. operating current				17A			
Max. charge power				6000W			
Max. discharge power	2500W	3000W	3600W	4200W	4600W	5000W	6000W
Output data (AC)							
AC nominal power	2500W	3000W	3600W	4200W	4600W	5000W	6000W
Max. AC apparent power	2500VA	3000VA	3600VA	4200VA	4600VA	5000VA	6000VA
Nominal AC voltage(range*)	230V (180-280V)						
AC grid frequency(range*)	50/60 Hz (45-55Hz/55-65 Hz)						
Max. output current	11.3A	13.6A	16A	19A	20.9A	22.7A	27.2A
Adjustable power factor	0.8leading...0.8lagging						
THDi	< 3%						
AC grid connection type	Single phase						
Output data (Backup*)							
Max. apparent power	2500VA	3000VA	3600VA	4200VA	4600VA	5000VA	6000VA
Nominal AC voltage	230V						
AC grid frequency	50/60Hz						
Efficiency							
Max. efficiency	98.2%	98.2%	98.2%	98.4%	98.4%	98.4%	98.4%
European efficiency	97.1%	97.1%	97.2%	97.2%	97.5%	97.5%	97.5%
MPPT efficiency	99.9%						
Protection devices							
DC reverse polarity protection	Yes						
DC switch	Yes						
DC/AC surge protection	Type II/Type III						
Insulation resistance monitoring	Yes						
AC short-circuit protection	Yes						
Ground fault monitoring	Yes						
Grid monitoring	Yes						
Anti-islanding protection	Yes						
Residual-current monitoring unit	Yes						
AFCI protection	Optional						
General data							
Dimensions (W / H / D)	375/350/160mm						
Weight	10.8kg						
Operating temperature range	-25°C ... +60°C						
Altitude	4000m						
Self-Consumption night	< 10W						
Topology	Transformerless						
Cooling	Natural convection						
Protection degree	IP65						
Relative humidity	0%–100%						
DC connection	H4/MC4(Optional)						
AC connection	Connector						
Display	OLED+LED/WIFI+APP						
Interfaces: RS485 / USB/Wi-Fi / GPRS / RF/LAN	Yes/Yes/Optional/Optional/Optional /Optional						
Warranty: 5 years / 10 years	Yes /Optional						
CE, IEC62109, AS/NZS 4777.2, CBI 0-21, VDE-AR-N 4105, VDE 0126-1-1, UTE C 15-712-1, EN 50549, IEC 62116, IEC 61727, G98/G99							

* The AC voltage and frequency range may vary depending on specific country grid standard. All specifications are subject to change without notice.

‡ Backup power function need a Backup Box accessory.

ANEXO D – CONSUMO RESIDENCIAL (2019 -2023)



ANEXO E – COTAÇÃO A

Os produtos

Lista de produtos orçados nesta proposta comercial.

Produto	Unid.	Qtde	Valor unitário	Valor total
3,85KWP	kit	1,00	R\$ 12.300,00	R\$ 12.300,00
7 - MODULO FV MONO 144 CELULAS 550W IDEAL P/ MICROINVERSOR CABO 2,3M HONOR 2 - MICROINVERSOR DE CORRENTE MONOFASICO 4MPPT 220V 2KW DEYE 1 - KIT ESTRUTURA TELHADO CERÂMICO 7 MÓDULOS 1 - PROJETO + INSTALAÇÃO + HOMOLOGAÇÃO 1 - SEGURO INSTALAÇÃO 1 - FRETE				

Valor total da proposta: R\$ 12.300,00

* R\$ 3,19 por Wp

ANEXO F – COTAÇÃO B

III Produtos e Serviços

Descrição	Qty	Valor unitário
MICROINVERSOR Conectado à Rede (On-Grid) GERADOR SOLAR-OSDA-HANERSUN-HOYMILES-2,66KWp-2KWp-340KWh NOVO-OSDA-HANERSUN-HOYMILES-2,66KWp-2KWp-340KWh-MICROINVERSOR-1-665Wp-4-Cerâmico - 4 Unidade(s) de Painel Solar Tier 1 da OSDA-HANERSUN de 665 Wp (Garantia Falha e Desempenho 12 e 30 Anos) - 1 Inversor(es) da HOYMILES de 2 KWp 220 V (Garantia 12 Anos) - Monitoração no Celular - Estruturas de Fixação para Painéis Solares em Telhado Cerâmico (Garantia 12 Anos) - Projeto, Instalação e Troca do Medidor (Garantia 1 Ano) - Área de Telhado necessária ao Projeto: 13 m2 Geração Média Mensal na Conta de Luz (KWh): 340 Alívio Mensal na Conta de Luz para tarifa 1 R\$/KWh (R\$): 340,00 Retorno do Investimento (Meses): 28	1	R\$ 9.379,14
TOTAL R\$ 9.379,14		

ANEXO G – COTAÇÃO C

5. INVESTIMENTO

Compreende no orçamento do projeto Gerador Solar On Grid 3.85kWp*:

Equipamento	Marca	Unidade	Quantidade
Módulo Fotovoltaico Mono EMSH 550 HC - Prev. Exped: 14 dias EMSH-550 HC - -	INTELBRAS	Unit.	7
Inversor On Grid 3,6kW EGT 3600 PRO - PROMO Aviso: Inversor Monofásico - necessidade de transformador para rede monofásica 127V	INTELBRAS	Unit.	1
Protetor Elétrico Stringbox 600V 2-1 Entradas 1 Saída Protetor Elétrico Stringbox 600V 2-1	INTELBRAS	Unit.	2
Perfil Metálico (par) 2400mm p/ Sistemas Fotovoltaicos (Para 2 módulos em posição retrato). Par de PERFIL H ALUMINIO 2400MM TELHADO	INTELBRAS	Unit.	4
Estrutura para Telha Cerâmica Gancho Colonial Inclui: 8 suportes de fixação (incluindo parafusos e porcas), 4 grampos finais; 4 Emenda H, 6 grampos intermediários e 1 terminal de aterramento. Kit para instalação de 4 módulos na posição retrato.	INTELBRAS	Unit.	3
Cabo Solar Preto 1kVCA 4mm Cabo Solar Preto 1kVCA 4mm	INTELBRAS	Metros	50
Cabo Solar Vermelho 1kVCA 4mm Cabo Solar Vermelho 1kVCA 4mm	INTELBRAS	Metros	50
CONECTOR P/CABO MC4 PAR FM/MC 1VIA 1,5KV 39A Conector p/Cabo MC4 Par FM/MC 1Via 1	INTELBRAS	Unit.	10
Serviço de instalação	Incluso no valor total		
Custo Total:	R\$11.969,89		

ANEXO H – COTAÇÃO D

CUSTOS DO PROJETO	
designação	Quantidade
Comissionamento	1
Comissionamento	
Engenharia	1
Gerencia de projeto e engenharia	
Estrutura	1
ESTRUTURA PARA 4 MODULOS - COLONIAL	
Inversor	1
1 x 3kW, 220V, Monofasico, 2MPPTs, 2 Entradas	
Montagem	1
Gerencia de projeto e montagem de estrutura	
Solarmodule	6
Transporte	1
Transporte	

A vista ou financiado em até 84x fixas com carência de até 120 dias na primeira parcela.

- Projeto com garantia de geração
- Equipamentos
- Instalação
- Homologação na concessionária por:

R\$ 11.433,73 à vista ou financiado em até 84x fixas
(solicite simulação, o valor mensal dependerá do seu score)