

UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
ÁREA DO CONHECIMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

CLARISSA MAIARA STROHER HERTER

**ESTUDO DE VIABILIDADE DA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA
FOTOVOLTAICO APLICADO À MUNICIPALIDADE DE LINHA NOVA/RS.**

CAXIAS DO SUL

2022

CLARISSA MAIARA STROHER HERTER

**ESTUDO DE VIABILIDADE DA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA
FOTOVOLTAICO APLICADO À MUNICIPALIDADE DE LINHA NOVA/RS.**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade de Caxias do
Sul como requisito para obtenção da
Graduação em Engenharia Civil.

Orientadora:

Profa. Me. Marta Baltar Alves

CAXIAS DO SUL

2022

CLARISSA MAIARA STROHER HERTER

**ESTUDO DE VIABILIDADE DA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA
FOTOVOLTAICO APLICADO À MUNICIPALIDADE DE LINHA NOVA/RS.**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade de Caxias do
Sul como requisito para a obtenção da
Graduação em Engenharia Civil.

Aprovada em: 08/12/2022

Banca Examinadora:

Profa. Me. Marta Baltar Alves
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Prof. Me. Tiago Cassol Severo
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Prof. Esp. Leonir A. Vivan Filho
Instituto de Educação Profissional Técnica - SENAI

CAXIAS DO SUL

2022

AGRADECIMENTOS

Antes de tudo, agradeço a Deus, pela dádiva da vida e por permitir que a cada dia eu possa aprender, evoluir e, assim, contribuir com a comunidade que me rodeia e com a sociedade de forma geral.

Agradeço infinitamente à minha família: meu esposo, Josemar, minha mãe, Marlise e meu pai, Ademar (em memória), que sempre me deram suporte, apoio e amor incondicional. Dizer que é a eles que dedico cada dia, todos os que foram e todos os que virão.

Minha jornada foi longa, difícil e por muitas vezes beirou o esgotamento. Inúmeras foram as ocasiões em que considerei buscar outro caminho, questionei se minha "vocação" era forte o bastante, se minhas habilidades não seriam mais adequadas a outra carreira ou se tantas frustrações não seriam um alerta pra que eu considerasse outras opções. Porém, observando essas variáveis, a importância de cada uma em relação às outras e à situação como um todo, eu, tentando resolver o que parecia um problema, percebi que a própria forma com a qual eu estava analisando a situação, era, por si só, a aplicação de muito do que a engenharia me ensinou, ela já fazia parte de mim, e como eu poderia abandonar algo que é parte mim?!

A capacidade analítica, o raciocínio lógico, a prevalência da racionalidade, a exatidão dos resultados, as verificações criteriosas, a objetividade, a importância do planejamento, a forma de observar o mundo com a lucidez dos cálculos... Isso tudo a engenharia me ensinou, e não suficiente, me mostrou que através dessas lições é possível a busca e o aprendizado de praticamente qualquer coisa que se queira, basta, é claro, a correta aplicação dos devidos métodos.

Sou muito grata por tudo que se passou, por todos os erros, por todas as angustias e dificuldades, os momentos felizes, e de satisfação... Foram anos da minha vida que serão lembrados com muito carinho.

Agradeço à Universidade de Caxias do Sul, uma instituição de muita credibilidade, seriedade e compromisso com os profissionais e alunos em formação. É motivo de grande orgulho poder trazer a UCS em meu currículo.

Agradeço a todos os mestres, pelas orientações, ensino, o trabalho de transmissão de conhecimentos, experiências e boas práticas. Agradeço especialmente à professora Marta por todas as orientações, a forma solícita com que sempre me atendeu, e, principalmente, por ajudar a defender o tema desta monografia, quando foi necessário. Agradeço ao professor Tiago, por sua enorme contribuição para o aprofundamento do tema.

Toda a trajetória até este momento, desde o final do ensino médio, ENEM, vestibular, início da graduação (em 2014)... Tudo foi muito solitário e exigiu muitos esforços individuais e iniciativa própria. Muitas provações, muita cobrança, muita pressão, muita dedicação, muito tempo investido. Agradeço por ter conseguido persistir em todas as ocasiões, e faço isso como uma forma de autorealização. Tudo que se obtém com tamanho esforço traz também um grande mérito, e sou muito grata por alcançar este que é o maior objetivo/sonho da minha vida até então.

Por fim, mas sem menos importância, gostaria de fazer uma menção honrosa aos meus dois pets, meus cachorros Aquiles e Apolo, apenas por eles existirem em minha vida, pois a pureza deles e seu amor incondicional me tornam um ser humano melhor a cada dia.

“O segredo do sucesso é a constância do propósito”.

Benjamin Disraeli

“Descrevo, ao longo dessas páginas, meu caminho solitário, como me choquei com mil muralhas até alcançar meu objetivo. Uma coisa, porém, é certa: existe uma força vinda do Sol, que compele os planetas a girar à sua volta”.

Johannes Kepler (início de 1605)

RESUMO

Devido às constantes variações dos valores gastos com energia, aliados à ascensão do setor de geração distribuída e sistemas fotovoltaicos na comunidade de forma geral, o Município de Linha Nova/RS, que é o objeto de estudo analisado neste trabalho, passou a considerar um modelo de geração deste tipo. Primeiramente como forma de redução de gastos, mas também como iniciativa sustentável e pioneira na região podendo servir de exemplo à comunidade, enquanto poder público. Antes de qualquer ação, se fez necessária a realização de um estudo de viabilidade com um pré-dimensionamento de um sistema capaz de atender a demanda total, com a finalidade de levantamento de valores de investimento, área total necessária, local(is) apto(s) a acomodar o sistema, dentre outros. Para isso, foram levantados todos os dados necessários como, consumo médio, índices de irradiação e sombreamento, análise dos prédios públicos potencialmente aptos, estimativa de valor total de investimento necessário, tempo de retorno (payback) e opções de custeio total ou parcial do investimento, considerando o objeto de estudo se tratar de uma municipalidade. Como resultados, para uma demanda média mensal de 47.000 kWh, seriam necessárias cerca de 710 unidades de módulos fotovoltaicos, distribuídos e a serem instalados, de forma igualitária, nos prédios do Ginásio Municipal e Centro de Eventos (355 módulos em cada), sendo ambos considerados adequados para a acomodação de um sistema que ocuparia uma área total de 1.787 m². Como investimento total, em valores atuais, seria necessário o desembolso de aproximadamente R\$ 1.530.000,00, que ocasionariam um tempo de retorno de 3,5 anos. Desta forma, o estudo realizado mostrou que a escolha por um sistema fotovoltaico de geração distribuída de energia não só é viável como muito vantajoso para o estudo de caso, sob todos os aspectos analisados.

Palavras-chave: Gastos com Energia. Sistemas Fotovoltaicos. Estudo de Viabilidade. Poder Público. Payback.

ABSTRACT

Due to the constant increases in the amounts spent on energy, combined with the rise of the sector of distributed generation and photovoltaic systems in the community, in general, the Municipality of Linha Nova/RS, which is the object of study analyzed in this work, started to consider the migration to such a system. Firstly as a way of reducing expenses, but also as a sustainable initiative, a pioneer in the region, which can serve as an example to the community, as a public institution. Before any action, it was necessary to carry out a viability study with a pre-dimensioning for a system capable of meeting the total demand, with the purpose of raising investment values, total area needed, location(s) capable of accommodate the system, among others. For this, all the necessary data were collected, such as monthly consumption, irradiation and shading rates, analysis of potentially suitable public buildings, estimate of the total value of the necessary investment, payback time and options for total or partial costing of the investment, considering the object of study to be a municipality. As a result, for an average monthly demand of 47.000 kWh, around 710 units of photovoltaic modules would be needed, distributed and to be installed, equally, in the buildings of the Municipal Gymnasium and Events Center (355 modules in each), both of which are considered adequate for the accommodation of the system that would occupy a total area of 1.787 m². As a total investment, at current values, it would be necessary to disburse approximately R\$ 1.530.000.00, which would lead to a payback period of approximately 3,5 years. In this way, the study carried out showed that the migration to a photovoltaic power generation system is not only viable but very advantageous for the study case, under all aspects analyzed.

Keywords: Energy Expenditure. Migration. Photovoltaic Systems. Viability study. Public Power. Payback.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Variação do PIB e variação do consumo de energia (1998-2007).....	21
Figura 02 – Matriz energética mundial.....	21
Figura 03 – Capacidade global de energia solar instalada 2002-2021.....	23
Figura 04 – Mapa de potencial de geração solar fotovoltaica do Brasil.....	25
Figura 05 – Mapa de irradiação normal direta anual do RS.....	26
Figura 06 – Evolução da potência fotovoltaica instalada no Brasil.....	29
Figura 07 – Projeção de aumento da capacidade instalada.....	30
Figura 08 – Perspectiva de redução de custos dos sistemas FV (R\$/Wp).....	31
Figura 09 – Módulo solar monocristalino.....	35
Figura 10 – Formas de Conexão.....	36
Figura 11 – Sistema sem e com sombreamento.....	37
Figura 12 – Participação setorial no consumo de eletricidade.....	38
Figura 13 – Regras de compensação por MMD - Lei n. 14.300/2022.....	45
Figura 14 – Fluxograma Experimental.....	48
Figura 15 – Sede da prefeitura municipal.....	53
Figura 16 – Ginásio e escolas municipais.....	53
Figura 17 – Centro de eventos municipal.....	54
Figura 18 – Centro de saúde municipal.....	54
Figura 19 – Irradiação solar no plano horizontal.....	56
Figura 20 – Evolução dos preços de sistemas FV - Comercial.....	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Informações de Enquadramento.....	50
Tabela 02 - Media mensal de consumo por UC (2019).....	50
Tabela 03 - Dados do Pré-Dimensionamento.....	57
Tabela 04 - Dados do Pré-Dimensionamento por local escolhido.....	58
Tabela 05 - Quadro resumo dos resultados.....	66

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01 - Consumo total mensal - 2019.....	52
Gráfico 02 - Evolução do payback ao longo do tempo.....	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

RS -	Rio Grande do Sul
UC -	Unidade Consumidora
PIB -	Produto Interno Bruto
FGV -	Fundação Getúlio Vargas
EUA -	Estados Unidos da América
BNB -	Banco do Nordeste
ETENE -	Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste
FV -	Fotovoltaico(a)
kW -	Quilowatts
ANEEL -	Agência Nacional de Energia Elétrica
PIS -	Programa de Integração Social
PASEP -	Programa de Formação do Patrimônio do Servidor Público
COFINS -	Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
SUDENE -	Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste
SUDAM -	Superintendência Desenvolvimento Amazônia
SUDECO -	Superintendência de Desenvolvimento do Centro-Oeste
BNDES -	O Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
MWp -	Megawatt-pico
GESEL -	Grupo de Estudos do Setor Elétrico
UFRJ -	Universidade Federal do Rio de Janeiro
INMETRO -	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
BEN -	Balanço Energético Nacional
TWh -	Terawatt-hora
kV -	Quilovolt
CPFL -	Companhia Paulista de Força e Luz
REN -	Resolução Normativa
kWh -	Quilowatt-hora
V -	Volt
MW -	Megawatt
GD -	Geração Distribuída

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	15
1.1	QUESTÃO DE PESQUISA.....	16
1.2	HIPÓTESES.....	16
1.3	OBJETIVOS.....	16
1.3.1	Objetivo Principal.....	17
1.3.2	Objetivos Específicos.....	17
1.4	PRESUPOSTOS.....	17
1.5	DELIMITAÇÕES.....	18
1.6	LIMITAÇÕES.....	18
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	19
2.1	EVOLUÇÃO HISTÓRICA: ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	19
2.2	ENERGIA SOLAR NO MUNDO.....	20
2.3	ENERGIA SOLAR NO BRASIL.....	23
2.4	ENERGIA FOTOVOLTAICA – VANTAGENS E DESVANTAGENS...	31
2.4.1	Vantagens.....	31
2.4.2	Desvantagens.....	33
2.5	SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....	33
2.5.1	Funcionamento.....	33
2.5.2	Tipos de Sistemas.....	34
2.5.2.1	Sistemas on grid.....	34
2.5.3	Células Fotovoltaicas.....	35
2.5.3.1	Células Monocristalinas.....	35
2.5.4	Instalação.....	36
2.6	SOMBREAMENTO.....	36
2.7	MANUTENÇÃO.....	37
2.8	CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL.....	38
2.9	CONSUMIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL.....	38
2.10	TARIFAÇÃO DA ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL.....	39
2.10.1	Modalidades tarifárias.....	39
2.10.1.1	Grupo A.....	40
2.10.1.2	Grupo B.....	40
2.10.2	Bandeiras tarifárias.....	40
2.11	GERAÇÃO DISTRIBUÍDA DE ENERGIA - GD.....	41
2.11.1	Geração Distribuída Junto a Carga.....	42
2.11.2	Geração Compartilhada.....	43
2.11.3	Empreendimento com Múltiplas Unidades Consumidoras.....	43
2.11.4	Autoconsumo Remoto.....	43
2.12	ASPÉCTOS LEGAIS E NORMATIVOS.....	43
2.13	ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA E O PODER PÚBLICO.....	45
2.14	ANÁLISE DE VIABILIDADE FINANCEIRA.....	46
2.14.1	Prazo de Retorno sobre o Investimento - Payback.....	47

3.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	48
3.1	SEQUÊNCIA DE PROCEDIMENTOS.....	48
3.1.1	Análise de dados.....	48
3.1.2	Análise do local de interesse para instalação dos módulos.....	49
3.1.3	Pré-dimensionamento do sistema fotovoltaico.....	49
3.1.4	Estimativa de custo total do sistema fotovoltaico.....	49
3.1.5	Análise financeira (viabilidade).....	49
3.1.6	Verificação de opções de custeio para o projeto.....	49
3.2	OBJETO DE ESTUDO - CARACTERIZAÇÃO.....	49
3.3	APLICAÇÃO DA SEQUÊNCIA DE MÉTODOS.....	50
3.3.1	Análise do Perfil de Consumo - Etapa 1.....	50
3.3.2	Análise dos Locais de Interesse - Etapa 2.....	52
3.3.2.1	Verificação das Condições de Sombreamento.....	55
3.3.2.2	Verificação das Condições de Irradiação.....	55
3.3.3	Pré-Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico.....	56
3.3.4	Estimativa de custo total do sistema fotovoltaico – Etapa 4.....	60
3.3.5	Análise Financeira – Viabilidade e Tempo de Retorno – Etapa 5.....	61
3.3.6	Opções de Custeio para o Investimento – Etapa 6.....	63
4.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	65
4.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	67
	REFERÊNCIAS.....	68
	ANEXO I - Especificações técnicas do módulo fotovoltaico escolhido.....	75
	ANEXO II - Especificações técnicas do inversor escolhido.....	77
	ANEXO III - Dados de origem do Gráfico 02.....	79

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o tema energia elétrica vêm se mostrando recorrente entre os assuntos debatidos na sociedade em geral. Seja pela constante alta dos valores pagos pelo consumidor, seja pelas secas cada vez mais severas que afetam consideravelmente o sistema hídrico do qual depende a maior parte da matriz energética brasileira, ou mesmo quanto às novas opções de geração de energia que vêm se popularizando, justamente em função desses fatores.

Diante das crises hídricas, como a de 2020-2021, a maior já registrada em 91 anos e a terceira crise nos últimos vinte anos no Brasil, vêm se buscando alternativas de geração de energia que possam baratear os custos ao consumidor final e ainda, ser de origem limpa e/ou renovável, visto que as opções de geração através de combustíveis fósseis já são desencorajadas no mundo inteiro, por serem as principais causadoras do aquecimento global. Este cenário tem favorecido alguns tipos de geração de energia limpa, entre os quais se destaca a solar fotovoltaica, que, assim como no Brasil, vêm aumentando consideravelmente a capacidade instalada também em vários outros países.

A energia solar fotovoltaica consiste na geração de energia a partir de módulos fotovoltaicos que captam a energia luminosa do sol e a convertem em energia elétrica para uso direto. Esses sistemas são pouco complexos e capazes de gerar energia sem outras implicações além dos valores iniciais para a instalação e baixos custos de manutenção. Além de ser uma forma de geração limpa e de fonte inesgotável, também protege o consumidor da maioria das desvantagens do fornecimento convencional de energia, através concessionárias, e pode ser instalado em todo o território nacional, sendo que as condições são consideradas favoráveis no país inteiro.

Sendo assim, este trabalho tem a finalidade de estudar e ponderar sobre as principais implicações acerca da implementação de um sistema fotovoltaico, em substituição ao fornecimento atual de energia, para um estudo de caso que demonstra interesse nesta escolha, necessitando, porém, de um estudo aplicado às

necessidades e peculiaridades, para que assim consiga analisar os resultados e decidir pela realização ou não dos investimentos no curto, médio ou longo prazo.

1.1 QUESTÃO DE PESQUISA

Frente às variações de até 40% dos custos com energia nos últimos anos, em particular no estudo de caso abordado, como seria a conversão para um sistema solar fotovoltaico e de que forma se aplicaria à municipalidade em questão, levando em conta a demanda total.

1.2 HIPÓTESES

Estão listadas as hipóteses a serem consideradas neste trabalho:

- Dependendo das análises de cada uma das 32 UCs vinculadas ao Município, a proposta de conversão do sistema de fornecimento atual para o solar fotovoltaico pode não se mostrar atrativa para a Administração municipal, ou ainda inviável tecnicamente;
- A área total necessária pode ser maior do que as áreas úteis dos prédios públicos municipais disponíveis, fazendo com que seja necessária a montagem de estruturas em solo, o que pode vir a afetar a viabilidade financeira e implicar em um tempo de retorno não tão atraente;
- A verificação de irradiação solar e/ou sombreamento da região pode se mostrar desfavorável;
- Dependendo dos recursos orçamentários que a Administração pretenda utilizar para os pagamentos dos custos iniciais que têm maior vulto, o projeto pode não se enquadrar nas exigências impostas para a utilização de tais verbas.

1.3 OBJETIVOS

São apresentados o objetivo principal e os objetivos específicos deste trabalho, os quais serão verificados quanto ao atendimento.

1.3.1 Objetivo Principal

Apresentar à Administração municipal um estudo de viabilidade personalizado para o Município e focado em suas necessidades, acompanhado de um pré-dimensionamento para um sistema fotovoltaico a fim de que possam ser utilizados para aplicação real, visando principalmente a redução dos custos anuais com energia.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Demonstrar a viabilidade da implantação de um sistema fotovoltaico aplicado ao estudo de caso, sob aspectos técnicos e financeiros;
- Demonstrar através das análises, as vantagens da conversão do sistema de fornecimento atual para o fotovoltaico;
- Demonstrar à Administração municipal que aderir a geração distribuída solar é uma alternativa segura, sustentável e inovadora para redução dos gastos com energia de forma que possa, se assim for de interesse, utilizar os valores que possivelmente deixaria de gastar, para aplicação em outras demandas do Município.
- Incentivar a Administração a aderir à migração, com base nos resultados, para que o Município sirva de exemplo dessa iniciativa tanto para com os municípios quanto para outros municípios da região tornando Linha Nova pioneira neste cenário, caso venha a implantar um sistema fotovoltaico.

1.4 PREMISSAS

Parte-se do pressuposto de que a Administração municipal de Linha Nova tenha interesse na instalação de módulos fotovoltaicos como alternativa para redução dos custos com energia elétrica, visto que eles vêm aumentando nos últimos anos.

Sendo assim, considera-se que o Município tenha solicitado o presente estudo com a finalidade de levantamento de valores, quantitativos e condições

técnicas de viabilidade envolvidas quando de uma possível implantação dos módulos fotovoltaicos.

1.5 DELIMITAÇÕES

O presente trabalho restringe-se ao estudo de caso do Município de Linha Nova/RS e as necessidades quanto ao atendimento à demanda de 32 UCs vinculadas a ele.

1.6 LIMITAÇÕES

Este trabalho limita-se ao estudo das necessidades energéticas do Município referido e de que forma elas serão atendidas quando da possível substituição do atual sistema de fornecimento de energia por um sistema fotovoltaico. Tal substituição considerando as legislações e normativas vigentes e atuantes no período de realização do estudo, não incluindo, portanto, as prerrogativas da Lei 14.300/2022.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O presente item se faz necessário para que sejam estabelecidos todos os conceitos teóricos a serem utilizados para o embasamento deste estudo, dentro do tema proposto, com a finalidade de atendimento aos objetivos definidos.

Para as pesquisas foram buscadas bibliografias relacionadas ao tema, autores considerados relevantes, normas técnicas a nível federal e estadual, órgãos regulamentadores, agências e/ou associações pertinentes e bases de dados relacionadas a quaisquer das fontes mencionadas, todas devidamente referenciadas.

2.1 EVOLUÇÃO HISTÓRICA: ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

A energia e luminosidade do sol vêm sendo fonte de manutenção da vida desde a origem do nosso Planeta. Elas sempre serviram de “combustível” para a fotossíntese e o crescimento de toda a vegetação, que é fonte de alimento às mais diversas formas de vida. Assim como até hoje, a vegetação e os animais, foram de extrema importância para a evolução humana ao longo de eras.

Ademais os primeiros registros de utilização da energia do sol datam da época da antiga Mesopotâmia quando sacerdotes acendiam fogo em cerimônias utilizando bacias de ouro como espelhos parabólicos, prática esta que mais tarde foi utilizada também por chineses, gregos e romanos. Outra aplicação na Antiguidade seria a suposta história do espelho de Arquimedes, que teria sido usado na intenção de incendiar barcos inimigos na defesa da Baía de Siracusa durante a Segunda Guerra Púnica (SCHUBERT, 2018).

Já os sistemas fotovoltaicos tiveram origem por volta do ano de 1839 com a descoberta do efeito fotovoltaico pelo francês Alexandre Edmond Becquerel (PORTAL SOLAR, 2022), que mais tarde serviu como princípio para a criação da primeira célula fotovoltaica em 1883 pelo americano Charles Fritts, que consistia em uma célula de selênio que foi utilizada no primeiro módulo fotovoltaico, em 1884 (SCHUBERT, 2018).

Decorridos anos desde os feitos de Fritts, por volta de 1954 foram inventados por Calvin Fuller os módulos de silício e, após, houve a criação da célula solar moderna por Russell Shoemaker Ohl, que inclusive patenteou o sistema à época. Pouco tempo depois, em 1958, começaram a ser instalados os primeiros módulos fotovoltaicos muito semelhantes aos utilizados atualmente, sendo que um dos primeiros usos foi no espaço quando do lançamento do satélite Vanguard I, em 1958, para o funcionamento de um rádio (SCHUBERT, 2018).

Curiosidade: em 1922, Albert Einstein recebia o Prêmio Nobel de Física pelo trabalho e estudos sobre o efeito fotoelétrico, que serviria de incentivo aos estudos e descobertas que se seguiram a esta época (PORTAL SOLAR, 2022).

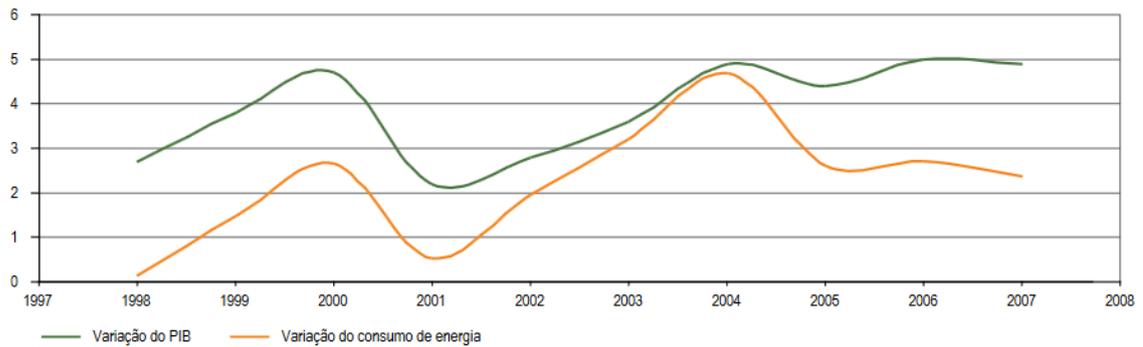
2.2 ENERGIA SOLAR NO MUNDO

É de conhecimento geral que grande parte da poluição mundial, cerca de 86% (BBC, 2021), vem da queima de combustíveis fósseis, tanto pela frota mundial de veículos movidos a estes combustíveis como pelas indústrias e principalmente a geração de eletricidade (NAÇÕES UNIDAS, 2022).

Os países considerados as principais potências mundiais atualmente são os EUA e China, países estes que possuem os maiores PIBs do mundo e os que mais crescem com o passar dos anos (MALAR; HARÉDIA, 2022), em especial a China que, conforme salienta Geromel (2019) no livro “O Poder da China”, cresceu cerca de 36x nos últimos 30 anos.

Diretamente ligado ao crescimento econômico de um país, e do PIB, está o consumo de energia elétrica, pois ela funciona, literalmente, como combustível desse crescimento (FINKLER et al., 2016). Na Figura 01, apresenta-se a variação do PIB com a variação de consumo de energia, ambos mundiais.

Figura 01: Variação do PIB e variação do consumo de energia (1998 - 2007)

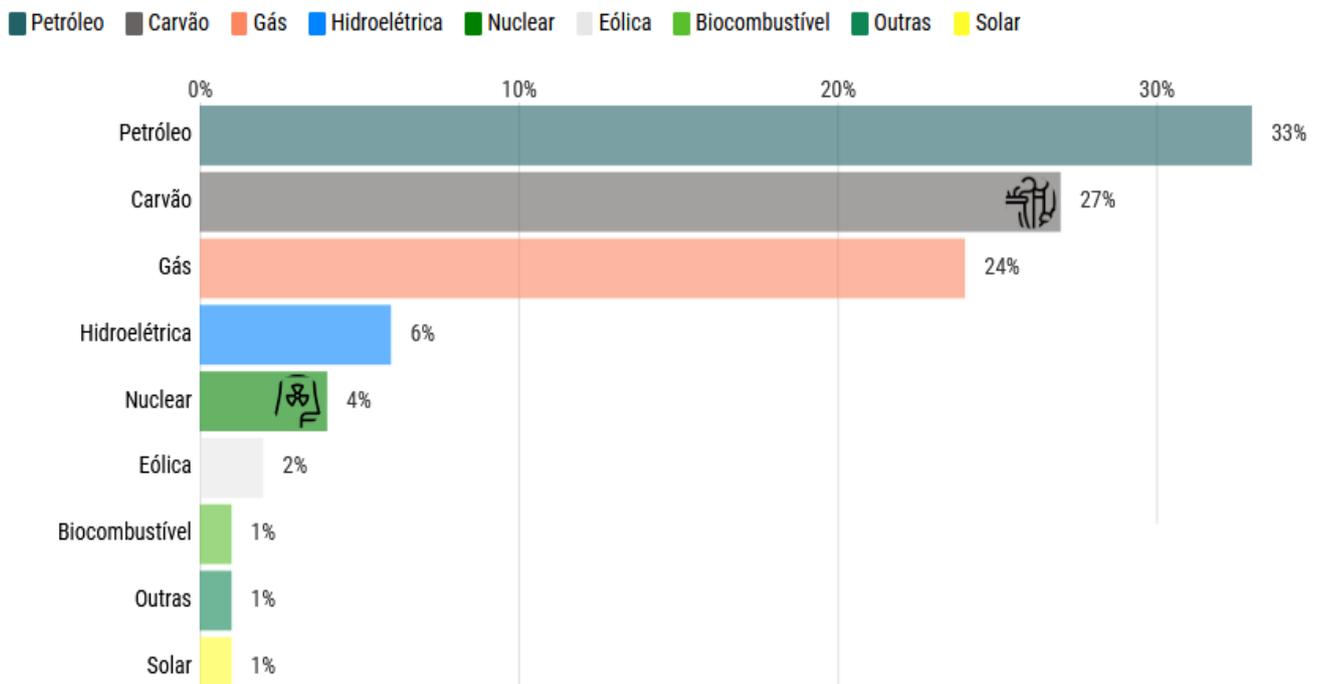


Fonte: ANEEL. Atlas de Energia Elétrica do Brasil, 2008

Em ambos os países citados, assim como no mundo todo, a matriz energética é baseada majoritariamente em energias provenientes da queima de combustíveis fósseis como gás natural, carvão mineral e petróleo e derivados.

Na Figura 02, pode-se observar como se distribui a proporção de fontes energéticas no mundo.

Figura 02: Matriz Energética Mundial



Fonte: FGV, com base em BP Statistical Review 2020

Sendo assim, esses países, segundo a Global Carbon Project (2021), também são os principais emissores de poluentes atmosféricos que por sua vez são

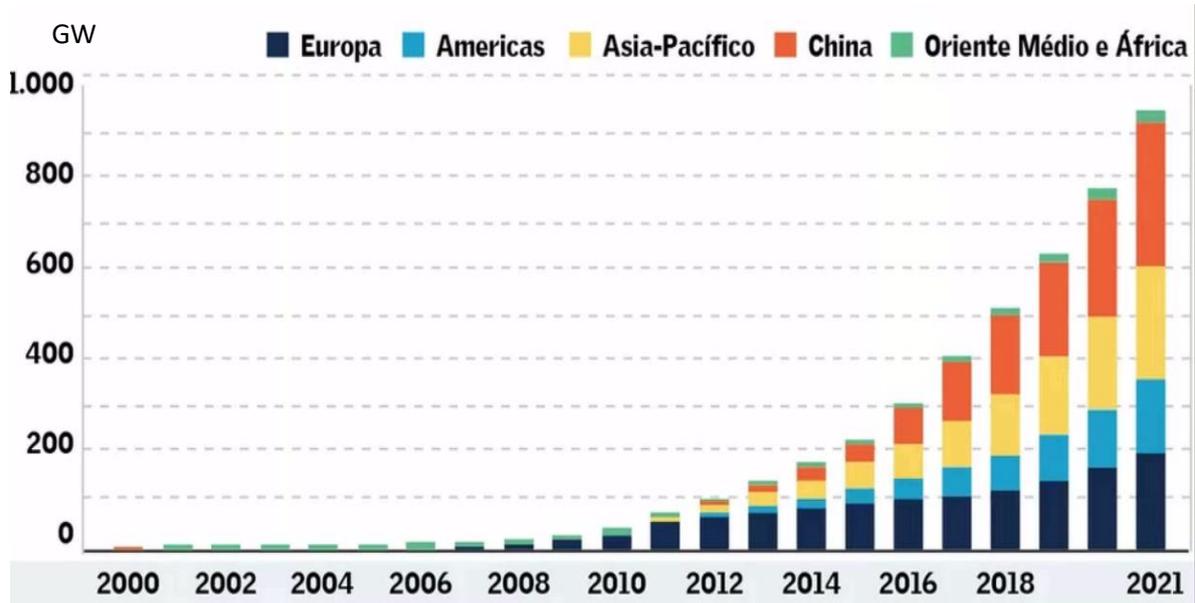
a maior causa da intensificação do aquecimento global e as consequências como os desequilíbrios ecológicos, a citar: secas prolongadas, enchentes e cheias fora de época, aumento da temperatura global, alteração das estações do ano, derretimento de geleiras, aumento dos níveis dos oceanos, dentre outros (NAÇÕES UNIDAS, 2022).

Diante dos cenários de catástrofes climáticas cada vez mais frequentes no mundo inteiro, essas potências mundiais vêm sendo pressionadas por toda a comunidade internacional, através de convenções como o Acordo de Paris de 2015 (que passou a substituir o Protocolo de Kyoto em 2020) a reduzirem com urgência as emissões atmosféricas e o consumo de combustíveis fósseis visto que eles são, inclusive, de fonte finita e limitada (FUNDAÇÃO INSTITUTO DE ADMINISTRAÇÃO - FIA, 2020).

Como resposta a esta situação global, os países como os EUA e a China vêm buscando alternativas energéticas que sejam sustentáveis e limpas de forma que possam reduzir as emissões atmosféricas sem ver o crescimento econômico afetado de qualquer forma ou mesmo tendo que reduzir o consumo de energia (FRANCO, 2021). Segundo a FIA (2020), algumas das formas de geração de energia limpa mais populares são as a partir dos ventos (eólica), a partir das águas (hídrica) e a partir da luminosidade e radiação do sol (solar).

Não por acaso, esses países citados também são os líderes em capacidade instalada dessas energias limpas e em especial a solar fotovoltaica, estimulando também esta tendência que se evidencia em diversos outros países, como Alemanha, Japão, Itália, Índia e outros. Na Figura 03, observa-se a evolução da capacidade instalada de energia solar no mundo.

Figura 03: Capacidade global de energia solar instalada 2000-2021



Fonte: "Global Market Outlook For Solar Power", 2022

Considerando todos os fatores já mencionados, segundo PINHEIRO (2021), a Agência Internacional de Energia - IEA afirma que a energia solar fotovoltaica tende a se tornar a protagonista no crescimento da geração de energia nos próximos anos, aumentando a participação de forma mais significativa a cada ano.

Neste cenário promissor do avanço e crescimento da geração de energia elétrica a partir de módulos fotovoltaicos, o Brasil ocupa o 13º lugar no ranking de países com maior capacidade instalada e é o 4º que mais cresceu em 2021 nesta categoria, FILIPPE (2022).

2.3 ENERGIA SOLAR NO BRASIL

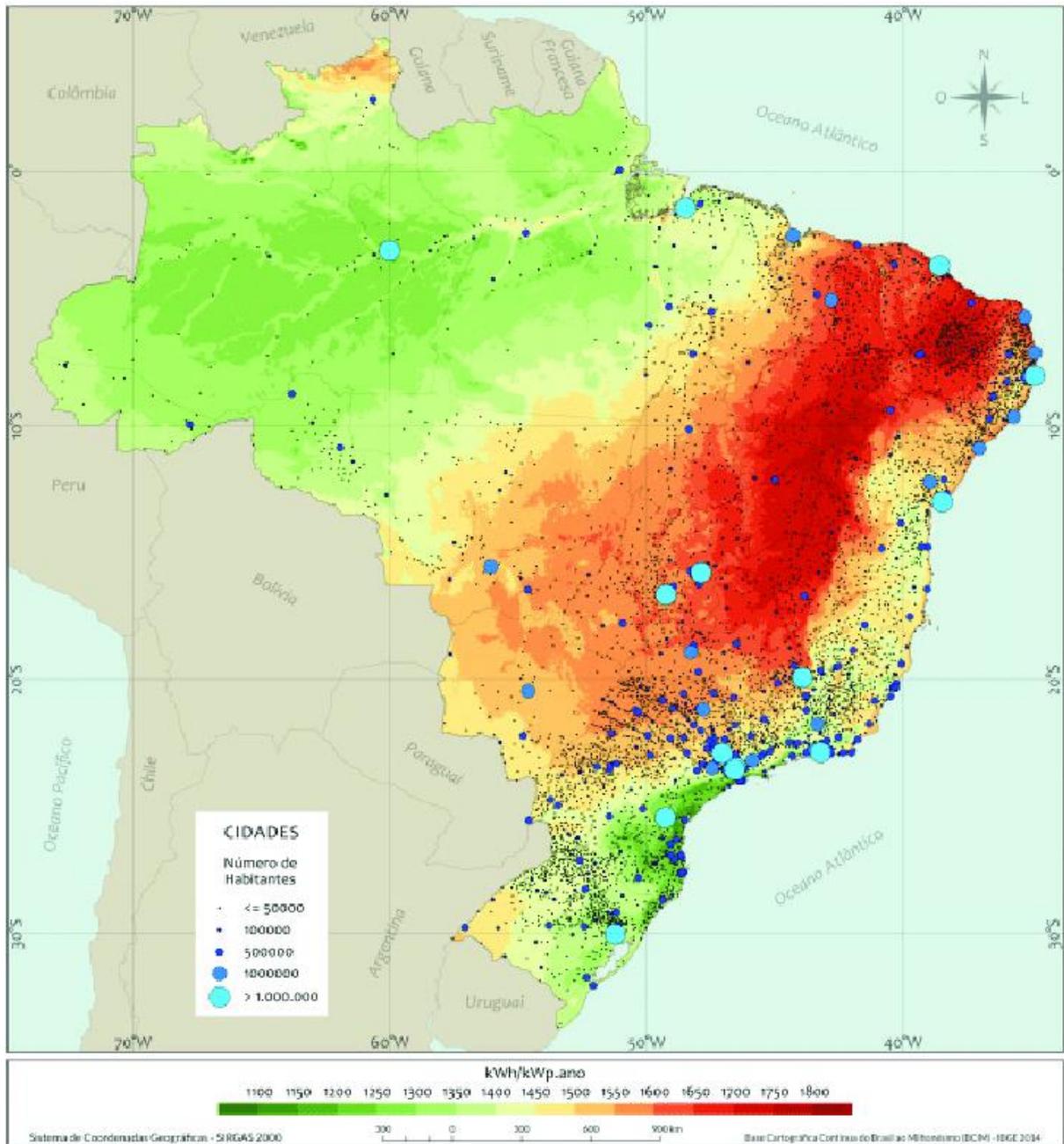
A matriz elétrica brasileira, composta em maior parte por hidrelétricas, depende de um volume estável de chuvas para manter os reservatórios a níveis satisfatórios. Caso haja uma oscilação no regime das chuvas, e esta cause impacto nos reservatórios, é necessário o acionamento das usinas termoeletricas. Além dos custos de acionamento destas usinas serem mais elevados, sofre também o meio ambiente, uma vez que este tipo de usina provoca um impacto ambiental maior, principalmente pela produção de gases de efeito estufa.

Como alternativa às crises hídricas e também ao acionamento de usinas termoelétricas, cresce o interesse pela diversificação da matriz elétrica brasileira com outras fontes renováveis de energia, com o intuito de atender à demanda e garantir confiabilidade ao sistema elétrico. Uma opção cada vez mais atraente é a energia solar fotovoltaica (ROSA; GASPARIN, 2017).

A energia solar fotovoltaica é a energia obtida através da conversão direta da luz do sol em eletricidade, isso ocorre através de células/módulos que se utilizam do chamado efeito fotovoltaico que consiste na geração de uma diferença de potencial nas extremidades de um material semicondutor, a partir da absorção da luz solar (BRASIL SOLAR, 2022). O Brasil possui um ótimo potencial solar para geração de energia elétrica quando comparado a países que já possuem essa forma de geração inserida na matriz energética. A geração de energia de fonte solar pode ser implantada em praticamente todo o país, sendo restrita apenas onde a irradiação solar é baixa ou em locais com alto sombreamento (EPE, 2022).

Para demonstrar a viabilidade de utilização da energia solar no Brasil e no estado do Rio Grande do Sul, são mostradas as Figuras 04 e 05.

Figura 04 – Mapa de potencial de geração solar fotovoltaica do Brasil



No local menos ensolarado do Brasil, é possível gerar mais eletricidade solar do que no local mais ensolarado da Alemanha, por exemplo. A Figura 04 mostra o rendimento energético anual máximo, em kWh de energia gerada por ano para cada kWp de potência fotovoltaica instalada, em todo o território nacional (SCHUBERT, 2018).

Já na Figura 05, observa-se a irradiação solar no Estado do Rio Grande do Sul.

as unidades consumidoras do tipo residencial e comercial (ROSA; GASPARIN, 2017).

Porém, os consumidores brasileiros, a fim de fugir dos aumentos nas contas de energia, decorrentes do constante acionamento das usinas termoelétricas, e buscando alternativas sustentáveis, começaram a aderir à energia solar fotovoltaica. Observando esse comportamento o governo iniciou o lançamento de incentivos fiscais e econômicos a fim de impulsionar a adesão aos sistemas fotovoltaicos (ROSA; GASPARIN, 2017).

Alguns desses incentivos, que foram listados por Silva (2015), são trazidos a seguir:

- Venda direta a Consumidores: Permissão para que geradores de energia através de fontes renováveis possam comercializá-la sem interferência das distribuidoras.
- Sistema de Compensação para Mini e Microgeração Distribuídas, regulamentada pela Resolução 482/2012 da Aneel, os consumidores podem compensar a energia elétrica disponibilizada na rede pública, pagando a diferença entre o injetado na rede e o consumido.
- Desconto nas tarifas TUSD e TUST: Desconto de 50% a 80% para as instalações cuja potência injetada nos sistemas de distribuição ou transmissão seja igual ou inferior a 30.000 kW.
- Programa Luz para Todos: Prevê a instalação de módulos solares em UCs que não tenham acesso à energia elétrica, por meio de um sistema fotovoltaico isolado;
- Convênio 101/1997, do Conselho Nacional de Política Fazendária (CONFAZ): Isentam do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) os equipamentos para geração de energia elétrica através de sistemas eólicos e solares;
- Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infraestrutura (REIDI): Prevê a suspensão da contribuição ao PIS/PASEP e COFINS quando da venda ou importação de máquinas, aparelhos, instrumentos, equipamentos,

materiais e serviços utilizados e destinados a obras de infraestrutura, entre elas as usinas geradoras de energia solar;

- Lei da Informática: Concede isenções de tributos para equipamentos de informática e automação, abrangendo vários itens utilizados nos sistemas solares;

- Programa de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico da Indústria de Semicondutores (PADIS): Isenta a zero as alíquotas de COFINS e PIS/PASEP e até mesmo Imposto de Renda e IPI incidentes na venda de aparelhos, máquinas, equipamentos e instrumentos. Alcança os semicondutores beneficiando a produção de algumas células solares;

- Apoio a Projetos de Eficiência Energética (PROESCO): incentivo operado pelo BNDES que concede financiamento a projetos que contribuam para economia de energia, substituição de combustível fóssil por fontes renováveis ou aumente a eficiência do sistema energético;

- Condições Diferenciadas de Financiamentos (BNDES): Energia solar, e de outras fontes renováveis podem obter o financiamento com baixa taxa de juros e um prazo de amortização de até 20 anos;

- Caixa Econômica Federal: A pessoa física pode fazer a aquisição de equipamentos para microgeração através de financiamento a ser pago em até 240 parcelas (20 anos), a uma taxa de juros reduzida. Em 2014 foram incluídos equipamentos de energia fotovoltaica como financiáveis através do Construcard2;

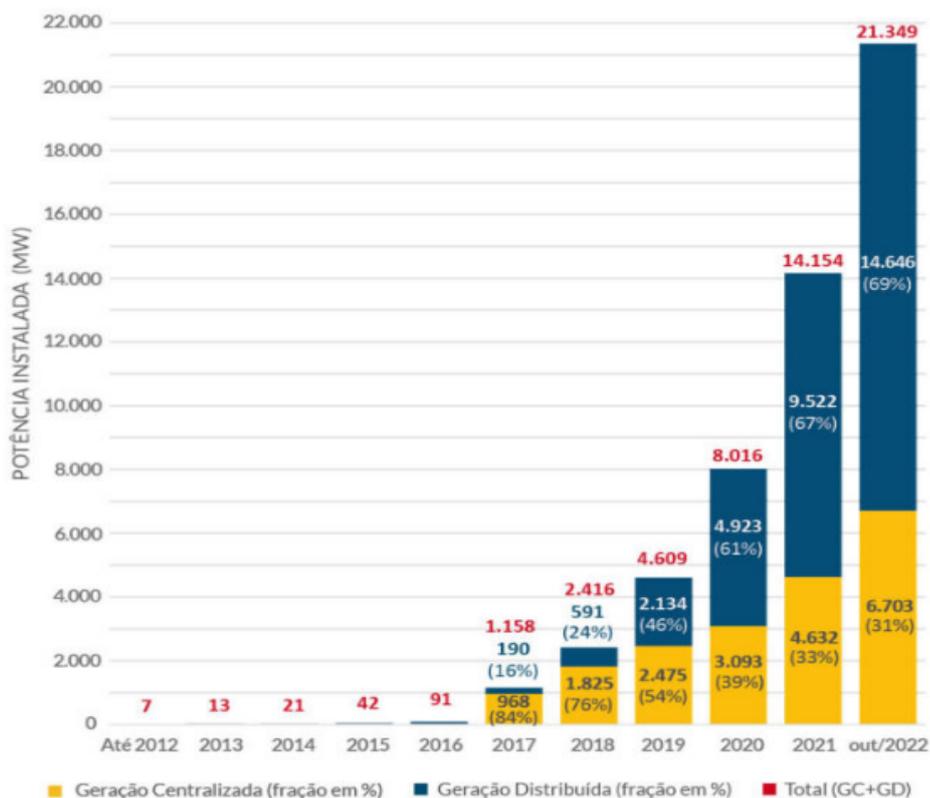
- Fundo Clima: vinculado ao Ministério de Minas e Energia, oferece recursos, para financiar estudos, projetos e empreendimentos que busquem a redução dos impactos referentes às mudanças climáticas e adaptações aos efeitos, o que contempla projetos referentes a energia solar;

- Inova Energia: Os interessados podem obter recursos para prover soluções tecnológicas relacionadas à geração fotovoltaica e outras. Compreende o desenvolvimento de tecnologias para produção de lâminas de silício, silício purificado em grau solar, células fotovoltaicas de silício, desenvolvimento de tecnologias de inversores e equipamentos relacionados;

- **Fundo Solar:** Lançado pelo Grüner Strom Label (Selo de Eletricidade Verde da Alemanha) e pelo Instituto Ideal, oferece apoio no valor de até R\$ 5.000,00, para projetos de microgeração fotovoltaica distribuída;
- **Laboratório de Energia Fotovoltaica Richard Louis Anderson:** Entidade voltada à pesquisa e desenvolvimento de módulos fotovoltaicos customizados. Conforme a EPE (2014), deverá auxiliar na popularização do conceito de edifícios integrados e na disseminação da microgeração fotovoltaica;
- **Resolução 687/2015 da Aneel:** veio para revisar a Resolução 482/2012 e trouxe várias melhorias e avanços na legislação;
- **Portaria 538/2015 da Aneel:** instituiu o Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída – ProGD, permitindo que o excedente de energia produzido nas UCs pudesse ser vendido no mercado livre de energia;

Após a liberação desses incentivos, observou-se um considerável aumento da potência instalada de energia FV, como mostra a Figura 06.

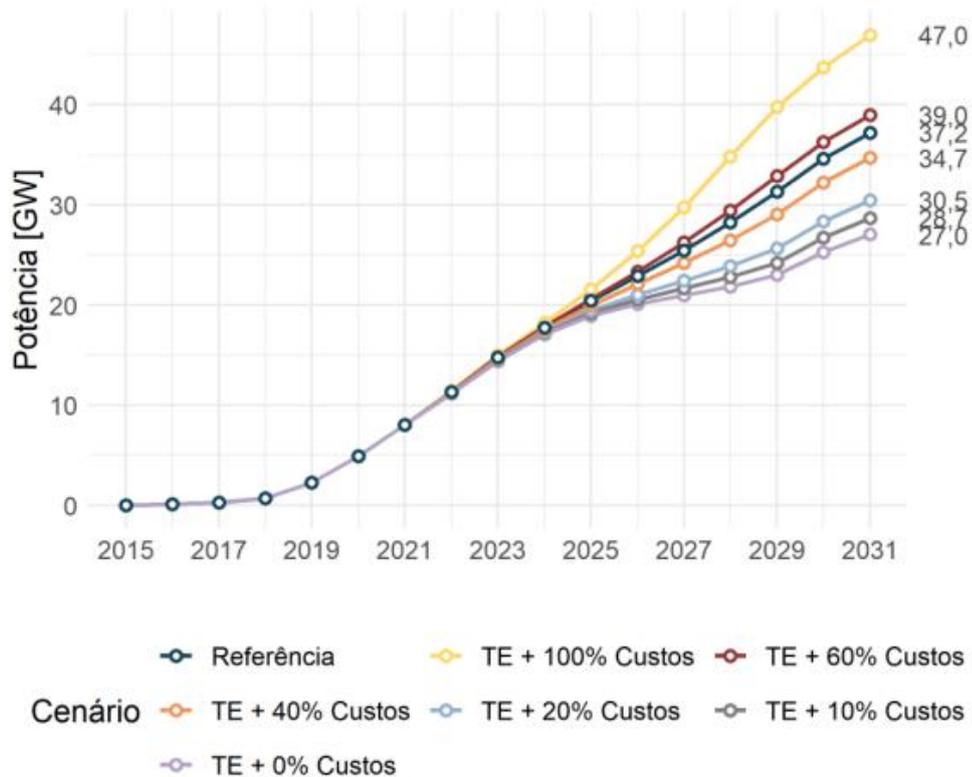
Figura 06: Evolução da potência fotovoltaica instalada no Brasil



Fonte: "Infográfico - ABSOLAR", 03/11/2022

Considerando o crescimento expressivo da geração distribuída e centralizada também podemos observar uma projeção da capacidade instalada de energia fotovoltaica no Brasil, para os próximos anos, na Figura 07. Se ambas as Figuras (06 e 07) forem comparados, é possível perceber que a projeção feita a partir de 2015 coincide com a realidade que se verificou.

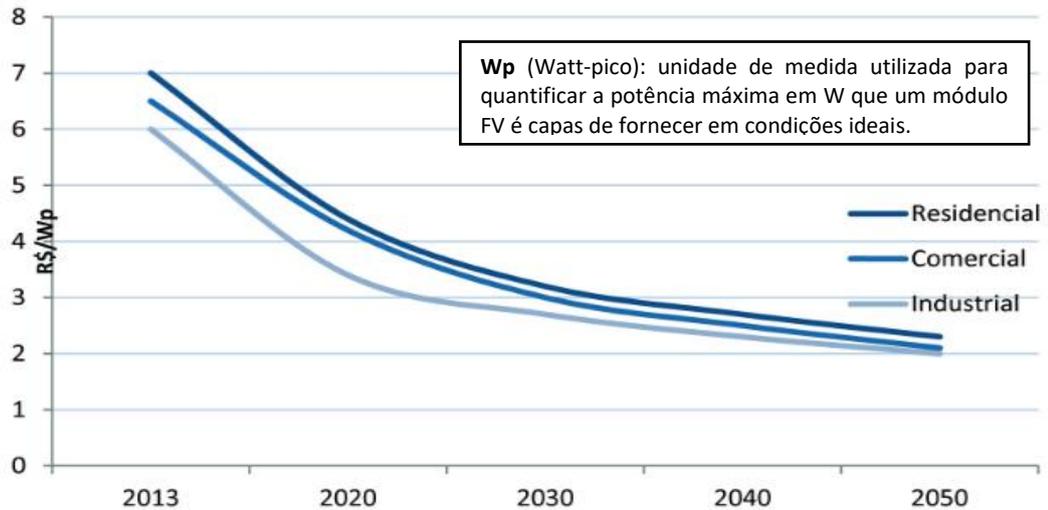
Figura 07 – Projeção de aumento da capacidade instalada



Fonte: Plano Decenal de Expansão de Energia 2031, MME/EPE (06/04/2022)

Conforme visto, é clara a tendência de expansão do mercado de energia fotovoltaica no Brasil e por consequência disso os custos de implantação desses sistemas, bem como das peças, materiais e serviços relacionados, também tendem a diminuir para o consumidor. Segundo a GREENER (2022) os preços praticados em junho de 2022 caíram 5,9% e 4,3% para consumidores residenciais e comerciais respectivamente, em relação a janeiro do mesmo ano, reforçando o que pode se observar na Figura 08.

Figura 08 - Perspectiva de redução de custos dos sistemas FV (R\$/Wp)



Fonte: GESEL/ UFRJ, com base em EPE (2014)

Diante dos dados apresentados até aqui, a escolha pela a geração de energia de fonte solar FV se mostra a opção mais atraente, principalmente para consumidores residenciais e comerciais que buscam redução dos gastos com energia aliado a sustentabilidade.

2.4 ENERGIA FOTOVOLTAICA – VANTAGENS E DESVANTAGENS

Para a adesão à energia solar fotovoltaica, independentemente de qual o perfil de consumo, é necessário um investimento inicial de maior vulto para a instalação de todo o sistema de módulos e equipamentos relacionados, incluindo os serviços. Como em qualquer investimento, é necessário que sejam analisadas as vantagens e desvantagens a fim de determinar a viabilidade, tempo de retorno, entre outros.

2.4.1 Vantagens

Para mencionar as principais vantagens quando da implantação de um sistema fotovoltaico, será utilizada a listagem feita por COLAFERRO (2022):

- Redução dos custos com faturas de energia: é possível reduzir em até 95% os custos com energia quando da instalação de módulos fotovoltaicos que facilmente gerarão energia suficiente e até excedente à consumida;

- Boa taxa de retorno sobre o investimento: se comparada a outros investimentos populares no Brasil, como fundos de renda fixa, tesouro direto ou poupança, os sistemas fotovoltaicos podem oferecer retornos financeiros sob o investimento maiores do que as opções citadas, sendo que as constantes altas das tarifas de energia e baixas no custo dos sistemas fotovoltaicos no Brasil propiciam este cenário;

- Valorização do imóvel: a valorização de uma edificação residencial ou comercial, após a instalação de um sistema fotovoltaico é quase imediata, visto que qualquer morador ou inquilino poderá usufruir dos benefícios econômicos. Em alguns casos a valorização pode ser próxima ao valor de instalação do sistema fotovoltaico;

- Marketing verde: para consumidores com perfil comercial, o reconhecimento por uma ação de pioneirismo e a possibilidade de ações de marketing verde acerca do sistema solar e os benefícios ambientais aumentam o apelo pela aquisição do sistema, tornando possível não só o retorno tangível como também o intangível;

- Segurança e estabilidade: outro benefício dos sistemas fotovoltaicos é o fato de que eles “protegem” o beneficiário da inflação do custo da energia elétrica. A partir da instalação de um sistema conectado à rede, o proprietário ganha poder de escolha e trava o custo da tarifa de energia, pois a troca entre a energia consumida da rede e a gerada pelo sistema é feita em igualdade de proporções e, desse modo, consegue-se estabilidade e previsibilidade dos custos com energia;

- Sustentabilidade: conforme já mencionado, a energia solar fotovoltaica apresenta uma ótima vantagem relacionada a sustentabilidade, pois é considerada uma energia limpa e de fonte inesgotável o que no cenário mundial atual é considerado como ideal se tratando de fontes geradoras de energia.

- Durabilidade: os fabricantes de módulos solares garantem uma durabilidade de 25 anos ao sistema a uma taxa de eficiência de 80% ou mais, e considerando que o retorno sobre o investimento costuma ser inferior a isso, é considerado um ponto atrativo (NG SOLAR, 2022);

- Manutenção: a manutenção dos sistemas costuma ser simples e os custos baixos, sendo que a principal medida para manter o funcionamento regular é a limpeza dos módulos (NG SOLAR, 2022).

2.4.2 Desvantagens

Seguem listadas as desvantagens dos sistemas fotovoltaicos a serem consideradas:

- Elevado custo inicial para implantação do sistema: Apesar de já existirem várias linhas de crédito para financiamento voltadas à energia solar, o custo inicial para instalação dos módulos ainda é considerado uma desvantagem (GUEVARA, 2021);
- Inconstante: como a geração depende da luminosidade do sol, os módulos não geram energia a noite e em dias nublados e chuvosos produzem pouca energia o que torna necessária a utilização de energia da rede (GUEVARA, 2021);

2.5 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

A seguir serão apresentados alguns aspectos inerentes aos sistemas fotovoltaicos e considerados relevantes para a compreensão.

2.5.1 Funcionamento

Os sistemas fotovoltaicos são compostos de uma série de estruturas que têm a finalidade de converter a radiação solar diretamente em energia elétrica. Essa conversão é feita através de células ou módulos fotovoltaicos que são formadas por um material semicondutor. Quando a radiação solar incide sobre essas células, ela provoca a movimentação dos elétrons do semicondutor que são transportados através desse material até serem captados por um campo elétrico formado pela diferença de potencial entre os semicondutores. Desta forma é gerada a eletricidade (SOUSA, 2022).

Apesar de funcionar com a captação da luminosidade do sol, os sistemas fotovoltaicos são capazes de gerar energia mesmo com pouca irradiação, que é o

que acontece em dias nublados. Porém, nesses dias, mesmo que o sistema permaneça produzindo, ele tem o desempenho afetado. Sendo assim, quanto maior for a nebulosidade no céu, menor será a produtividade do sistema e vice-versa (SOUSA, 2022).

Quanto à instalação, os sistemas costumam ser instalados em telhados ou estruturas de cobertura, mas também podem ser instalados de outras formas como em fachadas ou diretamente no solo, sendo essas alternativas utilizadas quando a instalação em telhados ou cobertura é inviável ou limitada (PORTAL SOLAR, 2022).

2.5.2 Tipos de Sistemas

Os sistemas fotovoltaicos podem ser divididos em três tipos: on-grid, off-grid e híbridos. Cada um possui vantagens e desvantagens diferentes que variam de acordo com a necessidade.

2.5.2.1 Sistemas on grid

Esse tipo de sistema é o que permanece conectado à rede de distribuição da concessionária com a finalidade de geração e aproveitamento de créditos de energia. Com isso o sistema recebe energia da rede da concessionária em momentos em que não está produzindo, em troca de enviar à mesma rede toda a energia excedente que é produzida em momentos de boas condições para geração (PORTAL SOLAR, 2022).

Conforme as necessidades do estudo de caso em análise, os sistemas off-grid e híbridos não são convenientes sendo que é necessária a utilização e geração de créditos de energia junto à concessionária, o que elimina a possibilidade utilização de um sistema off grid, e ainda, tendo em vista o alto consumo total que as UCs vinculadas ao Município têm, somadas, a utilização de baterias, quando de implantação de um sistema híbrido, implicaria em quantidades elevadas e aumento dos valores de investimento inicial (PORTAL SOLAR, 2022).

2.5.3 Células Fotovoltaicas

Como os sistemas fotovoltaicos, aplicados à geração distribuída, estão em utilização generalizada, no Brasil, a cerca de 5 anos somente (desde 2017, segundo a Figura 06 da pág. 29), o mercado está em constante inovação, criando novas aplicações, modernizando as instalações, aprimorando os serviços e assistência técnica. Atualmente existe uma relativa variedade de módulos solares, mas os mais utilizados são os de silício monocristalino, que também serão os escolhidos para atendimento ao estudo de caso analisado.

2.5.3.1 Células Monocristalinas

Esse tipo de células possui um custo mais elevado que outros tipos, mas também apresenta um melhor desempenho. A maior eficiência se dá pelo fato de serem produzidas utilizando cristais de silício ultrapuros que são fatiados de forma a criar lâminas individuais que mais tarde são tratadas e transformadas nas células fotovoltaicas.

Outra vantagem é que a durabilidade é estimada em mais de 30 anos sendo esse o fator que as torna as mais utilizadas (MINHA CASA SOLAR, 2018). A Figura 09 traz a ilustração de um módulo solar monocristalino.

Figura 09: Módulo solar monocristalino



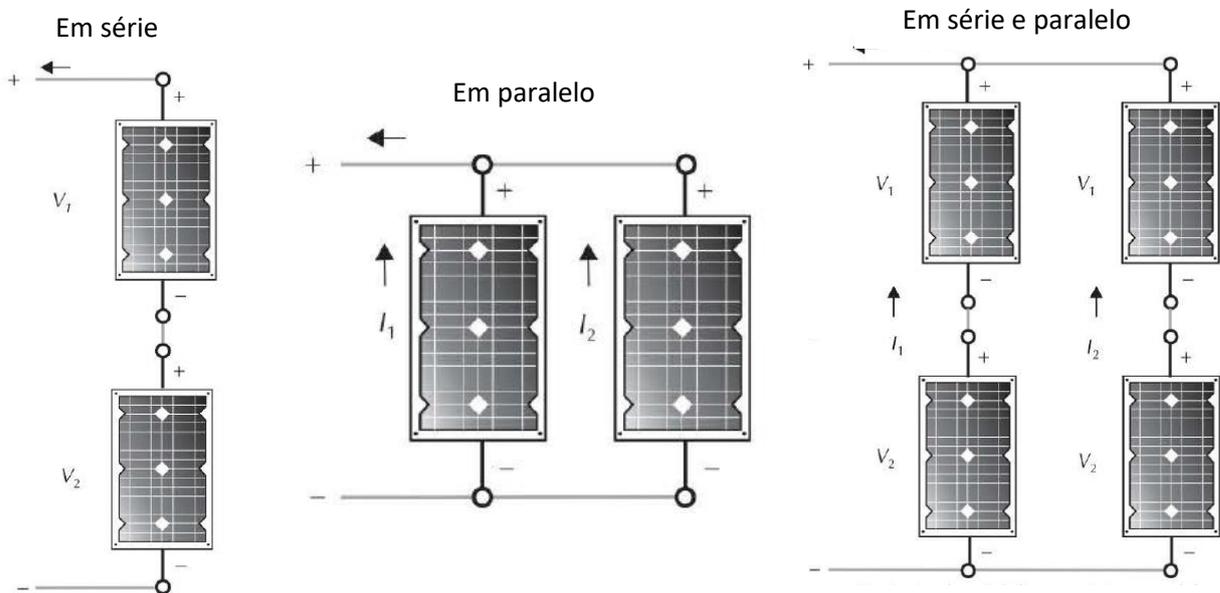
Fonte: Minha Casa Solar, 2018

2.5.4 Instalação

Para a geração de energia elétrica a partir de módulos fotovoltaicos, muitas vezes é necessária a instalação de uma quantidade significativa deles e para isso podem ser utilizados diferentes arranjos ou disposições, a critério do profissional responsável pelo projeto elétrico, que determinará a disposição dos módulos da forma mais eficiente e conveniente possível (VILLALVA, 2015).

As formas de conexão dos módulos podem ser em série, em paralelo e em série e paralelo, conforme ilustra, respectivamente, a Figura 10.

Figura 10: Formas de conexão



Fonte: VILLALVA (2015)

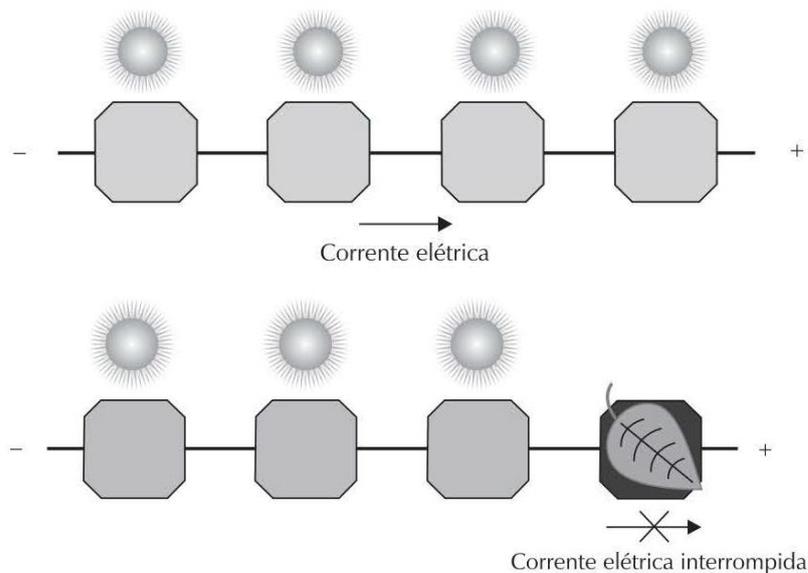
2.6 SOMBREAMENTO

Quando se fala de sistemas fotovoltaicos, a de se falar sobre o efeito que o sombreamento pode causar sobre eles. Conforme Marcelo Gradella Villalva (2015) a corrente elétrica nas células é diretamente proporcional à intensidade de radiação recebida pelo sistema e, portanto, se houver algum sombreamento exercendo interferência, mesmo que somente em uma célula, isso pode afetar o desempenho de todo o conjunto de módulos quando da produção de energia. Desta forma o local que receberá um sistema fotovoltaico deve ser escolhido considerando esse fator,

pois no caso de as células estarem conectadas em série, elas dependem umas das outras para gerar corrente (VILLALVA, 2015).

Para demonstrar o efeito do sombreamento sobre um sistema em série, observa-se a Figura 11 que mostra uma situação sem e com sombreamento respectivamente.

Figura 11: Sistemas sem e com sombreamento



Fonte: VILLALVA (2015)

2.7 MANUTENÇÃO

Quando da adesão a um sistema solar fotovoltaico, o usuário precisa ter em mente que serão necessárias manutenções preventivas e por vezes corretivas. A primeira consiste basicamente em manter os módulos limpos e promover a menor incidência possível de poeira, folhas ou qualquer coisa que possa arranhar, manchar ou mesmo quebrar as células. Essa manutenção pode ser realizada pelo próprio usuário a uma frequência de duas vezes ao ano em locais com pouca ocorrência de chuvas e/ou com muita poeira e uma vez ao ano em locais com chuvas mais regulares.

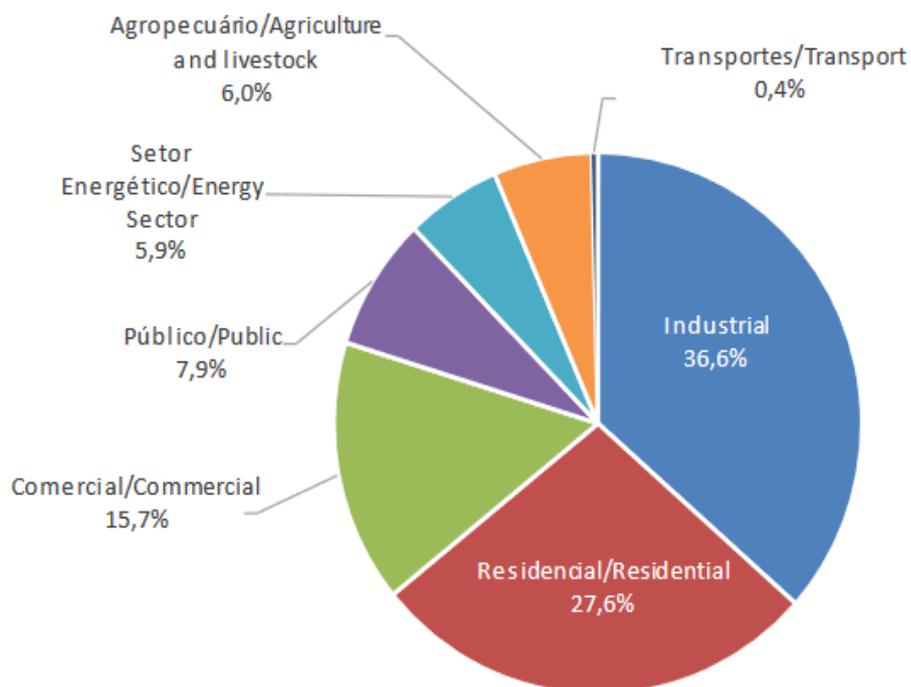
Para identificar a necessidade de manutenção preventiva, uma inspeção visual é suficiente ou mesmo se for identificada uma queda no desempenho do sistema. Já a manutenção corretiva precisa ser realizada quando forem identificadas falhas, mau funcionamento, quebra, alguma anomalia nas instalações elétricas do

sistema etc. Essa manutenção precisa ser feita por uma equipe de assistência técnica, de preferência com o mesmo fornecedor que instalou e/ou projetou o sistema (MINHA CASA SOLAR, 2018).

2.8 CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL

Conforme dados do EPE, através do Balanço Energético Nacional - BEN (2021), o Brasil dispõe de uma matriz elétrica de origem predominantemente de fontes renováveis, onde elas representam 84,8% da oferta interna de eletricidade. Na Figura 12 pode-se observar como se dá o consumo de eletricidade em nosso país de acordo com macro setores.

Figura 12 - Participação setorial no consumo de eletricidade



Fonte: BEN, 2021

2.9 CONSUMIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL

Os consumidores podem ser divididos em três categorias quanto à tensão: baixa, média e alta tensão. Sendo assim as unidades consumidoras com demandas de até 1kV são classificadas como de baixa tensão, as com demanda entre 1kV e 69kV são de média tensão e as com demanda acima de 69kV são de alta tensão. Essa classificação ocorre baseada na demanda de energia de cada UC, levando-se

em consideração todos os equipamentos elétricos a serem utilizados por ela, desta forma a concessionária pode enquadrar o cliente em uma das faixas de tensão e ponderar sobre a necessidade de instalação de transformadores para melhor qualidade dos serviços (ANEEL, 2015).

Dentro da divisão por faixa de tensão, existe uma subdivisão em mais dois grupos: A e B. No grupo A enquadram-se as UCs de alta e média tensão, e no grupo B as de baixa tensão (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME, 2022).

Para o estudo de caso abordado no presente trabalho, verificou-se que todas as UCs vinculadas a ele se classificam na faixa de baixa tensão e grupo B.

2.10 TARIFAÇÃO DA ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL

Considerando o caráter essencial da energia elétrica no dia a dia da sociedade, seja nas residências ou nos diversos segmentos da economia, o sistema e infraestruturas precisam de constantes investimentos e manutenção. Para garantir que existam recursos capazes de custear o pleno funcionamento de todas as redes de distribuição faz-se necessária a aplicação de tarifas que remunerem o serviço de forma adequada, que viabilizem a manutenção com qualidade e crie incentivos para eficiência. Seguindo tais preceitos, a ANEEL desenvolve metodologias de cálculo tarifário para segmentos do setor elétrico como a geração, transmissão, distribuição e comercialização, considerando fatores de infraestrutura e econômicos para incentivo à melhoria contínua dos serviços. (ANEEL, 2016).

A fim de uma melhor compreensão de uma fatura de energia, a seguir serão trazidos alguns conceitos considerados relevantes para o este trabalho, todos segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL.

2.10.1 Modalidades Tarifárias

As modalidades tarifárias são um conjunto de tarifas aplicáveis ao consumo de energia elétrica. Elas são definidas de acordo com o Grupo Tarifário:

2.10.1.1 Grupo A

Nele se enquadram as UCs de alta e média tensão, não se aplicando, portanto, ao estudo de caso analisado.

2.10.1.2 Grupo B

Nele se enquadram as UCs de baixa tensão, e elas se subdividem nas Classes B1, B2, B3 e B4, e o Município de Linha Nova, sendo ele o objeto de estudo em análise, têm 32 UCs classificadas como B3, referente ao Serviço Público, e uma delas classificada como B4, condizente com Iluminação Pública.

Para o Grupo B, tem-se, ainda, as classificações Convencional Monômnia, onde a tarifa aplicada independe das horas de utilização ao longo do dia e Horário Branca, onde a tarifação acontece baseada em horários de ponta e fora de ponta.

O estudo de caso referido se enquadra na classificação Convencional Monômnia, conforme análise feita em cada uma das faturas das UCs vinculadas.

2.10.2 Bandeiras Tarifárias

Desde 2015, as contas de energia passaram a ser faturadas considerando um Sistema de Bandeiras Tarifárias, que apresenta as seguintes modalidades: verde, amarela e vermelha. Essas cores indicam se haverá ou não acréscimo no valor da energia a ser repassado ao consumidor final, em função das condições de geração de eletricidade. Cada modalidade apresenta as seguintes características, conforme a ANEEL (2022):

Bandeira verde: condições favoráveis de geração de energia. Nenhum acréscimo;

Bandeira amarela: condições de geração menos favoráveis. Acréscimo de R\$ 0,02989 para cada quilowatt-hora (kWh) consumido;

Bandeira vermelha - Patamar 1: condições mais custosas de geração. Acréscimo de R\$ 0,06500 para cada quilowatt-hora kWh consumido.

Bandeira vermelha - Patamar 2: condições ainda mais custosas de geração. Acréscimo de R\$ 0,09795 para cada quilowatt-hora kWh consumido.

Todos os consumidores cativos das distribuidoras passaram a ser faturados pelo Sistema de Bandeiras Tarifárias, com exceção daqueles localizados em sistemas isolados. Em setembro de 2021 o Governo Federal criou, ainda, uma bandeira adicional: a Bandeira Escassez Hídrica. Ela é a mais cara do sistema e foi implantada na tentativa de cobrir os custos adicionais incidentes quando das medidas adotadas para enfrentar a pior escassez hídrica dos últimos 91 anos. Recentemente, em 06/04/2022, essa bandeira foi descontinuada pelo Governo, quando da volta de chuvas mais volumosas em todo o país e recuperação do sistema hídrico.

Ademais, além do sistema de tarifação das bandeiras, compõem os valores pagos pelo consumidor final, os provenientes de impostos e encargos. Alguns dos impostos mais conhecidos, a citar são PIS, COFINS, CIP e ICMS e segundo o G1 (2021) somente cerca de 30,8% do valor das faturas se refere ao custo da energia, o restante (79,2%) se deve a impostos e encargos.

2.11 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA DE ENERGIA - GD

As concessionárias de energia, que aplicam as tarifas e dividem os consumidores em grupos e classes para, com base nisso, emitir as faturas de cobrança, fazem parte da geração centralizada de energia, a qual se baseia na geração de energia em usinas e a posterior transmissão até as UCs.

Quando a geração de energia, através de módulos fotovoltaicos, começou a se popularizar, observou-se a geração não mais centralizada e sim, a hoje chamada geração distribuída, que consiste na geração de energia suficiente para a demanda da UC a que se vincula, para uso direto (PALZ, 2002).

Segundo o Instituto Nacional de Eficiência Energética - INEE (2022), geração distribuída (GD) é uma expressão usada para designar a geração elétrica realizada junto ou próxima do(s) local(is) onde será consumida. A GD tem vantagem sobre a geração central, pois não necessita de redes de transmissão e reduz as perdas de energia, melhorando a estabilidade do fornecimento.

De acordo com as definições da Resolução Normativa 687 (ANEEL, 2015), os pontos de GDs são definidos da seguinte forma:

- Microgeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada de até 75 kW que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, conectadas à rede de distribuição por meio de instalações das UCs;
- Minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 5 MW para cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, conectada à rede de distribuição por meio de instalações das UCs;

À Micro e Minigeração se aplica o sistema de compensação de energia, que é definido também pela Resolução 687 da ANEEL e que quer dizer que a UC geradora de energia pode obter créditos, em kWh, por eventuais excedentes de energia injetados na rede da concessionária, e estes serão descontados de faturas posteriores.

Ademais, os sistemas de geração distribuída possuem alguns benefícios em relação aos centralizados, dentre eles a destacar, a transmissão por longas distâncias que implica na utilização de linhas de distribuição de alta tensão para minimizar as perdas, a utilização de uma série de estações de transformação e com isso, estima-se que cerca de 10% da energia se perca nesse caminho. Outro ponto desfavorável é o alto custo dessas redes de distribuição e conseqüentemente de manutenção o que acaba sendo repassado ao consumidor final através do sistema tarifário já abordado, e que contribui com o encarecimento da energia de geração centralizada (PALZ, 2002).

Ainda dentro da modalidade de geração distribuída, ela se subdivide em quatro tipos de sistemas de geração, conforme a Resolução 482 (ANEEL, 2012) posteriormente atualizada pela Resolução 687 (ANEEL, 2015).

2.11.1 Geração Distribuída Junto a Carga

Também chamada pela Lei 14.300/2022 de autoconsumo local, é a modalidade em que o sistema de Mini ou Microgeração é instalado junto à UC ou

próximo a ela com a finalidade de fornecer energia exclusivamente a ela. É a forma mais simplificada de geração e deve ser conectada à rede de distribuição da concessionária de energia visando a compensação do consumo através dos créditos de energia injetada nesta rede (BOUHID, 2019).

2.11.2 Geração Compartilhada

É a modalidade caracterizada pela reunião de consumidores, por meio de consórcio, cooperativa, condomínio civil voluntário ou edilício ou qualquer outra forma de associação civil, composta por pessoas físicas ou jurídicas que possuam unidade consumidora com mini ou microgeração distribuída, com atendimento de todas as UCs envolvidas, pela mesma distribuidora (LEI 14.300, 2022).

2.11.3 Empreendimento com Múltiplas Unidades Consumidoras

É a modalidade na qual um conjunto de UCs localizadas em uma mesma propriedade ou em propriedades contíguas, em que as instalações para atendimento das áreas de uso comum, por meio das quais se conecta a mini ou microgeração distribuída, constituam uma unidade consumidora distinta, com a utilização da energia elétrica de forma independente, de responsabilidade do condomínio, da administração ou do proprietário do empreendimento (LEI 14.300, 2022).

2.11.4 Autoconsumo Remoto

É a modalidade caracterizada por UCs de titularidade de uma mesma pessoa física ou jurídica, que possua unidade(s) consumidora(s) com mini ou microgeração distribuída, com atendimento de todas as unidades pela mesma concessionária (LEI 14.300, 2022).

Obs.: o objeto de estudo do presente trabalho se enquadra como um consumidor com geração distribuída de autoconsumo remoto.

2.12 ASPÉCTOS LEGAIS E NORMATIVOS

Até cerca de uma década atrás a energia solar fotovoltaica era pouco utilizada e difundida no Brasil. A maioria dos sistemas em uso eram autônomos/autogeração,

não conectados à rede (off grid) e utilizados em locais onde a instalação das redes de distribuição das concessionárias era difícil ou inviável, como comunidades isoladas e propriedades rurais (VILLALVA, 2015).

Porém a partir de 2012-2013, observou-se uma mudança significativa neste cenário e isso se deu quando do lançamento da resolução normativa 482 em abril de 2012, que tinha como principal finalidade regulamentar e estabelecer condições para compensação de energia entre sistemas de micro e minigeração e a respectiva concessionária (VILLALVA, 2015).

Em novembro de 2015, com a finalidade de promover alterações na resolução 482, a ANEEL publicou a resolução 687 que estabeleceu condições específicas para a compensação de energia, alterou os limites para micro e minigeração, autorizou novas modalidades de geração distribuída, dentre outros (VILLALVA, 2015).

Com a vinda de ambas as resoluções mencionadas, houve um aumento considerável da adesão aos sistemas fotovoltaicos e isso mostra que o acesso a essa forma de geração de energia está cada vez mais facilitado e democrático podendo ser utilizado tanto por consumidores residenciais como comerciais, industriais e outros (COLAFERRO, 2022).

Recentemente, em 2022, foi criada a Lei 14.300/2022, já conhecida como “marco legal da geração distribuída” que, além de dar mais segurança jurídica aos investidores, trouxe uma série de alterações no Modelo de Compensação de Energia Elétrica estabelecido pela REN 482/2012. Dentre as alterações, destacam-se:

- Estabelecimento de novas regras para a cobrança do custo de disponibilidade. Na prática, haverá uma redução dessa cobrança para geradores antigos e novos;
- Definidas novas formas de associação civil permitidas na geração compartilhada, o que irá facilitar a implementação dessa modalidade de geração;
- Cria o Programa de Energia Renovável Social, que prevê contratação de MMGD com recursos do Programa de Eficiência Energética (PEE) para atender consumidores de baixa renda;

- Por fim, estabelece novas regras para a compensação da energia injetada na rede, que serão detalhadas na Figura 13.

Figura 13: Regras de compensação por MMGD - Lei n. 14.300/2022

	2023 a 2028 ¹		A partir de 2029	
	Regra Geral	Mini GD > 500 kW ²	Regra Geral	Mini GD > 500 kW ²
TUSD Dist.	Cobrança gradual de 15% a 90%	100%	Cobrança de 100% desses custos, descontados os benefícios da GD. Os benefícios serão calculados pela ANEEL em até 18 meses a partir da publicação da Lei, seguindo diretrizes do CNPE e contribuições da sociedade.	
TUSD Transmissão	-	40%		
Encargos P&D, PEE e TFSEE	-	100%		
Demais Encargos	-	-		
TUSD Perdas	-	-		
TE Outros	-	-		
TE Energia	-	-		

Fonte: Plano Decenal de Expansão de Energia 2031, MME/EPE (06/04/2022)

Devido a Lei 14.300/2022 prever um tempo de carência de 12 meses da data de publicação (em 06/01/2022), para a obrigatoriedade das prerrogativas (até 06/01/2023), o presente estudo não considerou as mudanças trazidas pela referida lei, considerando apenas as normativas em obrigatoriedade de execução prática na data corrente.

Além das duas resoluções e da Lei, existem também normas técnicas redigidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) que podem ser aplicadas de forma direta ou indireta aos sistemas fotovoltaicos, como a NBR 16690:2019 (Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos – Requisitos de projeto), a NBR 5410:2004 (Instalações elétricas de baixa tensão) e a NBR 16274:2014 (Sistemas fotovoltaicos conectados à rede) (PROJETO FOTOVOLT, 2022).

2.13 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA E O PODER PÚBLICO

Considerando que o estudo de caso em análise neste trabalho, se trata de um órgão público da esfera municipal, convém trazer exemplos de outras instituições públicas que tenham aderido à geração de energia a partir de sistemas fotovoltaicos para entendermos como isso se aplica neste nicho de consumidores.

Um exemplo de engajamento é o Ministério de Minas e Energia (MME) que instalou em sua sede, em Brasília/DF, um conjunto de 154 painéis solares que somados têm uma potência de 69kW, o que poderia abastecer cerca de 23 residências familiares, a título de comparação. A intensão, segundo o MME, não é a

diminuição de gastos, pois o sistema supre apenas de 5% a 7% da necessidade energética das instalações, mas sim promover a “descarbonização” evitando a emissão de aproximadamente 6,4 toneladas de CO₂ ao ano, o que faz com que ao longo da vida útil dos módulos isso seja equivalente a cerca de 161 toneladas de gás carbônico (COLAFERRO, 2022).

Outro exemplo que se destaca é o do Tribunal Superior Eleitoral (TSE) que inaugurou uma usina de microgeração em novembro de 2017 e até 2020 já registrava uma economia de R\$ 1,6 milhão em gastos com energia, sendo que o sistema tem capacidade de suprir apenas 20% da demanda dos prédios do órgão. Foram instalados 3.080 módulos e a estimativa é de que o retorno sobre o investimento de R\$ 5,8 milhões ocorra até 2024 (NASSA et al., 2020).

O Tribunal Superior do Trabalho (TST) é mais uma entidade pública que aderiu à geração de eletricidade a partir de uma usina própria que conta com 2.688 painéis fotovoltaicos onde a perspectiva de economia de gastos fica em torno de R\$ 1 milhão ao ano, fazendo com que o investimento aplicado seja recuperado em quatro anos (NASSA et al., 2020).

Fora os exemplos citados, segundo o MME (2020) existem mais 900 projetos de geração de energia a partir de sistemas fotovoltaicos em órgãos da administração pública em andamento, o que reflete a tendência de descentralização no setor energético (NASSA et al., 2020).

2.14 ANÁLISE DE VIABILIDADE FINANCEIRA

Havendo o interesse na implantação de um sistema solar fotovoltaico, independente das particularidades técnicas do projeto, é necessário o dispêndio de valores financeiros que serão tidos como investimentos, uma vez que se deseja obter retorno sobre eles, dentro de um prazo considerado conveniente para o investidor. Portanto, para que um projeto seja considerado viável como investimento convém a realização de uma análise financeira para verificar a viabilidade do projeto, sob este aspecto (VALOREASY, 2020).

2.14.1 Prazo de Retorno sobre o Investimento – Payback Simples

Como ferramenta de análise financeira e tempo de retorno, será utilizado o método de Payback Simples. Esta ferramenta é utilizada principalmente para determinar o tempo em que um investimento será recuperado. É uma ferramenta amplamente utilizada para o planejamento financeiro, por empresas e organizações das mais variadas, para a tomada de decisão quanto à realização, ou não, de um investimento.

Esse método apresenta a peculiaridade de mostrar o retorno de um investimento somente até o prazo em que compense o valor inicialmente investido, não sendo adequado para a análise do lucro que pode ou não trazer após esse tempo (VALOREASY, 2020). E entendendo que o estudo de caso se trata de um órgão do setor público, a análise de um possível lucro futuro não é o objetivo foco e sim a determinação de um tempo de retorno. Sendo assim, o método de Payback Simples é considerado adequado para a análise de viabilidade financeira que se pretende elaborar.

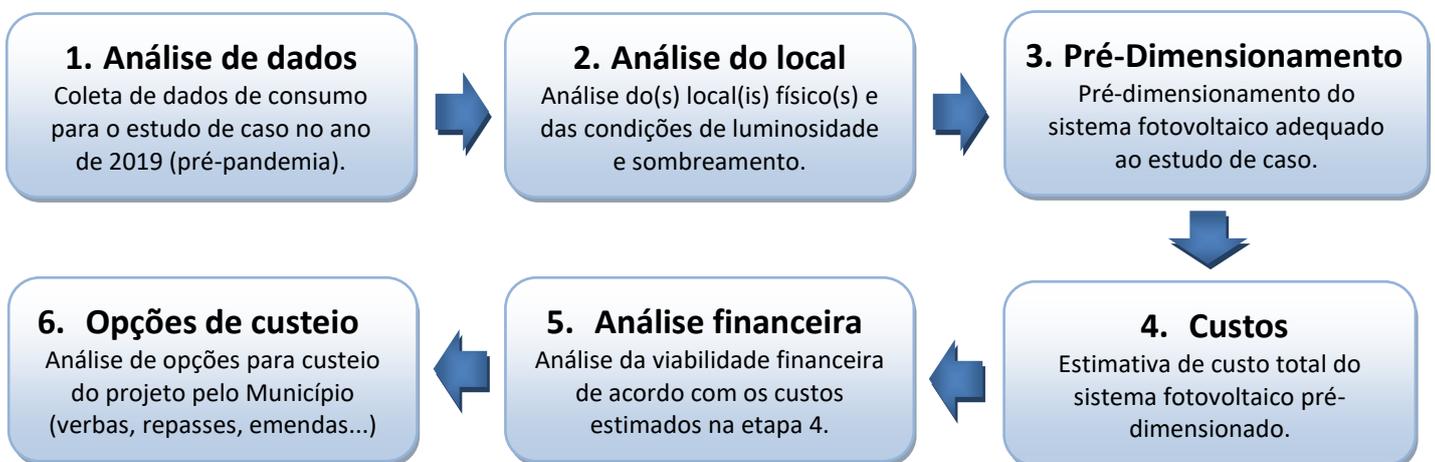
3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a obtenção de resultados avaliados na busca pelo atendimento aos objetivos deste trabalho, foi necessário o uso de metodologias de aplicação dos princípios teóricos vistos até aqui. Neste tópico são estabelecidos quais os dados coletados, de que forma eles foram analisados e interpretados, qual a sequência de atividades realizadas e como as informações se conectam para obtenção das conclusões.

3.1 SEQUÊNCIA DE PROCEDIMENTOS

A fim de obter resultados capazes de demonstrar o atendimento aos objetivos deste trabalho foi estabelecida uma sequência de procedimentos e métodos. Essa sequência é apresentada, na Figura 14, em forma de fluxograma e após o detalhamento por atividade.

Figura 14: Fluxograma Experimental



Fonte: Autora (2022)

3.1.1 Análise de dados: foram analisados os dados mensais de consumo durante o ano de 2019, entendendo que este seja o período mais adequado considerando que, por anteceder a Pandemia, apresenta um cenário de consumo mais real e sem interferências atípicas. Além de verificar o consumo médio mensal em kWh, foram coletadas outras informações como: quantidade de UCs, grupo pertencente, classificação quanto à tarifação e número de fases de cada UC, para que se estabelecesse o perfil de consumo do estudo de caso.

3.1.2 Análise dos locais de interesse para instalação dos módulos: foram verificadas as condições de incidência solar na região e locais de interesse para instalação do sistema, bem como a existência, ou não, de sombreamento;

3.1.3 Pré-dimensionamento do sistema fotovoltaico: estimativa inicial de quantidade, potência individual e total dos módulos e do sistema, considerando eficiência e demanda total. Verificação da quantidade necessária de inversores. Estimativa de área requerida para instalação sem que as edificações sejam danificadas de qualquer forma e estimativa da geração de energia em razão de possíveis sazonalidades e outras situações que possam vir a interferir na geração de energia;

3.1.4 Estimativa de custo total do sistema fotovoltaico: Após a definição das quantidades de módulos solares e demais condições identificadas na etapa anterior, partiu-se para a verificação dos preços de mercado para os materiais e serviços requeridos para possibilitar a definição de um valor total para um futuro projeto;

3.1.5 Análise financeira (viabilidade): definido o valor de referência a considerar, foi feita uma avaliação financeira quanto ao valor a ser investido e o tempo de retorno do investimento. Para isso as análises foram abordadas através do método escolhido, Payback Simples;

3.1.6 Verificação de opções para custeio do projeto: Considerando que a análise financeira apresentou resultados que demonstram a viabilidade do investimento, como se verifica também na maioria dos projetos fotovoltaicos, foi feita uma análise dos recursos passíveis de utilização pelo Município, enquanto órgão público, bem como uma pesquisa de verbas que possam ser pleiteadas junto às casas parlamentares para custeio total ou parcial do projeto.

3.2 OBJETO DE ESTUDO – CARACTERIZAÇÃO

O objeto que serviu como estudo de caso deste trabalho, trata-se do Município de Linha Nova/RS, localizado a cerca de 80km de Porto Alegre e a 50km de Caxias do Sul. O Município tem 30 anos de história, desde a emancipação, em 20 de março de 1992, e tem uma população estimada pelo IBGE (2022), em 1.724 habitantes. Anteriormente à emancipação, o território pertencia ao município de Feliz, hoje vizinho.

O referido Município tem interesse na instalação de um sistema fotovoltaico para atendimento da demanda das 32 UCs vinculadas ao CNPJ, através da utilização das áreas úteis de coberturas de telhados dos prédios públicos centrais. Porém, para que fosse possível o pré-dimensionamento do sistema, foi necessário, antes, a verificação de dados e informações para que um perfil de consumo fosse estabelecido.

3.3 APLICAÇÃO DA SEQUÊNCIA DE MÉTODOS

Dando início ao estudo propriamente dito, foi seguida a sequência de aplicação dos métodos definidos, conforme previsto no item 3.1 (Figura 14).

3.3.1 Análise do Perfil de Consumo – Etapa 1

Para a identificação do perfil de consumo do Município, foram verificadas as informações que serão apresentadas a seguir, juntamente com as médias de consumo, em kWh, das 32 UCs, todas identificadas, conforme as Tabelas 01 e 02.

Tabela 01: Informações de enquadramento

Nome:	Município de Linha Nova
Sede:	Prefeitura Municipal – Av. Henrique Spier, nº 2800, Centro
Concessionária:	RGE / CPFL
UCs:	32, entre prédios públicos e bombas de adução e recalque
Grupo:	B3 – Poder Público - Baixa Tensão (em todas as UCs)
Classificação:	Convencional Monômia (em todas as UCs)

Fonte: Autora (2022)

Tabela 02: Média mensal de consumo por UC (2019)

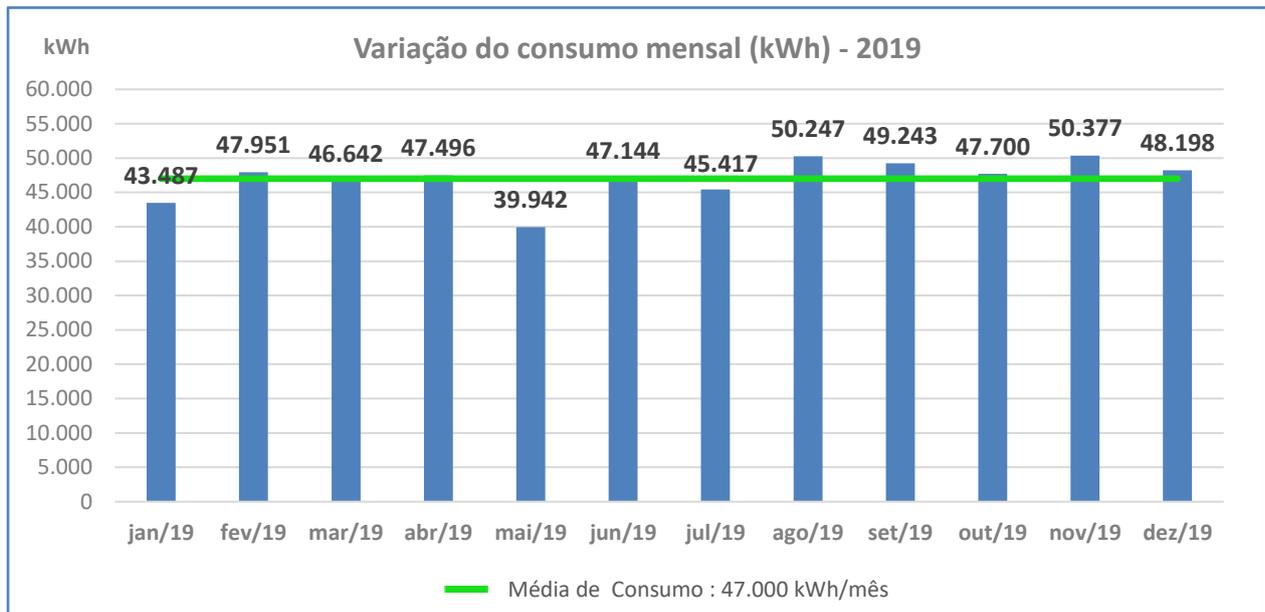
Item	Descrição / Nome da UC	Fase	kWh fixos mensal	Média kWh/mês
1	Bomba de recalque Passo Fundo	Trifásico	100	57
2	Bomba de recalque Roseiral Velho	Monofásico	30	25
3	Poço artesiano Roseiral	Trifásico	100	2.549
4	Bomba de recalque Roseiral	Trifásico	100	3.011
5	Poço artesiano Rincão da Serra	Trifásico	100	6.570
6	Bomba de recalque Rincão da Serra	Trifásico	100	3.184
7	Bomba de recalque Canto Schons	Trifásico	100	4.292

8	Poço artesiano Canto Schons	Trifásico	100	3.248
9	Poço artesiano São José	Trifásico	100	2.976
10	Prédios antigos do Parque	Trifásico	100	35
11	Parque municipal - Obras	Trifásico	100	297
12	Parque Municipal	Trifásico	100	202
13	Praça/Igreja	Monofásico	30	712
14	Casa Mortuária	Monofásico	30	0
15	Setor de Obras / Casa da Cultura W.	Trifásico	100	259
16	EMEF Julio de Castilhos - Morro Grande	Monofásico	30	438
17	EMEF Visconde de Mauá - Rincão da S.	Trifásico	100	286
18	EMEF Henrique Konrad (+Poço artesiano)	Trifásico	100	917
19	Ginásio Poliesportivo	Trifásico	100	546
20	Casa Port	Monofásico	30	0
21	Escola de tempo integral (20 de Março)	Trifásico	100	1.364
22	Praça da Prefeitura	Trifásico	100	1.251
23	BM / Câmara / Cons. Tutelar	Monofásico	30	749
24	Centro Administrativo (sede da prefeitura)	Trifásico	100	2.861
25	Bomba de recalque - São José	Trifásico	100	2.790
26	Poço artesiano - São José	Trifásico	100	2.490
27	Biblioteca pública municipal	Trifásico	100	153
28	Telecentro municipal	Monofásico	30	111
29	Unidade de apoio em saúde	Monofásico	30	2
30	Centro de saúde	Trifásico	100	3.658
31	Centro de Convivência	Trifásico	100	177
32	EMEI Mundo Encantado	Trifásico	100	1.188

Fonte: Autora (2022)

De acordo com o consumo observado ao longo de 2019 para cada uma das UCs mencionadas na Tabela 02, foi elaborado o Gráfico 01, que apresenta o consumo mensal ao longo do mesmo ano.

Gráfico 01: Consumo total mensal - 2019



Fonte: Autora (2022)

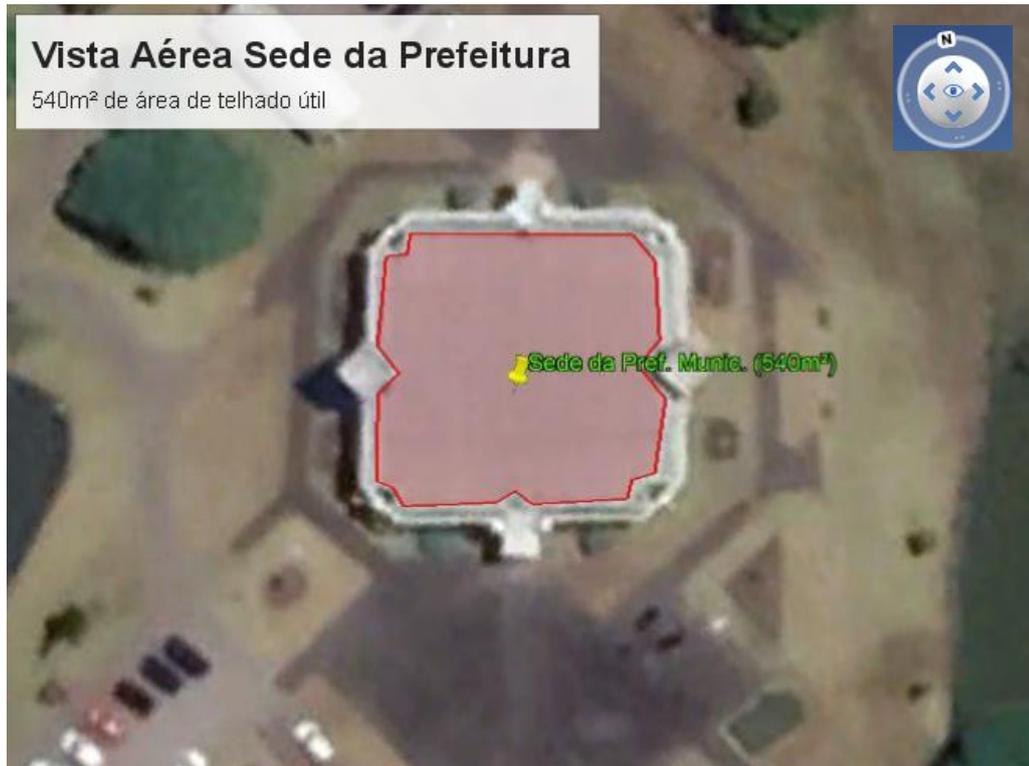
Conforme os dados acima, verificou-se que o Município de Linha Nova tem uma média mensal de consumo de 47.000 kWh, informação a partir da qual foi desenvolvida a Etapa 3, de pré-dimensionamento.

3.3.2 Análise dos Locais de Interesse – Etapa 2

Dando início à Etapa 2, partiu-se para a análise dos locais de interesse para instalação dos módulos, sendo essa uma informação necessária ao pré-dimensionamento feito mais adiante. Para isso foi necessária, também, a verificação das condições da região quanto à irradiação solar e ocorrência, ou não, de sombreamento.

Nas Figuras 15 a 18, são apresentadas as imagens com as vistas aéreas dos prédios públicos considerados para instalação dos módulos fotovoltaicos, bem como a área útil disponível de cada um.

Figura 15: Sede da prefeitura municipal



Fonte: Google Earth (2022)

Figura 16: Ginásio e Escolas municipais



Fonte: Google Earth (2022)

Figura 17: Centro de Eventos municipal



Fonte: Google Earth (2022)

Figura 18: Centro de Saúde municipal



Fonte: Google Earth (2022)

3.3.2.1 Verificação das Condições de Sombreamento

Observando as imagens aéreas das Figuras 15 a 18, foi possível constatar que em todas as opções de locais existe pouco ou nenhum sombreamento, sendo este, portanto, um fator a ser desconsiderado, quando da instalação do sistema fotovoltaico em qualquer um dos prédios. Todos os locais estão isolados de qualquer barreira vertical que possa interferir no desempenho do sistema através de sombreamento. Porém, vale ressaltar que essa condição de afastamento de barreiras verticais deve ser mantida ao longo de todo o tempo em que um sistema fotovoltaico estiver em atividade em alguns dos prédios.

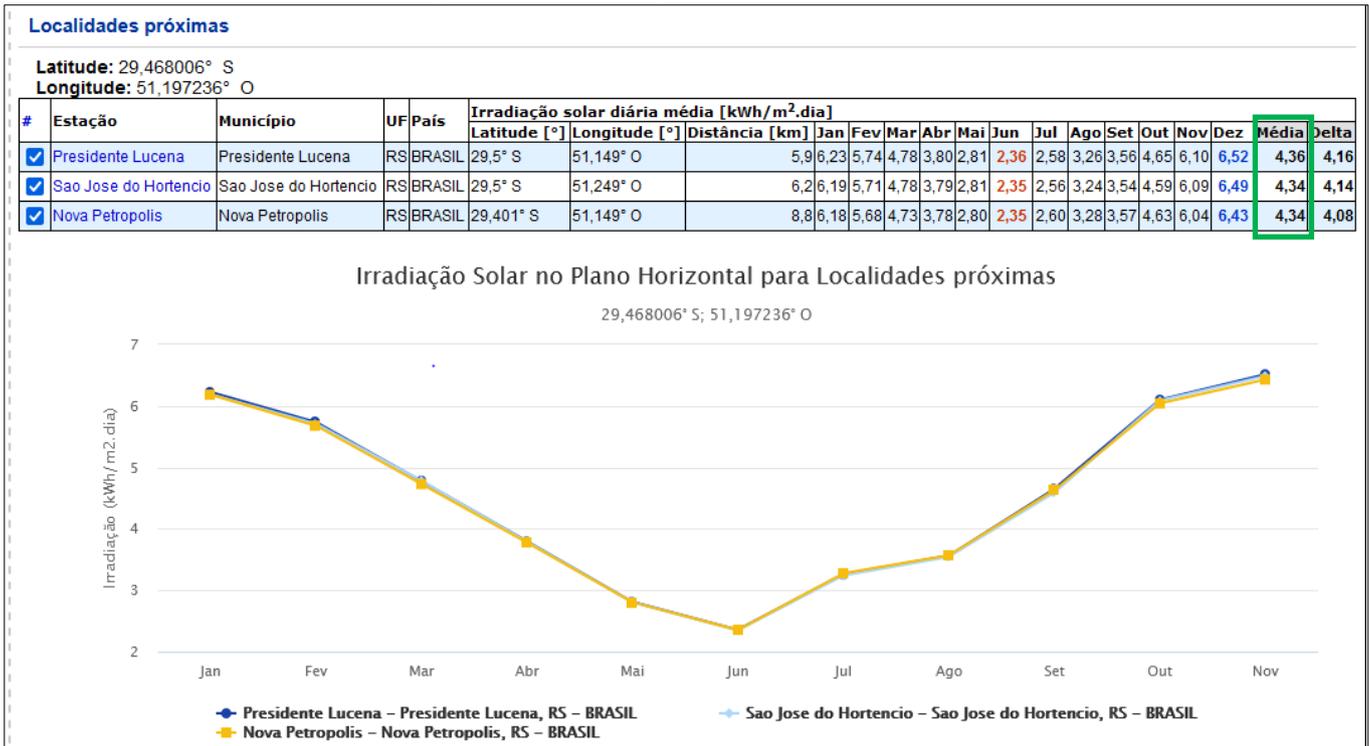
Também é importante mencionar que, para que a condição de ausência de sombreamento se mantenha, recomenda-se que a Administração imponha restrições quanto à urbanização vertical de áreas vizinhas aos prédios onde forem instalados módulos fotovoltaicos, nas legislações, a citar: plano diretor, código de obras, diretrizes de uso e parcelamento do solo, e relacionadas.

Ademais, considerando que o Município é proprietário de todas as áreas onde se situam os prédios avaliados e dos entornos, até uma distância segura, essa não deve ser uma questão que traga qualquer impasse em um futuro próximo.

3.3.2.2 Verificação das Condições de Irradiação

Dando sequência, partiu-se para análise das condições de irradiação solar da região de interesse. Para isso foram coletados dados disponibilizados pelo CRESESB – Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica (2022), através do programa SunData v 3.0. Esses dados são trazidos na Figura 19.

Figura 19: Irradiação solar no plano horizontal



Fonte: CRESESB, 2022 (dados de 2017)

A Figura 19 mostra que a média diária anual a ser considerada para o pré-dimensionamento é de 4,35 kWh/dia. O programa SunData não possui, na base de dados, as informações de irradiação para o Município de Linha Nova, e, neste caso, mostrou os mesmos valores para os três municípios mais próximos e imediatamente vizinhos, sendo esses dados considerados adequados para aplicação ao estudo de caso.

Foram utilizadas as informações de irradiação em plano horizontal, tal qual as imagens aéreas coletadas, considerando que em futura análise estrutural completa, quando da realização dos projetos definitivos para o sistema, eles possam contemplar a exata inclinação dos telhados escolhidos e com base nelas obter os valores de irradiação e tempo de exposição de bases de dados mais precisas, como através de softwares, por exemplo, capazes de especificar a irradiação exata de acordo com as coordenadas geográficas de cada prédio escolhido.

3.3.3 Pré-Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico – Etapa 3

Continuando o estudo e de posse das informações necessárias, foi realizado o pré-dimensionamento de um sistema fotovoltaico que atendesse à demanda total do estudo de caso, no intuito de identificar os aspectos mais relevantes a considerar e

buscando, com isso, realizar uma estimativa de valores e quantidades capazes de demonstrar a viabilidade técnico-financeira da implantação desse sistema. Vale mencionar que o dimensionamento detalhado e definitivo, o qual será o documento base para execução e instalação do sistema, deverá ser realizado quando da elaboração de Projeto composto por: projeto básico, planilhas orçamentárias com especificação de todos os materiais, serviços e valores totais, plantas com detalhamentos e orientações para execução, projeto elétrico, dentre outros.

Na Tabela 03, são mostrados os dados do pré-dimensionamento feito juntamente com algumas observações.

Tabela 03: Dados de Pré-Dimensionamento

Item	Parâmetros	Valores	Grandeza	Memória de Cálculo
A	Consumo médio mensal calculado	47.000	kWh/mês	Observações
B	Consumo médio mensal calculado	47.000.000	Wh/mês	Observações
C	Irradiação diária média	4,35	kWh/m ² . dia	Observações
D	Tempo de exposição mensal estimado	130,50	h/mês	Observações
E	Performance média conforme o fabricante	91,47	%	Média de 98% e 84,95%
F	Potência total estimada	393.739,21	Wp	$\left[\left(\frac{A}{30} \right) / (C * E) \right] * 1000$
G	Potência do módulo escolhido	555	Wp	Observações
H	Dimensões do módulo	2384 x 1056	mm	Anexo I
I	Área do módulo	2,52	m ²	Altura * Largura
J	Peso do módulo	32,3	kg	Anexo I
K	Quantidade de módulos estimada	710	unidade	F / G
L	Área total estimada	1.787	m ²	I * K
M	Peso total estimado	22.933	kg	J * K
N	Sobrepeso estimado para a estrutura	12,83	kg/m ²	M / L

Observações:

Item A e B: consumo médio mensal conforme verificado na Etapa 1 deste trabalho;

Item C: quantidade média de horas por dia em que as condições de irradiação são consideradas favoráveis, observando dados ao longo de um ano, conforme sistema SunData v 3.0 (Figura 19);

Item D: quantidade de horas de irradiação para um mês padrão de 30 dias;

Item E: percentual médio de performance do módulo escolhido, conforme informação técnica do fabricante, constante no Anexo I deste trabalho;

Item G: potência do módulo escolhido, considerando a performance média garantido pelo fabricante, ao longo de um horizonte de 30 anos (tempo de garantia). Vide as especificações técnicas constantes no Anexo I;

Item H, I e J: medidas de altura, largura, área e peso do módulo escolhido, respectivamente;

Item K: quantidade total de módulos estimada conforme potência total do sistema e potência de saída do módulo;

Item L: área total a ser considerada para acomodação do total de módulos estimados;

Item N: sobrepeso calculado para cada metro quadrado de área, considerando o peso individual de cada módulo, o total de módulos estimado e a área total necessária.

Fonte: Autora (2022)

Conforme mostra a Tabela 03, serão necessárias 710 unidades de módulos fotovoltaicos para atender a demanda de consumo médio mensal. Para acomodação desses módulos, será necessária uma área estimada de 1.787 m², e com base nesta informação foram escolhidos os prédios públicos, dentre as opções consideradas, que receberão esses módulos. A Tabela 04 mostra o pré-dimensionamento de acordo com os locais escolhidos.

Tabela 04: Dados de Pré-Dimensionamento por local escolhido

Parâmetros	Centro de Eventos (1.264m ²)		Ginásio Municip. (1.240m ²)	
	Valores	Grandeza	Valores	Grandeza
Quantidade de módulos	355	unidade	355	unidade
Área a ser ocupada	894,6	m ²	894,6	m ²
Peso total	11.466,5	kg	11.466,5	kg
Sobrepeso à cobertura	12,83	kg/m ²	12,83	kg/m ²
Potência total necessária	180.077	Wp	180.077	Wp
Quantidade de inversores	2	unidade	2	unidade
Potência dos inversores	50 a 70	kW	50 a 70	kW

Observações:

- Os locais/prédios foram escolhidos de forma a otimizar a utilização de materiais e equipamentos, sendo que o ideal seria a instalação de todo o sistema em um único local. Como esta não é uma opção, considerando que nenhum dos prédios apresenta uma área do tamanho necessário, foram escolhidos os dois prédios com maior área útil disponível.
- Os modelos de módulo fotovoltaico e de inversor (especificações técnicas conforme Anexos I e II), foram escolhidos levando-se em consideração a marca e/ou fabricante mais utilizado no mercado em 2021, segundo o “Estudo Estratégico: Geração Distribuída 2021 | Mercado Fotovoltaico 2º Semestre - Greener”, (2022).
- A potência e quantidade dos inversores, foram definidas considerando a potência necessária a ser atendida em cada prédio.

Fonte: Autora (2022)

Os prédios do Ginásio Municipal e do Centro de Eventos foram escolhidos levando-se em consideração a maior área útil dentre todos, o que permite que o sistema seja instalado no menor número de locais possível, de forma a otimizar as quantidades de materiais e equipamentos. Ademais, o pré-dimensionamento também mostrou que as coberturas dos prédios escolhidos, receberão um sobrepeso de $12,83 \text{ kg/m}^2$, o que torna necessária uma verificação das estruturas de cobertura dos telhados, a fim de assegurar que elas tenham condições de receber o peso adicional, sem qualquer implicação de segurança para a edificação.

Como o objetivo do presente trabalho é a apresentação de um estudo, em caráter preliminar, uma análise estrutural detalhada não vem ao caso neste momento, e sendo assim, partiu-se do princípio de que as estruturas metálicas que compõem ambas as coberturas dos prédios escolhidos foram projetadas para suportar um sobrepeso mínimo de 25 kg/m^2 ($0,25 \text{ kN/m}^2$), conforme prevê a ABNT NBR 6120 - Ações para o cálculo de estruturas de edificações (2019). Considerando o atendimento a este sobrepeso mínimo, indicado pela Norma, a sobrecarga de $12,83 \text{ kg/m}^2$ não oferecerá riscos de segurança para as coberturas, bem como para as edificações.

Cabe ressaltar, porém, que é indispensável que uma análise estrutural completa das estruturas que vierem a receber os módulos fotovoltaicos seja feita, como parte integrante dos projetos definitivos, a fim de que se garanta a máxima segurança possível à edificação e seus usuários.

Outro aspecto que merece nota, é o fato de, atualmente, estarem sendo utilizados, por parte dos integradores e projetistas, softwares que realizam o dimensionamento de sistemas fotovoltaicos de forma automática e com níveis de precisão mais apurados. Esse método não foi utilizado neste trabalho pois ele traz a proposta de um estudo que antecede os projetos definitivos, não necessitando de tal nível de precisão e pelo fato de que com os softwares não é possível observar o método de cálculo utilizado, eles somente retornam com os resultados já finalizados o que não permite a apreciação das fontes e bases de dados. Assim, optou-se pela realização do pré-dimensionamento de forma "manual" a fim de garantir o completo entendimento dos resultados obtidos.

Ademais, recomenda-se que, quando da realização dos projetos definitivos, sejam utilizadas tais ferramentas, se disponíveis, para que se obtenham resultados

com máxima precisão, sendo que este pode ser fator determinante para a economicidade do projeto como um todo.

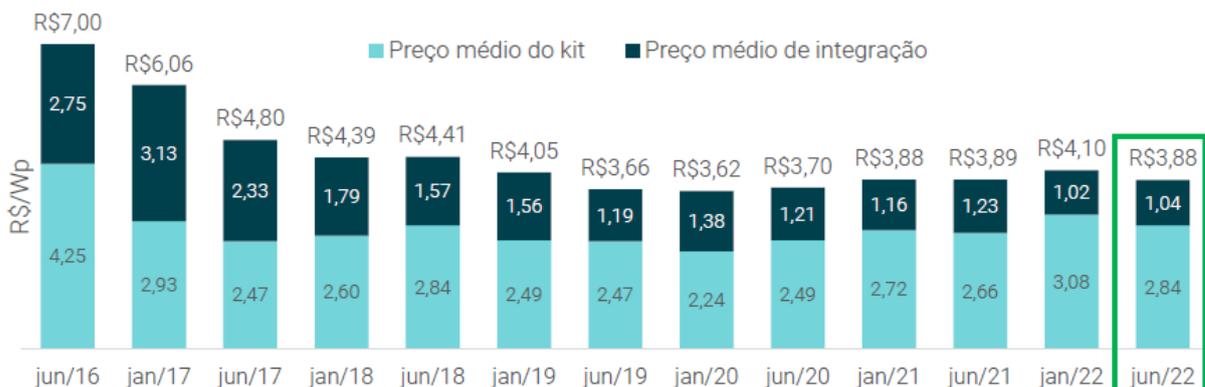
3.3.4 Estimativa de custo total do sistema fotovoltaico – Etapa 4

Esta etapa foi dedicada à estimativa de custo total de um sistema fotovoltaico, nos moldes do que foi pré-dimensionado na etapa anterior. Para obtenção de um valor total, foi necessária uma pesquisa de valores aplicados atualmente pelo mercado de mini e microgeração distribuída, bem como consulta a vários fornecedores, integradores, fabricantes, e demais profissionais da área, a fim de que fossem obtidos valores reais.

Pensando nisso, optou-se em utilizar o valor aplicado atualmente pelo setor fotovoltaico aos consumidores comerciais conforme o “Estudo Estratégico: Geração Distribuída 2022 | Mercado Fotovoltaico 1º Semestre - Greener”, (2022). A escolha pela utilização desses dados se deve ao fato da empresa responsável pelo estudo, a Greener, se tratar de uma empresa do ramo de consultoria, estudos e ferramentas digitais voltada para o setor fotovoltaico, e que realiza semestralmente uma ampla pesquisa de mercado. Tal pesquisa contempla milhares de empresas integradoras, a fim de entender os rumos do mercado fotovoltaico na geração distribuída no Brasil e compartilhar dados e informações estratégicas com todos os profissionais e entusiastas dessa área.

Através da Figura 20, pode-se observar a evolução dos preços praticados pelo mercado fotovoltaico, de acordo com o referido estudo.

Figura 20: Evolução dos preços de sistemas FV - Comercial



Fonte: Greener, 2022.

Sendo assim, considerou-se o valor de 3,88 R\$/Wp, conforme a figura acima, como adequado para a estimativa de custo total do sistema. Aplicando-se, portanto, este valor a uma potência total dimensionada em 393.739,21 Wp (Tabela 03), chegou-se a um custo total de R\$ 1.527.708,13, para o sistema fotovoltaico pré-dimensionado na Etapa 3. Para fins de facilitação dos cálculos da próxima etapa, assumiu-se o valor total estimado arredondado para R\$ 1.530.000,00 (um milhão e quinhentos e trinta mil reais).

Conforme o estudo utilizado para a estimativa de custo do sistema, são considerados no valor de R\$/Wp o preço médio de materiais que compõem o kit do sistema fotovoltaico e o preço médio de integração. Valores relativos a possíveis adequações quando da instalação de subestações deverão ser estimados em futuro projeto elétrico necessário.

3.3.5 Análise Financeira – Viabilidade e Tempo de Retorno – Etapa 5

Neste ponto, conforme definido na sequência de procedimentos deste estudo, foi realizada uma análise financeira pela perspectiva do método de Payback Simples, amplamente utilizado para determinação da viabilidade financeira e tempo de retorno estimado para o investimento total a ser aplicado. Para aplicação do método, foram considerados os mesmos dados de consumo mensal mostrados no Gráfico 1 (pág. 52). Essa informação foi importante para a elaboração de um gráfico que mostrasse a evolução em que ocorrerá o retorno sobre o investimento ao longo do tempo.

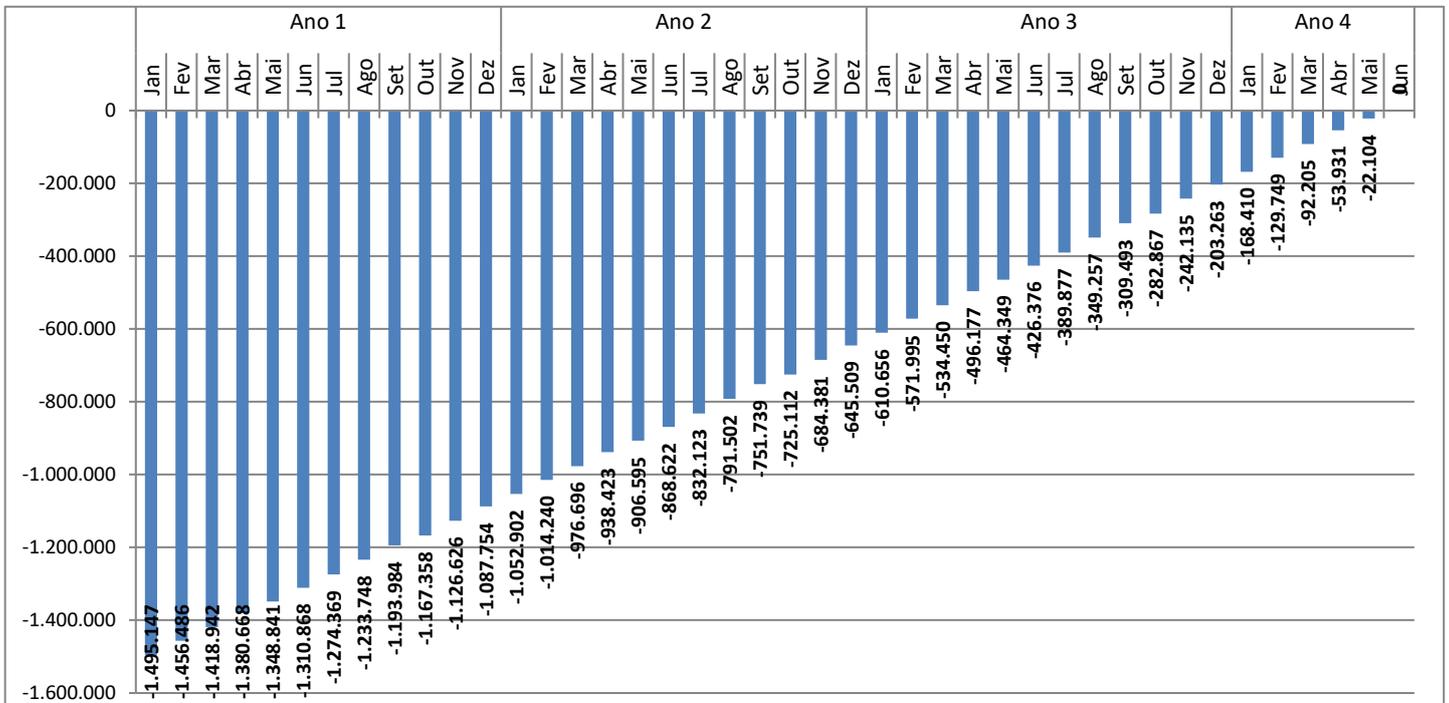
Sendo assim, dando sequência ao cálculo foi necessária a verificação do valor do kWh aplicado atualmente pela concessionária de energia. Conforme verificado junto às faturas de energia mais recentes (outubro de 2022), o valor cobrado é de 0,7756 R\$/kWh consumido, inclusos os impostos e considerada bandeira tarifária verde.

Vale ressaltar que apesar de terem sido considerados dados de 2019 para o cálculo da média de consumo mensal, o mesmo critério não pôde ser aplicado ao valor do kWh, em função de que os valores praticados nesse ano (2019) estariam discrepantes em relação aos valores praticados atualmente pela concessionária o que potencialmente causaria erros quando da análise financeira pretendida. Na

sequência, sabendo os valores de kWh a considerar, foi possível o cálculo do tempo de retorno do investimento.

Foram levados em consideração também os valores fixos que precisam continuar sendo pagos pelo Município, a título de taxa de disponibilidade, por conta da necessidade de conexão de todas as UCs à rede da concessionária. Tais valores foram estimados, considerando as quantidades de kWh mencionadas na Tabela 02 (pág. 50). O Gráfico 02 mostra a evolução do retorno do investimento (Payback Simples) ao longo do tempo.

Gráfico 02: evolução do Payback Simples ao longo do tempo



Fonte: Autora (2022)

Os valores observados no Gráfico 2, também podem ser encontrados com mais detalhes no Anexo III deste trabalho.

Conforme é possível ver acima, o tempo de retorno do investimento inicial ficou em torno de 3,5 anos. Para o cálculo foram acrescidos 10% ao valor do kWh, considerando que até a instalação e funcionamento do sistema os valores aplicados pela concessionária tenham sido reajustados. No entanto o mesmo percentual de reajuste não foi aplicado a cada doze meses, por conta do fato de ser imprecisa a previsão de qualquer aumento dos valores de mercado para o kWh, sendo que fatores como a inflação e as tarifas aplicadas podem variar de acordo com diversas

influências, impossíveis de precisar no momento. Vale ressaltar, porém, que qualquer aumento nos valores praticados pela concessionária só afetariam a projeção no sentido de encurtar ainda mais o tempo de retorno já estimado, tornando os resultados de Payback Simples apenas mais satisfatórios.

Para a estimativa do tempo de retorno do investimento foram utilizados os dados reais de consumo observados no ano de 2019, pelo fato deles terem sido utilizados para o cálculo da média de consumo mensal (47.000 kWh) e para o pré-dimensionamento do sistema fotovoltaico.

Conforme reportagens da Folha de São Paulo (21/02/2022), Exame (16/07/2022) e Extra (21/07/2022), todas veiculadas também pela ABSOLAR, o tempo médio de retorno para os investimentos em sistemas fotovoltaicos para consumidores comerciais, fica em torno de 4 a 7 anos, podendo esse tempo ser menor quanto maior for o consumo de energia, conforme o caso. Sendo assim, o tempo de retorno estimado de 3,5 anos está dentro do que se observa na maioria dos sistemas fotovoltaicos aplicados à UCs comerciais.

3.3.6 Opções de Custeio para o Investimento – Etapa 6

Tendo em mente que o estudo de caso analisado precisará desembolsar um valor total inicial de aproximadamente R\$ 1.530.000,00, nesta etapa foram verificadas as possibilidades de o Município obter verbas para custeio total ou parcial deste valor. Inicialmente, entrou-se em contato com um setor de captação de recursos da própria Administração municipal a fim de entender como esse valor poderia ser viabilizado. Como retorno, foi informado que atualmente a única opção válida seria a obtenção de verbas junto a deputados de quaisquer das casas parlamentares estaduais e/ou federais.

Segundo a própria Administração, a alguns anos os Ministérios, vinculados ao Poder Executivo Federal, eram responsáveis por boa parte da destinação de recursos através de programas, dos mais variados seguimentos, onde os Municípios poderiam ser contemplados quando do encaminhamento de algum projeto relacionado ao programa em questão. Porém, esse sistema de distribuição não é mais praticado e, no cenário político atual, os recursos são repassados aos parlamentares pra que eles deem destinação da forma que lhes aprouver.

Neste caso, para o custeio do valor inicial do sistema fotovoltaico, o Município poderia solicitar recursos aos parlamentares eleitos para a legislatura de 2023-2026, pelo estado do Rio Grande do Sul, através do Prefeito Municipal e/ou Vereadores, sendo, porém, a liberação e destinação para tal, completamente dependentes das negociações que estes forem tratar com as respectivas casas legislativas.

Sendo a obtenção ou não de recursos externos, impossível de prever para o momento, por se tratar de assunto unicamente político, em conversa com o setor de Contabilidade da Secretaria da Fazenda do Município, foi informado que se a Administração optasse pela execução e instalação de um sistema fotovoltaico, os valores estimados poderiam ser integralmente custeados com recursos próprios, sendo necessário apenas o correto planejamento e previsão dos valores na Lei de Diretrizes Orçamentárias – LDO e Lei do Orçamento Anual – LOA, para o ano/exercício desejado, com a devida antecedência e seguindo o rito exigido, se tratando do Poder Público municipal que é.

Outra opção de custeio promissora é a submissão do futuro projeto de um sistema fotovoltaico ao PEE – Programa de Eficiência Energética. Segundo o Ministério de Minas e Energia (2022) esse programa tem como objetivo o incentivo a projetos que visem o uso eficiente da energia elétrica, nos mais diversos âmbitos. O PEE, em termos práticos, se trata da obrigatoriedade da destinação anual, pelas concessionárias, de um montante de sua receita líquida para pesquisa e desenvolvimento do setor elétrico, conforme disposto na Lei 991/2000. Para a contemplação, o projeto deve demonstrar a importância e a viabilidade econômica de melhoria da eficiência energética de equipamentos, processos e usos finais de energia. Dentre todos os projetos passíveis de acesso aos recursos repassados pelas concessionárias estão projetos de usinas solares, o que permitiria que o Município de Linha Nova seja apto a concorrer a tais recursos, através do PEE da RGE/CPFL.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De forma geral, atualmente o setor de geração distribuída de energia fotovoltaica está em ascensão exponencial em todas as regiões do Brasil, sendo o estado do Rio Grande do Sul o terceiro dos estados brasileiros o que mais vem ampliando a capacidade instalada. Aliado a isso percebe-se que no último ano (2021) e no ano corrente (2022), os valores praticados pelo mercado através das concessionárias de energia, vem sofrendo com fortes altas sazonais e muita variação/volatilidade das tarifas, o que se deve principalmente às variações climáticas e do volume de chuvas que afetam diretamente a geração de energia pelas hidrelétricas, maiores geradoras de energia do país.

Diante dessa volatilidade de preços e tarifas e sabendo das enormes vantagens que a geração fotovoltaica pode proporcionar quanto a isso, o Município de Linha Nova, estudo de caso avaliado no presente trabalho, está inclinado pela escolha para um sistema solar de geração distribuída, desde que as condições e peculiaridades fossem avaliadas anteriormente a fim de que pudessem ser obtidos valores e quantitativos iniciais, visando, a partir desses resultados, definir pelo prosseguimento ou não para os projetos pertinentes propriamente ditos.

Analisando-se o perfil de consumo de todas as 32 UCs vinculadas ao Município, verificou-se uma necessidade média mensal de 47.000 kWh. A ocorrência de sombreamento e as condições de irradiação solar foram avaliadas e consideradas satisfatórias sendo que a primeira não se mostrou relevante para o estudo. De posse dessas informações foi realizado o pré-dimensionamento de um sistema fotovoltaico capaz de atender à demanda total mensal, chegando-se a uma quantidade de 710 unidades de módulos fotovoltaicos a serem instalados. Esses módulos seriam acomodados, de forma igualitária, nos prédios do Ginásio Municipal e Centro de Eventos (355 módulos em cada), sendo ambos considerados adequados para a acomodação do sistema que ocuparia uma área total de 1.787 m².

Para estimativa de valores para um sistema com estas características, foram consultados estudos que trazem pesquisas abrangentes do segmento fotovoltaico e os valores aplicados atualmente. Com base neles obteve-se o valor total de aproximadamente R\$ 1.530.000,00, necessários para o custeio do sistema, nos moldes do pré-dimensionamento feito.

Após a estimativa do valor total, foi calculado o tempo de retorno para tal investimento, chegando-se ao resultado de 3,5 anos, o que é um tempo curto e, portanto, vantajoso considerando o tempo de vida útil do sistema, estimado em 30 anos. Ademais, o investimento inicial ainda é considerado alto para o estudo de caso, se tratando ele de um Município de pequeno porte.

Pensando em alternativas de custeio dos valores do investimento, constatou-se que além de verbas parlamentares que podem ser pleiteadas pela Administração, junto aos parlamentares das casas legislativas estaduais e federais, existe também a possibilidade do custeio total através de recursos próprios do Município. Portanto tendo-se opções seguras para o dispêndio dos valores iniciais e levando-se em consideração o excelente tempo de retorno do investimento, as condições de instalação de um sistema fotovoltaico de geração de energia são favoráveis, sob todos os aspectos analisados.

Após todas as avaliações é possível concluir que o estudo de caso abordado terá muitas vantagens quando da instalação de um sistema fotovoltaico, sendo ele considerado não somente viável tecnicamente e financeiramente como também vantajoso, ainda mais se for levado em consideração que o Município se tornaria pioneiro na região aderindo a tal iniciativa, limpa e sustentável, servindo de exemplo tanto aos munícipes, como para com a comunidade de forma geral, e contribuindo com a "descarbonização".

Vale mencionar que o presente estudo também mostrou (Anexo III) que os custos fixos com energia seriam reduzidos, em média em 94%. Tal redução permitiria que o Município utilizasse os valores economizados em outras demandas, das mais diversas, em atendimento às necessidades da população.

A Tabela 05, traz um quadro resumo dos resultados deste estudo;

Tabela 05: Quadro resumo dos resultados

Potência total do sistema	393.739,21 Wp
Quantidade de módulos	710 unidades
Área total estimada	1.787 m ²
Locais escolhidos	Ginásio e Centro de Eventos
Valor total estimado	R\$ 1.530.000,00
Payback estimado	3,5 anos

Redução de valor estimada	94,23%
Redução de emissões	-7.116 tCO ₂ (30 anos)
Redução de valores por emissões evitadas	215 R\$/tCO ₂

Fonte: Autora (2022)

4.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Conforme já mencionado, este trabalho não contemplou o âmbito da Lei 14.300/2022 e apesar de ser citada, ela não foi referência para os estudos desenvolvidos. Porém, para trabalhos futuros, indica-se que ela seja observada.

A Lei 14.300/2022, institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS), e foi publicada em 06/01/2022. Ela estabelece, principalmente, as condições para tarifas futuras e assuntos que possam abranger a produção de energia fotovoltaica, começando a produzir seus efeitos em 07/01/2023, abrangendo todos os sistemas fotovoltaicos instalados a partir de então.

Sendo assim, entende-se importante que, para o dimensionamento de sistemas fotovoltaicos, que possam vir a ser elaborados observando-se no todo ou em parte, a sequência de procedimentos adotados neste estudo, sugere-se que a integralidade da Lei 14.300/22 seja observada, considerando a eminência de vigência na data corrente.

Um dos pontos mais importantes a observar, é a mudança da taxa TUSD - Tarifa de Uso dos Sistemas de Distribuição. Até o momento ela não é aplicada aos consumidores donos de sistemas fotovoltaicos, porém a nova lei tornará obrigatório o pagamento de parte dessa taxa referente aos períodos em que não há geração simultânea, para os sistemas instalados a partir de 07/01/2023. Considerando esse fator, o tempo de retorno (Payback) tende a ser diretamente afetado, sobretudo para sistemas de geração remota.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil: Consumo**. Brasília: Aneel, 2008. Disponível em: https://www.fisica.net/energia/atlas_de_energia_eletrica_do_brasul_3a-ed.pdf. Acesso em: 02 mai. 2022.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa N° 687, de 24 de novembro de 2015. **Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição - PRODIST**. Brasília - DF, 24 nov 2015. Consulta em: 14 mai. 2022.

ANEEL. **A Tarifa de Energia Elétrica**. 24 de fevereiro de 2016. Disponível em: <https://antigo.aneel.gov.br/pt/web/guest/tarifas>. Acesso em: 14 mai. 2022.

ANEEL. **Bandeiras Tarifárias**. 24 de novembro de 2015 (atualizado em 19/06/2021). Disponível em: <https://antigo.aneel.gov.br/bandeiras-tarifarias>. Acesso em: 14 mai. 2022.

ANEEL. **Classes de Consumo**. 24 de novembro de 2015 (atualizado em 15/03/2016). Disponível em: https://antigo.aneel.gov.br/web/guest/alta-tensao-itens/-/asset_publisher/zNaRBjCLDgbE/content/classe/654800?inheritRedirect=false&redirect=https%3A%2F%2Fantigo.aneel.gov.br%2Fweb%2Fguest%2Falta-tensao-itens%3Fp_p_id%3D101_INSTANCE_zNaRBjCLDgbE%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-2%26p_p_col_pos%3D2%26p_p_col_count%3D3. Acesso em: 14 mai. 2022.

ANEEL. **Modalidades Tarifárias**. 20 de novembro de 2015 (atualizado em 16/01/2020). Disponível em: https://antigo.aneel.gov.br/web/guest/alta-tensao-itens/-/asset_publisher/zNaRBjCLDgbE/content/modalidade/654800?inheritRedirect=false&redirect=https%3A%2F%2Fantigo.aneel.gov.br%2Fweb%2Fguest%2Falta-tensao-itens%3Fp_p_id%3D101_INSTANCE_zNaRBjCLDgbE%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-2%26p_p_col_pos%3D2%26p_p_col_count%3D3. Acesso em: 14 mai. 2022.

ANEEL. **Postos Tarifários**. 24 de novembro de 2015 (atualizado em 16/01/2020). Disponível em: <https://antigo.aneel.gov.br/postos-tarifarios>. Acesso em: 14 mai. 2022.

ANEEL. **Regulação dos Serviços de Distribuição**. 27 de novembro de 2015 (atualizado em 06/09/2018). Disponível em: <https://antigo.aneel.gov.br/web/guest/regulacao-dos-servicos-de-distribuicao>. Acesso em: 22 de abr. 2022.

ANEEL. **Tarifa Branca**. 24 de novembro de 2015 (atualizado em 16/01/2020). Disponível em: <https://antigo.aneel.gov.br/tarifa-branca>. Acesso em: 14 mai. 2022.
ANEEL; ABSOLAR. **Energia Solar Fotovoltaica no Brasil. Infográfico ABSOLAR**. 24 de novembro de 2020. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/wp->

content/uploads/2021/02/2020.11.24%20Infogr%C3%A1fico%20ABSOLAR%20n%C2%BA%2025.pdf. Acesso em: 02 mai. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6120 - Ações para o cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

BBCNEWS. **Os gráficos que mostram que mais da metade das emissões de CO2 ocorreram nos últimos 30 anos - BBC News Brasil**. Disponível em: <<https://www.bbc.com/portuguese/geral-59013520#:~:text=Cerca%20de%2086%25%20das%20emiss%C3%B5es,produ%C3%A7%C3%A3o%20de%20energia%20e%20materiais.>>. Acesso em: 10 dez. 2022.

BEZERRA, Francisco D. **Energia Solar. Potencial e Evolução do Mercado de Geração Solar**. Caderno Setorial ETENE, Ano 6, Nº 174. Julho de 2021. Disponível em: https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/834/1/2021_CDS_174.pdf. Acesso em: 02 mai. 2022.

BNDES.IMPrensa. **Programa Fundo Clima – Ferramenta de Cálculo de redução de GEE's**. Disponível em: <<https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/fundo-clima/ferramenta-calculo-reducao>>. Acesso em: 30 nov. 2022.

BOUHID, Carlos. **Mudança na regulamentação de energia solar: o que você precisa saber?**. 30 de abril de 2019. Disponível em: <https://yellot.com.br/energia-solar-fotovoltaica/mudanca-na-regulamentacao-de-energia-solar-o-que-voce-precisa-saber/>. Acesso em: 14 mai. 2022.

BRASIL, MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2031. Micro e Minigeração Distribuída**. 2022. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Documents/PDE%202031_RevisaoPosCP_rvFinal_v2.pdf. Acesso em 14 jun. 2022.

BRASILIA. **Lei nº 14.300. Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS); altera as Leis nºs 10.848, de 15 de março de 2004, e 9.427, de 26 de dezembro de 1996; e dá outras providências**. Art. 1º. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/L14300.htm. Acesso em: 20 de mai. 2022.

CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA – CEPEL. **Guia para eficiência energética nas edificações públicas**. Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: https://servicoscorporativos.es.gov.br/Media/ServicosCorporativos/Efici%C3%Aancia%20energ%C3%A9tica/GUIA%20EFIC%20ENERG%20EDIF%20PUBL_v1%200_12-02-2015_Completo.pdf. Acesso em: 24 mai. 2022.

COLAFERRO, Luis. **Energia Solar no Brasil: um Panorama para [Você] Entender Tudo**. Blue Sol Energia Solar. Disponível em: <https://blog.bluesol.com.br/energia-solar-no-brasil-panorama/>. Acesso em: 11 abr. 2022.

CPFL ENERGIA. **Entenda sua Conta – ACL**. Disponível em: <https://www.cpf.com.br/empresas/entenda-sua-conta-acl>. Acesso em: 18 mai. 2022.

CPFL ENERGIA. **Entenda sua Conta – ACR**. Disponível em: <https://www.cpf.com.br/empresas/entenda-sua-conta-acr>. Acesso em: 18 mai. 2022.

CPFL. **Como a energia elétrica chega até sua casa**. Disponível em: <https://www.grupocpf.com.br/energias-sustentaveis/como-energia-eletrica-chega-ate-sua-casa>. Acesso em: 14 mai. 2022.

CRESESB-Centro de Referência para Energia Solar e Eólica. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata&>. Acesso em: 25 out. 2022.

DUARTE, Odilon. **5 formas de melhorar a eficiência energética em empresas e indústrias**. 2021. Disponível em: <https://www.pucrs.br/blog/5-formas-de-melhorar-a-eficiencia-energetica-em-empresas-e-industrias/>. Acesso em: 24 mai. 2022.

EOA ENERGIAS RENOVÁVEIS. **Demanda contratada: o que é, como funciona e tudo que você precisa saber!**. 04 de novembro de 2020. Disponível em: <https://www.ecoenergias.com.br/demanda-contratada/>. Acesso em 17 mai. 2022.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Demanda de Energia 2050. Geração distribuída de grande porte**. Rio de Janeiro: janeiro de 2016. P. 220. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-458/DEA%2013-15%20Demanda%20de%20Energia%202050.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2022.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Eficiência Energética**. 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/eficiencia-energetica>. Acesso em: 24 mai. 2022.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Fontes de Energia**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/fontes-de-energia>. Acesso em: 20 mar. 2022.

ENENTEC/UnB. **O que significa Energia Reativa Excedente (EREX)? Entenda o que é a Energia Reativa Excedente e como ela pode afetar de maneira significativa a saúde financeira do seu estabelecimento**. Consultoria em Engenharia Elétrica. Universidade de Brasília - Laboratório de Engenharia Elétrica. Disponível em: <https://enetec.unb.br/blog/o-que-significa-energia-reativa-excedente-erex/>. Acesso em 18 mai. 2022.

Energia solar em casa leva de 4 a 7 anos para dar retorno; entenda - ABSOLAR. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/noticia/energia-solar-em-casa-leva-de-4-a-7-anos-para-dar-retorno-entenda/>. Acesso em: 10 nov. 2022.

Energia solar: investimento em painéis gera economia de 95% na conta de luz - ABSOLAR. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/noticia/energia-solar->

investimento-em-paineis-gera-economia-de-95-na-conta-de-luz/>. Acesso em: 10 nov. 2022.

Estamos no melhor momento para investir em energia solar? - ABSOLAR. Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/noticia/estamos-no-melhor-momento-para-investir-em-energia-solar/>>. Acesso em: 10 nov. 2022.

Estudo Estratégico: Geração Distribuída 2021 | Mercado Fotovoltaico 2º Semestre - Greener. Disponível em: <<https://www.greener.com.br/estudo/estudo-estrategicogeracao-distribuida-2021-mercado-fotovoltaico-2-semester/>>. Acesso em: 25 out. 2022.

Estudo Estratégico: Geração Distribuída 2022 | Mercado Fotovoltaico 1º Semestre - Greener. Disponível em: <<https://www.greener.com.br/estudo/estudo-estrategico-geracao-distribuida-2022-mercado-fotovoltaico-1-semester/>>. Acesso em: 25 out. 2022.

FILIPPE, Mariana. **Energia solar fotovoltaica: Brasil é o 4º país que mais cresceu em 2021**. Revista Exame. 20 de abril de 2022. Disponível em: <https://exame.com/esg/energia-solar-fotovoltaica-brasil-e-o-4o-pais-que-mais-cresceu-em-2021/>. Acesso em: 02 mai. 2022.

FINKLER, Alessandro; FINKLER, Douglas R.; CASTRO, Jorge L. Silva da.; MILKE, Tafarel F. **Relação do Crescimento Econômico e Consumo de Energia Elétrica**. XXIV Seminário de Iniciação Científica. 2016. Disponível em: <https://www.publicacoeseventos.unijui.edu.br/index.php/salaconhecimento/article/download/7237/6007>. Acesso em: 17 mai. 2022.

FRANCO, Ana Paula. **Governo dos EUA quer aumentar a participação da fonte solar de 4% para 45% até 2050**. 9 de setembro de 2021. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/governo-dos-eua-quer-aumentar-a-geracao-de-energia-solar-de-4-para-45-ate-2050/>. Acesso em: 17 mai. 2022.

FUNDAÇÃO INSTITUTO DE ADMINISTRAÇÃO – FIA. **Acordo de Paris: o que é, como surgiu e tratados ambientais**. 31 de janeiro de 2020. Disponível em: <https://fia.com.br/blog/acordo-de-paris/>. Acesso em: 14 mai. 2022.

FUNDAÇÃO INSTITUTO DE ADMINISTRAÇÃO – FIA. **Energia limpa: o que é, vantagens e exemplos**. 9 de novembro de 2020. Disponível em: <https://fia.com.br/blog/energia-limpa/>. Acesso em: 10 mar. 2022.

GEROMEL, Ricardo. **O Poder da China: o que você precisa saber sobre o país que mais cresce em bilionários e unicórnios. As Ferramentas Básicas para Decodificar a China: Velocidade**. São Paulo: Gente, 2019. Acesso em: 10 mar. 2022.

GLOBAL CARBON PROJECT. **Global Carbon Budget 2021. CO2 emissions rebound towards pre-COVID levels**. 2021. Disponível em: https://www.globalcarbonproject.org/global/images/carbonbudget/Infographic_Emissions2021.pdf. Acesso em: 03 mar. 2022.

GRUPO DE ESTUDOS DO SETOR ELÉTRICO - GESEL; UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO – UFRJ. **Perspectivas e Desafios da Difusão da Micro e da Mini Geração Solar Fotovoltaica no Brasil**. Rio de Janeiro: Publit, 2016. Disponível em: http://gesel.ie.ufrj.br/app/webroot/files/publications/12_TDSE67.pdf. Acesso em: 14 mai. 2022.

GUEVARA, Aline. **Energia solar: vantagens e desvantagens**. 29 de dezembro de 2021. Canal Solar. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/energia-solar-vantagens-e-desvantagens/>. Acesso em: 12 mai. 2022.

ABSOLAR - **Infográfico**. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>. Acesso em: 17 nov. 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA – INEE. **O que é Geração Distribuída**. Disponível em: http://www.inee.org.br/forum_ger_distrib.asp. Acesso em: 22 abr. 2022.

MALAR, João Pedro; HERÉDIA, Thais. **Em 13º entre maiores economias, PIB do Brasil fica abaixo de média global**. 04 mar. 2022. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/business/em-13o-entre-maiores-economias-pib-do-brasil-fica-abaixo-de-media-global/#:~:text=Segundo%20o%20levantamento%2C%20os%20Estados,tr%C3%AA s%20anos%20e%20superou%20%C3%8Dndia>. Acesso em 15 mai. 2022.

MINHA CASA SOLAR. **06 tipos de painéis solares para você escolher o seu!**. 23 de outubro de 2018. Disponível em: <http://blog.minhacasasolar.com.br/tipos-de-paineis-solares/>. Acesso em 18 mai. 2022.

MINHA CASA SOLAR. **Qual a manutenção dos painéis solares?**. 02 de outubro de 2018. Disponível em: <http://blog.minhacasasolar.com.br/manutencao-dos-paineis-solares/>. Acesso em 18 mai. 2022.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME. **Modalidades Tarifárias**. 24 de fevereiro de 2022 (atualizado em 11/03/2022). Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/tarifas/entenda-a-tarifa/modalidades-tarifarias>. Acesso em: 13 abr. 2022.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME. **Relatório do Grupo de Trabalho da Modernização do Setor Elétrico**. Outubro de 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/secretaria-executiva/modernizacao-do-setor-eletrico/arquivos/pasta-geral-publicada/relatorio-do-gt-modernizacao-do-setor-eletrico.pdf>. Acesso em: 18 mai. 2022.

NAÇÕES UNIDAS. **Causas e Efeitos das Mudanças Climáticas**. 2022. Disponível em: <https://www.un.org/pt/climatechange/science/causes-effects-climate-change>. Acesso em 15 mai. 2022.

NAÇÕES UNIDAS. **Causas e Efeitos das Mudanças Climáticas**. Disponível em: <https://www.un.org/pt/climatechange/science/causes-effects-climate-change>. Acesso em: 15 mai. 2022.

NASSA, Thiago; NETO, Siqueira de Moraes; MAYER, Rodolfo; CASARIN, Ricardo; GIOVANNA, Rafaela; MAYER, Fred; PINHEIRO, Cristiane; VIALI, Andrea; DORANTE, Adriana. **Brasil já tem 900 projetos de geração solar em órgãos públicos, diz ministro de Minas e Energia**. 25 de maio de 2020. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/brasil-ja-tem-900-projetos-de-geracao-solar-em-orgaos-publicos-diz-ministro-de-minas-e-energia.html>. Acesso em: 20 mai. 2022.

NG SOLAR. **Vantagens e desvantagens da energia solar**. 02 de janeiro de 2022. Disponível em: <https://www.ngsolar.com.br/single-post/vantagens-e-desvantagens-energia-solar>. Acesso em: 18 mai. 2022.

PALZ, Wolfgang. **Energia Solar e Fontes Alternativas. Geradores Fotovoltaicos Descentralizados**. Curitiba: Hemus, 2002. Consulta em 15 mai. 2022.

PALZ, Wolfgang. **Energia Solar e Fontes Alternativas. Perspectivas de Utilização de Eletricidade Solar Fotovoltaica**. Curitiba: Hemus, 2002. Consulta em 15 mai. 2022.

PEREIRA, Enio Bueno. **Atlas brasileiro de energia solar. Potencial e perspectivas da geração fotovoltaica distribuída (GD)**. 2.ed. -- São José dos Campos : INPE, 2017. Disponível em: https://cenariossolar.editorabrasilenergia.com.br/wp-content/uploads/sites/8/2020/11/Atlas_Brasileiro_Energia_Solar_2a_Edicao_compressed.pdf. Acesso em: 17 mai. 2022.

PINHEIRO, Cristiane. **IEA prevê crescimento de 30% do uso de energia solar no mundo em 2022**. 02 de maio de 2021. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/noticias/mercado/internacional/iea-preve-crescimento-de-30-do-uso-de-energia-solar-no-mundo-em-2022>. Acesso em: 14 mai. 2022.

POLIQUEZI, Augusto. **Eficiência Energética. Série de Cadernos Técnicos da Agenda Parlamentar**. 2016. Disponível em: <https://www.crea-pr.org.br/ws/wp-content/uploads/2016/12/eficiencia-energetica.pdf>. Acesso em: 24 mai. 2022.

PORTAL SOLAR. **Como instalar energia solar: passo a passo**. 2022. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/como-instalar-energia-solar.html>. Acesso em: 15 mai. 2022.

PORTAL SOLAR. **História e origem da Energia Solar**. 2022. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/historia-e-origem-da-energia-solar>. Acesso em: 15 mai. 2022.

PORTAL SOLAR. **Tipos de sistemas fotovoltaicos**. 2022. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/tipos-de-sistemas-fotovoltaicos>. Acesso em: 17 mai. 2022.

PROJETO FOTOVOLT. **Normas técnicas para instalação de energia solar fotovoltaica**. Disponível em: <https://projetofotovolt.com.br/blog/normas-tecnicas-energia-solar-fotovoltica/>. Acesso em: 20 mai. 2022.

ROSA, Robson O. da.; GASPARIN, Fabiano P. **Panorama da energia solar fotovoltaica no Brasil**. Revista Brasileira de Energia Solar. 05 de janeiro de 2017. Disponível em: <https://rbens.emnuvens.com.br/rbens/article/view/157>. Acesso em: 14 mai. 2022.

SCHUBERT, Camargo. **Atlas solar: Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: SEMERS, 2018. Consulta em 14 mai. 2022.

SILVA, R. M. **Energia Solar no Brasil: dos incentivos aos desafios. Incentivos à Energia Solar no Brasil**. Brasília: Núcleo de Estudos e Pesquisas / CONLEG / Senado, Fevereiro de 2015 (Texto para Discussão nº 166). Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/publicacoes/estudos-legislativos/tipos-de-estudos/textos-para-discussao/td166>. Acesso em: 14 mai. 2022.

SOLAR POWER EUROPE. **Global Market Outlook For Solar Power**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://api.solarpowereurope.org/uploads/Solar_Power_Europe_Global_Market_Outlook_report_2022_2022_V2_07aa98200a.pdf>. Acesso em: 21 nov. 2022.

SOUSA, Rafaela. **Energia Solar**; Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/energia-solar.htm>. Acesso em 22 de maio de 2022.

TOLEDO, Thiago; CARNEIRO, Priscila. **Matriz Energética Mundial**. Fundação Getúlio Vargas – FGV; BP Statistical Review. Out. 2020. Disponível em: [https://fgvenergia.fgv.br/dados-matriz-energetica#:~:text=Matriz%20Energ%C3%A9tica%20Mundial%20\(BP%20Statistical%20Review%202020\)&text=Os%20energ%C3%A9ticos%20de%20origem%20f%C3%B3ssil,s%C3%A3o%20grandes%20emissores%20de%20GEE](https://fgvenergia.fgv.br/dados-matriz-energetica#:~:text=Matriz%20Energ%C3%A9tica%20Mundial%20(BP%20Statistical%20Review%202020)&text=Os%20energ%C3%A9ticos%20de%20origem%20f%C3%B3ssil,s%C3%A3o%20grandes%20emissores%20de%20GEE). Acesso em: 15 mai. 2022.

UNIVERSIDADE TRISUL. **Como é feita a distribuição de energia elétrica no Brasil?**. Disponível em: <https://www.universidadetrisul.com.br/etapas-construtivas/como-e-feita-a-distribuicao-de-energia-eletrica-no-brasil>. Acesso em: 15 mai. 2022.

VALOREASY. **Análise de Investimentos: O que é e seus principais métodos de avaliação**. 22 de abril de 2020. Disponível em: <https://valoreasy.com.br/blog/analise-de-investimentos/>. Acesso em: 24 mai. 2022.

VILLALVA, Marcelo Gradella. **Energia solar fotovoltaica**. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2015. 224 p.

Anexo I – Especificações técnicas do módulo fotovoltaico escolhido

Vertex

MÓDULO MONOCRISTALINO BIFACIAL DE VIDRO DUPLO

PRODUTO: TSM-DEG19C.20

FAIXA DE POTÊNCIA: 530-555W

555W

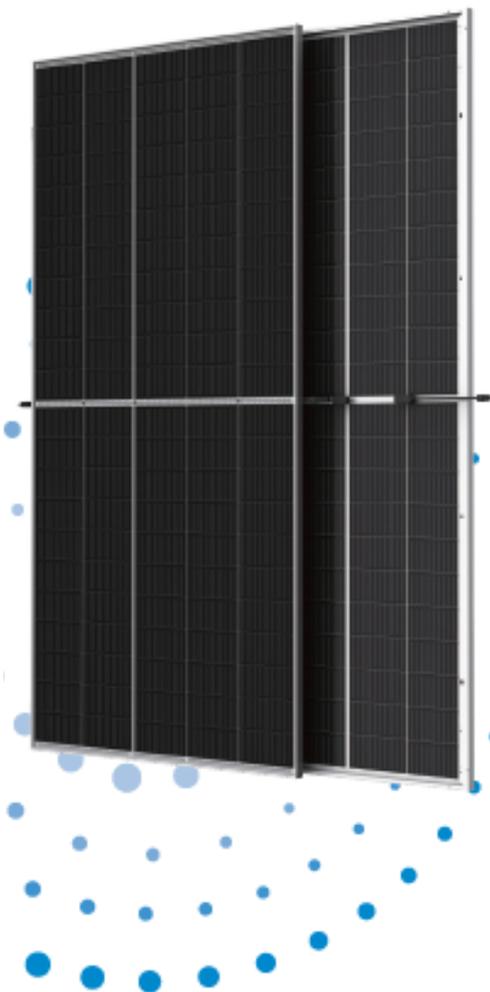
POTÊNCIA MÁXIMA

0~+5W

TOLERÂNCIA POSITIVA

21.2%

EFICIÊNCIA MÁXIMA



Alto valor agregado

- Menor LCOE (Custo Nivelado de Energia), valor reduzido de CAPEX, tempo de payback reduzido.
- Menor taxa de degradação anual garantida para o primeiro ano e anual.
- Compatibilidade integrada com demais equipamentos de sistemas fotovoltaicos.
- Maior retorno do investimento.



Potência até 555W

- Até 21.2% de eficiência do módulo com tecnologia de interconexão de células de alta densidade.
- Tecnologia multi-busbar para melhores efeitos de captura de luz, menor resistência em série e melhor rendimento do módulo.



Alta confiabilidade

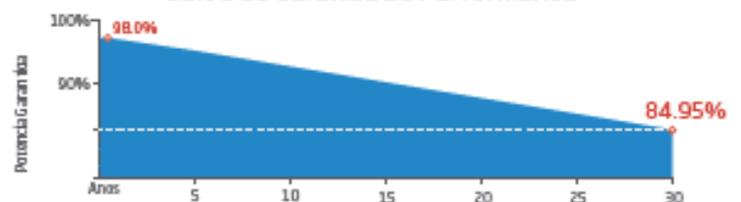
- Tecnologia de corte NDC (non-destructive cutting) para mitigar efeitos de microcracks.
- Resistência PID garantida através do controle de qualidade de processos e matéria-prima.
- Resistente a ambientes severos como sal, amônia, altas temperaturas e alta umidade.
- Resistência a cargas mecânicas até 5400 Pa positiva e 2400 Pa negativa.



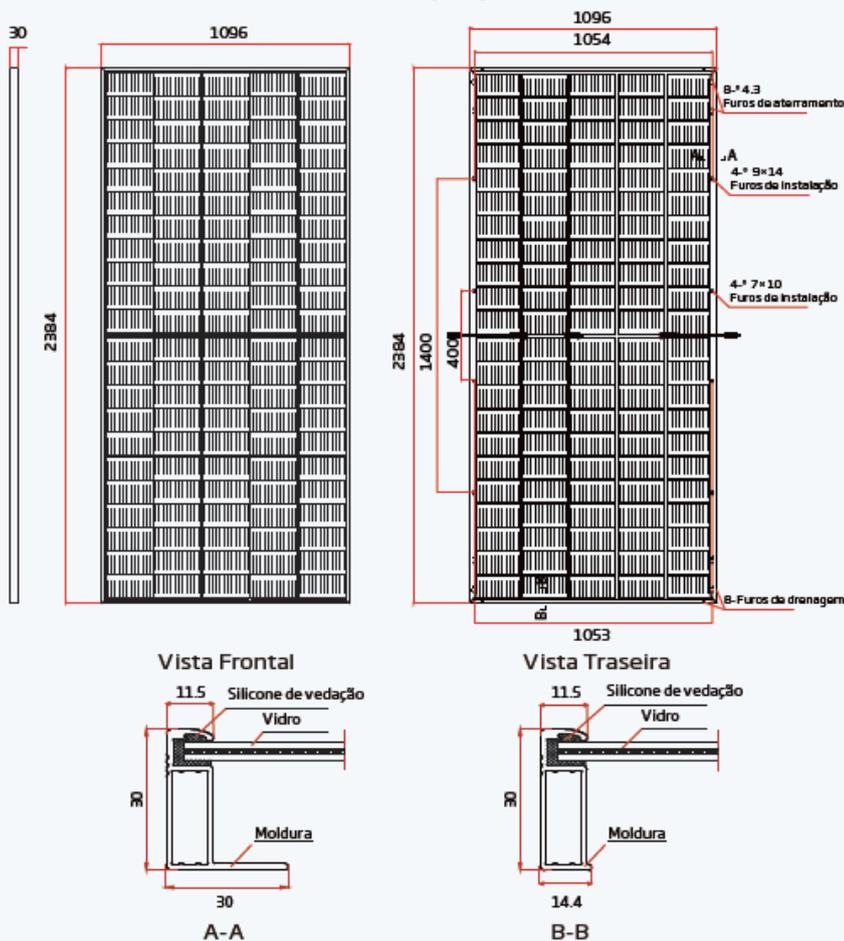
Alto rendimento

- Excelente IAM (Modificador de Ângulo de Incidência) e ótimo desempenho em baixa irradiação, validado por certificadores internacionais.
- O design exclusivo fornece produção otimizada de energia sob condições de sombreamento.
- Baixo coeficiente de temperatura (-0,34%).
- Ganho de até 25% com geração bifacial dependendo do tipo de albedo.

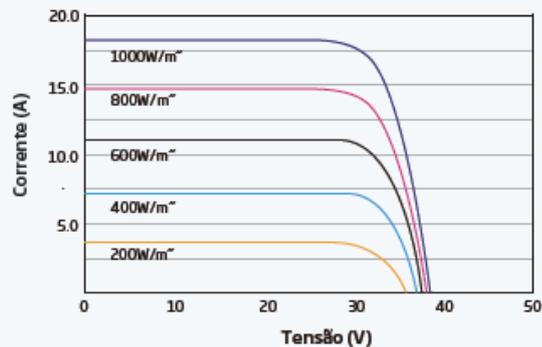
Curva de Garantia de Performance



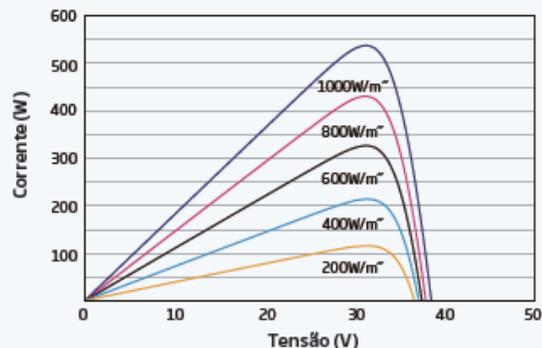
DIMENSÕES DO MÓDULO FOTOVOLTAICO (mm)



CURVAS I - V DO MÓDULO (540 W)



CURVAS P - V DO MÓDULO (540 W)



DADOS ELÉTRICOS (STC)

Potência de Pico - P _{MAX} (Wp)*	530	535	540	545	550	555
Tolerância de Potência - P _{MAX} (W)	0 ~ +5					
Tensão Máxima - V _{MPP} (V)	31.0	31.2	31.4	31.6	31.8	32.0
Corrente Máxima - I _{MPP} (A)	17.11	17.16	17.21	17.24	17.29	17.35
Tensão de Circuito Aberto - V _{OC} (V)	37.3	37.5	37.7	37.9	38.1	38.3
Corrente de Curto Circuito - I _{SC} (A)	18.19	18.24	18.30	18.35	18.39	18.43
Eficiência do Módulo - η (%)	20.3	20.5	20.7	20.9	21.0	21.2

STC: Irradiação 1000W/m², Temperatura de Célula 25°C, Massa de Ar AM1.5. *Tolerância de Medida: ±3%

Características Elétricas para Respectivas Potências (10% de Relação de Irradiação)

Potência de Pico - P _{MAX} (Wp)	567	573	578	583	589	594
Tensão Máxima - V _{MPP} (V)	31.0	31.2	31.4	31.6	31.8	32.0
Corrente Máxima - I _{MPP} (A)	18.31	18.36	18.41	18.45	18.50	18.56
Tensão de Circuito Aberto - V _{OC} (V)	37.3	37.5	37.7	37.9	38.1	38.3
Corrente de Curto Circuito - I _{SC} (A)	19.46	19.52	19.58	19.63	19.68	19.72

Relação de Irradiação (Traseira/Frontal) 10%

Potência Bifacial: 70±5%

DADOS ELÉTRICOS (NOCT)

Potência de Pico - P _{MAX} (Wp)	401	405	409	413	416	420
Tensão Máxima - V _{MPP} (V)	28.8	29.0	29.2	29.4	29.5	29.7
Corrente Máxima - I _{MPP} (A)	13.93	13.97	14.02	14.08	14.10	14.14
Tensão de Circuito Aberto - V _{OC} (V)	35.1	35.3	35.5	35.7	35.9	36.1
Corrente de Curto Circuito - I _{SC} (A)	14.66	14.70	14.75	14.79	14.82	14.85

NOCT: Irradiação 800W/m², Temperatura Ambiente 20°C, Velocidade do Vento 1m/s.

DADOS MECÂNICOS

Células	Monocristalinas
No. de Células	110 células
Dimensões do Módulo	2384×1096×30 mm (93.86×43.15×1.18 polegadas)
Peso	32.3 kg (71.2 lb)
Vidro Frontal	2.0 mm (0.08 polegadas), Alta Transmissão, Anti Reflexo, Termoendurecido
Material Encapsulante	EVA/POE
Vidro Traseiro	2.0 mm (0.08 polegadas), Termoendurecido (Vidro de Grade Branca)
Moldura	30mm (1.18 polegadas) Liga de Alumínio Anodizado
Caixas de Junção	IP 68 rated
Cabos	Cabo de Tecnologia Fotovoltaica 4.0mm ² (0.006 polegadas ²) Retrato: 280/280 mm (11.02/11.02 polegadas) Comprimento customizável
Conector	MC4 EVO2 / TS4*

*Verificar conector com o vendedor local

COEFICIENTES DE TEMPERATURA

NOCT (Temperatura Nominal de Operação de Célula)	43°C (±2°C)
Coefficiente de Temperatura P _{MAX}	-0.34%/°C
Coefficiente de Temperatura V _{OC}	-0.25%/°C
Coefficiente de Temperatura I _{SC}	0.04%/°C

LIMITES DE OPERAÇÃO

Temperatura Operacional	-40 ~ +85°C
Tensão Máxima do Sistema	1500V DC (IEC)
	1500V DC (UL)
Capacidade Máx. do Fusível em Série	35A

GARANTIA

12 anos de garantia de produto
30 anos de garantia de produção de energia
2% de degradação no primeiro ano
0.45% de taxa de degradação anual

(Verificar documento de garantia para maiores detalhes)

EMBALAGEM E TRANSPORTE

Módulos por caixa: 36 unidades
Módulos por container de 40': 720 unidades

Anexo II – Especificações técnicas do inversor escolhido

MAC 50~70KTL3-X LV/MV

- 3 MPPT's
- Diagnóstico inteligente
- Alta eficiência de até 98.8%
- Configuração de WIFI local
- Display OLED e botão de toque
- SPD tipo dois em CC e AC



P O W E R
 - I N G O
 T O M O -
 R R O W O

Growatt

www.ginverter.com

Ficha de dados	MAC 50KTL3-X LV	MAC 50KTL3-X MV	MAC 60KTL3-X LV	MAC 60KTL3-X MV	MAC 70KTL3-X MV
----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------

Dados de entrada

Máx. potência CC	75000W	75000W	90000W	99000W	105000W
Máxima tensão de CC	1100V				
Tensão de partida	250V				
Tensão nominal	600V	700V	600V	700V	700V
Faixa de tensão FV	200V-1000V				
Tensão CC de carga total	600V-850V	650V-850V	600V-850V	650V-850V	650V-850V
Máx. corrente de entrada por MPPT	50A/37.5A/37.5A	50A/37.5A/37.5A	50A/50A/50A	50A/50A/50A	50A/50A/50A
Número de MPPT independentes / strings por MPPT	3/4+3+3	3/4+3+3	3/4+4+4	3/4+4+4	3/4+4+4

Dados de saída (CA)

Potência nominal de saída CA	50000W	50000W	60000W	60000W	70000W
Potência aparente máxima de CA	55500VA	55500VA	66600VA	66600VA	77700VA
Tensão nominal de saída	220V/380V	277V/480V	220V/380V	277V/480V	277V/480V
Frequência de rede CA	50/60 Hz				
Corrente máxima de saída	80,5A	66,9A	96,6A	80,2A	93,6A
Fator de potência	0,8i-0,8c				
THDi	< 3%				
Tipo de conexão da rede CA	3W+N+PE	3W+PE	3W+N+PE	3W+PE	3W+PE

Eficiência

Máxima eficiência	98,8%
Eficiência europeia	98,5%
Eficiência MPPT	99,9%

Dispositivos de proteção

Proteção de polaridade reversa de CC	sim
Interruptor CC	sim
Proteção de sobretensão CC	Tipo II
Monitoramento de falta à terra	sim
Proteção contra curto-circuito de saída	sim
Proteção de sobretensão CA	Tipo II

Dados Gerais

Dimensões (L/A/P)	680/508/281mm
Peso	≤52kg
Faixa de temperatura operacional	- 25°C ... +60°C
Humidade relativa	0~100%
Altitude	4000m
Auto-consumo	<1W
Topologia	Sem transformador
Forma de resfriamento	Arefecimento inteligente
Grau de proteção ambiental	IP65

Características

Exibição	OLED+LED/WIFI+APP
Interfaces:USB/RS485/GPRS /WIFI/4G	sim/sim/opcional/ opcional/opcional

IEC61000-6/3, IEC 62109-1/2, IEC 61727, IEC 62116

Anexo III – Dados de origem do Gráfico 02

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
Anos	Meses	kWh/m 2019	Tarifa atual	Tarifa aplicada	kWh/m custo fixo	R\$ antes do sist. FV	R\$ depois do sist. FV	Abatimento mensal	Evolução do abatimento	% Redução
-	-	-	Out/22	D + 10%	-	C * E	C * F	G – H	1.530.000 - I	(100 * I) / G
Ano 1	Jan	43.487	0,7756	0,8532	2640	R\$ 37.105,09	R\$ 2.252,57	R\$ 34.852,52	-1.495.147	93,93
	Fev	47.951	0,7756	0,8532	2640	R\$ 40.913,98	R\$ 2.252,57	R\$ 38.661,41	-1.456.486	94,49
	Mar	46.642	0,7756	0,8532	2640	R\$ 39.797,08	R\$ 2.252,57	R\$ 37.544,51	-1.418.942	94,34
	Abr	47.496	0,7756	0,8532	2640	R\$ 40.525,75	R\$ 2.252,57	R\$ 38.273,18	-1.380.668	94,44
	Mai	39.942	0,7756	0,8532	2640	R\$ 34.080,33	R\$ 2.252,57	R\$ 31.827,76	-1.348.841	93,39
	Jun	47.144	0,7756	0,8532	2640	R\$ 40.225,41	R\$ 2.252,57	R\$ 37.972,84	-1.310.868	94,40
	Jul	45.417	0,7756	0,8532	2640	R\$ 38.751,85	R\$ 2.252,57	R\$ 36.499,28	-1.274.369	94,19
	Ago	50.247	0,7756	0,8532	2640	R\$ 42.873,03	R\$ 2.252,57	R\$ 40.620,46	-1.233.748	94,75
	Set	49.243	0,7756	0,8532	2640	R\$ 42.016,37	R\$ 2.252,57	R\$ 39.763,80	-1.193.984	94,64
	Out	33.846	0,7756	0,8532	2640	R\$ 28.878,95	R\$ 2.252,57	R\$ 26.626,38	-1.167.358	92,20
	Nov	50.377	0,7756	0,8532	2640	R\$ 42.983,95	R\$ 2.252,57	R\$ 40.731,38	-1.126.626	94,76
	Dez	48.198	0,7756	0,8532	2640	R\$ 41.124,73	R\$ 2.252,57	R\$ 38.872,16	-1.087.754	94,52
Ano 2	Jan	43.487	0,7756	0,8532	2640	R\$ 37.105,09	R\$ 2.252,57	R\$ 38.337,77	-1.052.902	93,93
	Fev	47.951	0,7756	0,8532	2640	R\$ 40.913,98	R\$ 2.252,57	R\$ 42.527,55	-1.014.240	94,49
	Mar	46.642	0,7756	0,8532	2640	R\$ 39.797,08	R\$ 2.252,57	R\$ 41.298,96	-976.696	94,34
	Abr	47.496	0,7756	0,8532	2640	R\$ 40.525,75	R\$ 2.252,57	R\$ 42.100,50	-938.423	94,44
	Mai	39.942	0,7756	0,8532	2640	R\$ 34.080,33	R\$ 2.252,57	R\$ 35.010,54	-906.595	93,39
	Jun	47.144	0,7756	0,8532	2640	R\$ 40.225,41	R\$ 2.252,57	R\$ 41.770,12	-868.622	94,40
	Jul	45.417	0,7756	0,8532	2640	R\$ 38.751,85	R\$ 2.252,57	R\$ 40.149,21	-832.123	94,19
	Ago	50.247	0,7756	0,8532	2640	R\$ 42.873,03	R\$ 2.252,57	R\$ 44.682,50	-791.502	94,75
	Set	49.243	0,7756	0,8532	2640	R\$ 42.016,37	R\$ 2.252,57	R\$ 43.740,18	-751.739	94,64
	Out	33.846	0,7756	0,8532	2640	R\$ 28.878,95	R\$ 2.252,57	R\$ 29.289,02	-725.112	92,20
	Nov	50.377	0,7756	0,8532	2640	R\$ 42.983,95	R\$ 2.252,57	R\$ 44.804,52	-684.381	94,76
	Dez	48.198	0,7756	0,8532	2640	R\$ 41.124,73	R\$ 2.252,57	R\$ 42.759,37	-645.509	94,52
Ano 3	Jan	43.487	0,7756	0,8532	2640	R\$ 37.105,09	R\$ 2.252,57	R\$ 42.171,54	-610.656	93,93
	Fev	47.951	0,7756	0,8532	2640	R\$ 40.913,98	R\$ 2.252,57	R\$ 46.780,30	-571.995	94,49
	Mar	46.642	0,7756	0,8532	2640	R\$ 39.797,08	R\$ 2.252,57	R\$ 45.428,85	-534.450	94,34
	Abr	47.496	0,7756	0,8532	2640	R\$ 40.525,75	R\$ 2.252,57	R\$ 46.310,54	-496.177	94,44
	Mai	39.942	0,7756	0,8532	2640	R\$ 34.080,33	R\$ 2.252,57	R\$ 38.511,59	-464.349	93,39
	Jun	47.144	0,7756	0,8532	2640	R\$ 40.225,41	R\$ 2.252,57	R\$ 45.947,13	-426.376	94,40
	Jul	45.417	0,7756	0,8532	2640	R\$ 38.751,85	R\$ 2.252,57	R\$ 44.164,13	-389.877	94,19
	Ago	50.247	0,7756	0,8532	2640	R\$ 42.873,03	R\$ 2.252,57	R\$ 49.150,75	-349.257	94,75
	Set	49.243	0,7756	0,8532	2640	R\$ 42.016,37	R\$ 2.252,57	R\$ 48.114,19	-309.493	94,64
	Out	33.846	0,7756	0,8532	2640	R\$ 28.878,95	R\$ 2.252,57	R\$ 32.217,91	-282.867	92,20
	Nov	50.377	0,7756	0,8532	2640	R\$ 42.983,95	R\$ 2.252,57	R\$ 49.284,97	-242.135	94,76
	Dez	48.198	0,7756	0,8532	2640	R\$ 41.124,73	R\$ 2.252,57	R\$ 47.035,31	-203.263	94,52
Ano 4	Jan	43.487	0,7756	0,8532	2640	R\$ 37.105,09	R\$ 2.252,57	R\$ 46.388,70	-168.410	93,93
	Fev	47.951	0,7756	0,8532	2640	R\$ 40.913,98	R\$ 2.252,57	R\$ 34.852,52	-129.749	93,93
	Mar	46.642	0,7756	0,8532	2640	R\$ 39.797,08	R\$ 2.252,57	R\$ 38.661,41	-92.205	94,49
	Abr	47.496	0,7756	0,8532	2640	R\$ 40.525,75	R\$ 2.252,57	R\$ 37.544,51	-53.931	94,34
	Mai	39.942	0,7756	0,8532	2640	R\$ 34.080,33	R\$ 2.252,57	R\$ 38.273,18	-22.104	94,44
	Jun	47.144	0,7756	0,8532	2640	R\$ 40.225,41	R\$ 2.252,57	R\$ 31.827,76	0	93,39

Observações:

- Os valores da coluna F foram obtidos com a soma dos valores de kWh fixos mensais constantes na Tabela 02 (pág. 50).

- Os valores da coluna H foram obtidos considerando as taxas de disponibilidade a serem custeadas mesmo após a instalação de um sistema fotovoltaico, para manutenção da conexão das UCs à rede da concessionária.