



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Campus Experimental de Rosana

GABRIEL CORRÊA

**Análise de viabilidade técnica-econômica da implantação de um sistema individual de
geração solar fotovoltaico**

Rosana - SP
2022

Gabriel Corrêa

Análise de viabilidade técnica-econômica da implantação de um sistema individual de geração solar fotovoltaico

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenadoria de Curso de Engenharia de Energia da Faculdade de Engenharia e Ciências da Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia de Energia.

Orientadora: Letícia Sabo Boschi

Rosana - SP
2022

C824a	Corrêa, Gabriel Análise de viabilidade técnica-econômica da implantação de um sistema individual de geração solar fotovoltaico / Gabriel Corrêa. -- Rosana, 2022 67 f. : il., fotos Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia de Energia) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Engenharia e Ciências, Rosana Orientadora: Letícia Sabo Boschi 1. Energia solar. 2. Geração de energia fotovoltaica. 3. Sistemas de energia fotovoltaica. 4. Energia. I. Título.
-------	--

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Engenharia e Ciências, Rosana. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Campus Experimental de Rosana

GABRIEL CORRÊA

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO
COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
“**GRADUADO EM ENGENHARIA DE ENERGIA**”

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ENERGIA

Prof. Dr. Leandro Ferreira Pinto
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:

Prof^ª. Dr^ª. Letícia Sabo Boschi
Orientador/UNESP-Rosana

Prof. Dr. José Francisco Resende da Silva
UNESP-Rosana

Prof^ª. Dr^ª. Andrea Cressoni De Conti
UNESP-Rosana

Dezembro de 2022

Dedico este trabalho à minha família,
que durante todo esse tempo de
aprendizado me auxiliou e acreditou no
meu desenvolvimento.

AGRADECIMENTOS

Agradeço toda a trajetória que eu construí dentro da UNESP no curso de Engenharia de Energia.

A todas as entidades que pude participar, em especial ao CAUR e a UNATI que ajudaram a desenvolver habilidades essenciais para o mercado de trabalho.

Aos professores que sempre me auxiliaram e aconselharam sobre a carreira acadêmica e profissional.

A minha mãe Selma e meu pai Lindomar que puderam auxiliar durante os 5 anos da graduação, ajudando com custos financeiros e, principalmente, com apoio emocional, acreditando no meu potencial para conseguir realizar tudo que fiz durante a graduação.

Aos meus avós Jandira e João e meus tios José Carlos e Sandra por todo apoio, ajudando com mantimentos e com os custos das viagens entre São Paulo e Rosana.

A minha melhor amiga e namorada Thaís que sempre me apoiou durante a graduação, auxiliou na produção do TCC e ajudou a me preparar para conseguir o estágio.

Aos meus amigos de São Paulo, Felipe, Henrique, João e Leonardo que apesar da distância nunca deixaram a amizade esfriar.

Aos meus amigos/família de Rosana que durante toda a graduação estiveram ao meu lado para apoiar e ajudar a superar as dificuldades, Guilherme, Isabella, Lucas Moraes, Lucas Albiero, Marcos Paulo, Thaís, Verônica e Samantha.

A empresa Sices Solar por ter me dado a oportunidade de estagiar no setor de engenharia e atuar com energia solar, e principalmente, por poder apresentar o TCC e já estar efetivado.

Agradeço a tudo e todos que de alguma forma contribuíram para o meu desenvolvimento pessoal e profissional durante a minha graduação e durante a minha vida.

“A vida me ensinou a nunca desistir, nem ganhar, nem perder, mas procurar evoluir.”

Charlie Brown Jr.

RESUMO

A natureza e a sua abundância de recursos naturais foi considerada pelo homem como uma fonte infinita de matéria prima, extraindo dela todos os recursos necessários para a sobrevivência. A energia elétrica, hoje, é considerada como um bem essencial para o desenvolvimento humano e social. O consumo de energia tem sido maior do que o crescimento populacional e isso gera incertezas sobre a disponibilidades dos principais recursos utilizados até o momento para a geração da energia devido a utilização em larga escala das matérias primas. Com o aumento dos problemas socioambientais e aprimoramento das tecnologias, iniciou-se o desenvolvimento da diversificação da matriz energética aplicada ao conceito de geração de energia de modo sustentável, aprimorando a utilização das fontes de energia renováveis. Dado o exposto, o presente trabalho possui o objetivo de analisar a viabilidade técnica e econômica de implantação de um sistema autônomo de geração de energia solar fotovoltaico em uma propriedade localizada na zona rural do município de Piedade/SP, de modo a dimensionar o sistema, quantificar os equipamentos e serviços principais de engenharia necessários para realizar a instalação, obter dados de estimativa de geração com a utilização de softwares e realizar a análise financeira de implantação do sistema solar fotovoltaico.

Palavras-Chave: Energia Renovável. Sistema solar fotovoltaico. Geração de energia.

ABSTRACT

Nature and its abundance of natural resources was considered by man as an infinite source of raw material, extracting from it all the resources necessary for survival. Electricity, today, is considered an essential good for human and social development. Energy consumption has been greater than population growth and this creates uncertainties about the availability of the main resources used so far for energy generation due to the large-scale use of raw materials. With the increase in socio-environmental problems and the improvement of technologies, the development of the diversification of the energy matrix began, applied to the concept of sustainable energy generation, improving the use of renewable energy sources. Given the above, the present work has the objective of analyzing the technical and economic feasibility of implementing an autonomous photovoltaic solar energy generation system in a property located in the rural area of the municipality of Piedade/SP, in order to scale the system, quantify the equipment and main engineering services needed to carry out the installation, obtain generation estimation data using software and carry out the financial analysis of the implementation of the photovoltaic solar system.

KEYWORDS: Renewable energy. Photovoltaic solar system. Energy generation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Exemplificação do fluxo energético	19
Figura 2 – Consumo e Oferta Interna de Energia	20
Figura 3 – Oferta Interna de Energia	21
Figura 4 – Plataforma de petróleo	22
Figura 5 – Origem do gás natural	23
Figura 6 – Minas de extração de carvão	24
Figura 7 – Usina hidrelétrica	26
Figura 8 – Parque eólico	28
Figura 9 – Mapa de irradiação horizontal global no Brasil	30
Figura 10 – Representação da junção ‘pn’ e efeito fotovoltaico	34
Figura 11 – Módulo fotovoltaico	36
Figura 12 – Associação dos módulos em série, paralelo e série-paralelo, respectivamente.	37
Figura 13 – Área da propriedade	40
Figura 14 – Coordenadas geográficas da propriedade	40
Figura 15 – Dados de irradiação solar	41
Figura 16 – Mapa de isopletras do Brasil	46
Figura 17 – Mapa de isopletras do estado de São Paulo	47
Figura 18 – Área disponível para implantação do sistema em solo	47
Figura 19 – Área dos telhados para implantação do sistema	48
Figura 20 – Ângulo azimute do telhado inferior e superior	49
Figura 21 – Face norte do telhado	50
Figura 22 – Representação da disposição dos módulos	51
Figura 23 – Arranjo fotovoltaico no inversor	52
Figura 24 – Resolução da simulação no software SolarEdge.	57
Figura 25 – Resolução da simulação no software pvSYST.	57
Figura 26 – Simulação com financiamento em 60 parcelas.	58
Figura 27 - Simulação com financiamento em 72 parcelas.	59

LISTA DE ILUSTRAÇÕES, FIGURAS, GRÁFICOS E QUADROS

Quadro 1 – Consumo de energia atual	42
Quadro 2 – Estimativa de consumo de energia elétrica na casa 1	43
Quadro 3 – Estimativa de consumo de energia elétrica na casa 2	44
Quadro 4 – Estimativa de consumo de energia elétrica na casa 3	44
Quadro 5 – Estimativa de consumo de energia elétrica na casa 4	44
Quadro 6 – Resumo da estimativa de consumo de energia elétrica	44
Quadro 7 – Estimativa média de consumo de energia	45
Quadro 8 – Lista de equipamentos	50
Quadro 9 – Serviços de engenharia	51
Quadro 10 – Determinação do arranjo fotovoltaico	52
Quadro 11 – Geração de energia	53

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. OBJETIVO	16
2.1 Objetivo Geral	16
2.2 Objetivo específico	16
3. REVISÃO DE LITERATURA	17
3.1 Energia e o desenvolvimento humano e social	17
3.2 Matriz energética brasileira	20
3.2.1 Energia não renovável	22
3.2.2 Energia renovável	25
3.3 Energia solar fotovoltaica	32
4. METODOLOGIA	39
5. RESULTADOS	41
6. CONCLUSÃO	61
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63

1. INTRODUÇÃO

Nos dias de hoje, a energia elétrica é considerada um bem essencial para o desenvolvimento humano e social, relacionando-se com o bem estar social e à qualidade de vida, através dos confortos e da segurança que esse recurso pode proporcionar, como aquecimento, iluminação, transporte e produção de bens.

A produção de energia tem se tornado, cada vez mais, uma busca incessante pelo homem, com o fogo sendo a primeira fonte de energia dominada. Além dessa, o homem utilizou da força de tração animal, dos recursos hídricos disponíveis, dos ventos e outros recursos naturais disponíveis na natureza em abundância, extraindo tudo que fosse necessário para utilização no contínuo desenvolvimento das sociedades.

O crescimento populacional está relacionado ao desenvolvimento social e à melhoria da qualidade de vida, porém, o consumo de energia tem sido maior que o crescimento populacional, gerando incertezas sobre a disponibilidade dos recursos convencionais utilizados para a geração de energia. Com a utilização em larga escala de alguns recursos naturais não renováveis, como o carvão mineral e o petróleo, mostrou-se necessário a realização de planejamento energético com intuito de incentivar a utilização dos recursos disponíveis de modo consciente e sustentável para que não haja excessos ou escassez dos mesmos.

A demanda e a geração de energia afetam o desenvolvimento socioeconômico e ambiental, tendo em vista que a utilização desenfreada dos recursos não renováveis, como a queima do petróleo, ocasionou problemas ambientais e climáticos como a emissão dos gases de efeito estufa. Com isso, a produção de energia e a disponibilidade dos recursos passaram a ser um ponto estratégico a ser analisado para manter o desenvolvimento social de forma sustentável.

A composição da matriz energética de um país é referente à utilização dos recursos naturais disponíveis e pelo desenvolvimento de novas tecnologias utilizadas na geração de energia. As fontes de energia que compõem a matriz podem ser classificadas como fontes renováveis e não renováveis, em que, na escala temporal humana, as fontes não renováveis levam milhões de anos para sua formação como o petróleo, e as fontes renováveis possuem um fluxo sustentável e curto para sua renovação, como a radiação solar.

A energia solar é uma fonte de energia renovável presente de forma abundante em praticamente todo território do planeta, sendo considerada como uma fonte de energia inesgotável na escala de vida humana. Com isso, o presente trabalho tem como objetivo analisar a viabilidade técnica e econômica para implantação de um sistema solar fotovoltaico em uma propriedade rural localizada no interior de Piedade/SP.

2. OBJETIVO

2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho consiste em realizar uma análise de viabilidade técnica-econômica da implantação de um sistema solar fotovoltaico em uma chácara localizada no interior da cidade de Piedade/SP.

2.2 Objetivo específico

- I. Realizar o planejamento energético de um sítio localizado no interior da cidade de Piedade/SP, considerando uma estimativa de consumo de energia elétrica.
- II. Realizar o dimensionamento do sistema solar fotovoltaico necessário para suprir a demanda da propriedade.
- III. Realizar a representação do arranjo fotovoltaico a ser implantado no sistema.
- IV. Realizar uma simulação de geração de energia para o sistema a ser implantado ao longo de sua vida útil.
- V. Realizar uma análise de viabilidade econômica para implantação do sistema solar fotovoltaico.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Energia e o desenvolvimento humano e social

Desenvolvimento é um conceito associado à qualidade de vida e ao bem estar, podendo esse ser físico, psicológico, econômico ou cultural e que permite à sociedade, de modo acumulativo, manter essas condições. A qualidade de vida se relaciona com o ambiente físico e social no qual o ser humano está inserido, afetando a sua percepção e comportamentos frente às atividades realizadas para suprir suas necessidades (Olivia Maria, 2008).

Ao analisar a trajetória da evolução humana e o desenvolvimento social, pode-se notar que o homem sempre buscou descobrir e transformar os bens existentes no espaço ao seu redor, realizando inúmeras descobertas que auxiliaram no desenvolvimento da sociedade, no crescimento econômico e na melhoria da qualidade de vida (Filomena Nádia, 2016). O contínuo desenvolvimento econômico de uma sociedade está diretamente influenciado pela disponibilidade de matérias-primas e de recursos, destacando-se a terra, o capital, o trabalho e a energia (Gilson Batista, 2002).

“O vocábulo desenvolvimento é um conceito humano, associado à dimensão qualitativa e que se exprime no bem-estar e na qualidade de vida das pessoas. Portanto, o desenvolvimento privilegia o aspecto qualitativo com visibilidade no bem-estar físico, econômico, psicológico, cultural, ético, religioso, políticas para a compreensão dos problemas, dificuldades e crises sociais” (Maria Olivia Dias, Gestão e Desenvolvimento, 15-16 (2007-2008), 3-19).

A natureza e a sua abundância de recursos naturais era considerada pelo homem uma fonte infinita de matéria-prima, extraíndo dela todos os recursos necessários para a sobrevivência. Porém, é necessário realizar um planejamento quanto à utilização dos recursos a longo prazo para que não haja excessos ou escassez dos mesmos, aplicando assim, o conceito de sustentabilidade (Fabrício Hoff, 2015).

A produção de energia tem sido uma busca incessante do homem desde o surgimento da sociedade, com o fogo sendo a primeira fonte a ser dominada e que influenciou na busca e no desenvolvimento de novas fontes de energia para continuar o processo de evolução humana. Após o domínio do fogo, o homem começou a utilizar a força de tração animal e recursos naturais como a água, na roda d'água, e o vento, nos moinhos, que contribuíram para o desenvolvimento das primeiras sociedades (Francisco Joaquim, 2014).

A lenha, por sua vez, foi um recurso muito utilizado para produção de energia desde a Idade do Cobre (aproximadamente 3300 a 1200 a.C.). Apesar de ser um recurso natural com potencial renovável, no período não era aplicado o conceito de sustentabilidade e não era realizado um manejo florestal adequado para a sua renovação além do seu ciclo natural (Filomena Nádia, 2016). A madeira era um recurso utilizado de forma global, desde sua

utilização na construção de casas e embarcações, até como combustível no período de desenvolvimento tecnológico, sendo utilizado nos processos de mineração e refino de metais (Francisco Joaquim, 2014).

Com o constante uso da madeira, intensificou-se as áreas de desmatamento e junto com o contínuo desenvolvimento das fontes de geração de energia, a lenha foi perdendo espaço para outra fonte, o carvão mineral. Com o surgimento das primeiras máquinas a vapor, o carvão se tornou um recurso muito utilizado devido à sua abundância na superfície e baixo valor agregado. Com a utilização desse recurso e o aprimoramento tecnológico, as máquinas a vapor ganharam força para o desenvolvimento e aplicabilidade nas minas de carvão e, posteriormente, em navios, locomotivas e fábricas (Filomena Nádia, 2016).

Com a Revolução Industrial, iniciou-se a época de utilização dos combustíveis fósseis, com o carvão mineral sendo o primeiro combustível a ser utilizado em larga escala. No século XIX, foi introduzida outra fonte de combustível fóssil que, futuramente, iria substituir o carvão mineral, o petróleo sendo originado da decomposição de restos de vegetais e animais que ficaram soterrados, ao longo de milhões de anos, em regiões marinhas e terrestres (FARIAS, L. M. 2011).

O século XIX foi marcado por um grande avanço tecnológico, sendo o período que a eletricidade passou a ser utilizada no setor da metalurgia e da comunicação (telégrafo). Além disso, foi nesse período que surgiram algumas das invenções mais importantes, como a lâmpada incandescente, criada por Thomas Edison em 1878; a locomotiva elétrica, criada por Werner Siemens em 1879; e o motor de corrente alternada, criado por Nikola Tesla em 1888, que passou a ser utilizado na indústria para realizar o acionamento mecânico do maquinário (Francisco Joaquim, 2014).

Ainda nesse século, outras formas de geração de energia elétrica passaram a ser aprimoradas, como a substituição das turbinas a vapor pelas turbinas hidráulicas, ocasionando assim, o surgimento das primeiras centrais hidrelétricas e linhas de transmissão que permitiam utilizar a energia hidráulica para alimentação elétrica das fábricas e das cidades (Filomena Nádia, 2016). Todavia, foi a virada do século XIX ao século XX que o petróleo começou a ser utilizado em grande escala e que originou o período conhecido como “Idade do Petróleo”, que foi marcado pelo grande desenvolvimento tecnológico e consolidação do modelo industrial moderno, com a produção sendo realizada em massa e com os setores mais dinâmicos em relação às linhas de produção (Francisco Joaquim, 2014).

A energia elétrica é considerada, hoje, como um bem essencial para o desenvolvimento humano. O constante crescimento populacional está atrelado ao desenvolvimento de novas tecnologias e, conseqüentemente, com o surgimento de novas necessidades humanas

relacionadas ao bem estar social e à qualidade de vida através dos confortos e da segurança que esses subsídios oferecem para manter o contínuo desenvolvimento socioeconômico, sendo considerado um serviço de infraestrutura social que permite suprir necessidades como aquecimento, iluminação, transporte e produção de bens (Paola Ribas, 2015). No Brasil, o século XX foi marcado pelo intenso desenvolvimento econômico, com o aumento da industrialização, crescimento demográfico e pela urbanização nas grandes cidades, acarretando uma intensa demanda de energia (Maurício Tolmasquim, 2015).

O consumo de energia tem sido maior do que o crescimento populacional e isso gera incertezas sobre a disponibilidades dos principais recursos, utilizados até o momento, para a geração da energia devido a utilização em larga escala das matérias primas. O consumo excessivo desses recursos levou à redução das fontes de energia não renováveis, como o carvão mineral e o petróleo e ocasionou problemas ambientais e climáticos como o aquecimento global que é causado pela emissão de gases do efeito estufa, como o dióxido de carbono (CO₂) devido à queima desses combustíveis (Paola Ribas, 2015).

Entre as décadas de 1960 e 1970, iniciou-se o período conhecido como “Revolução Verde”, período de maior desenvolvimento tecnológico nas práticas agrícolas que possuía o objetivo de aumentar a produção através da utilização de maquinário, da modificação das sementes, da utilização de fertilizantes e agrotóxicos. Todavia, a Revolução Verde ocasionou diversos problemas ambientais, sociais e econômicos, como o desmatamento e poluição do solo e das águas (Francisco Joaquim, 2014).

O acordo de Paris, assinado pelos 195 países participantes da 21ª Conferência das Partes (COP21), possui um objetivo em comum, a redução dos gases efeito estufa para contribuir com a diminuição dos problemas ambientais, e para isso, é necessário o aumento da utilização das fontes de energias renováveis para geração de energia de forma mais eficiente e sustentável (Pedro Américo, 2019).

“A sustentabilidade é comumente definida de modo amplo, de forma a abranger crescimento e desenvolvimento econômico com a conservação ambiental. Desta forma, o desenvolvimento sustentável precisa ser visto como uma alternativa de longo prazo, em que a utilização de ecossistemas e recursos naturais devem satisfazer as necessidades atuais, sem comprometer as necessidades ou opções de gerações futuras” (Marilsa de Sá, Revista Scientia, v. 6, n. 1, p. 13-33)

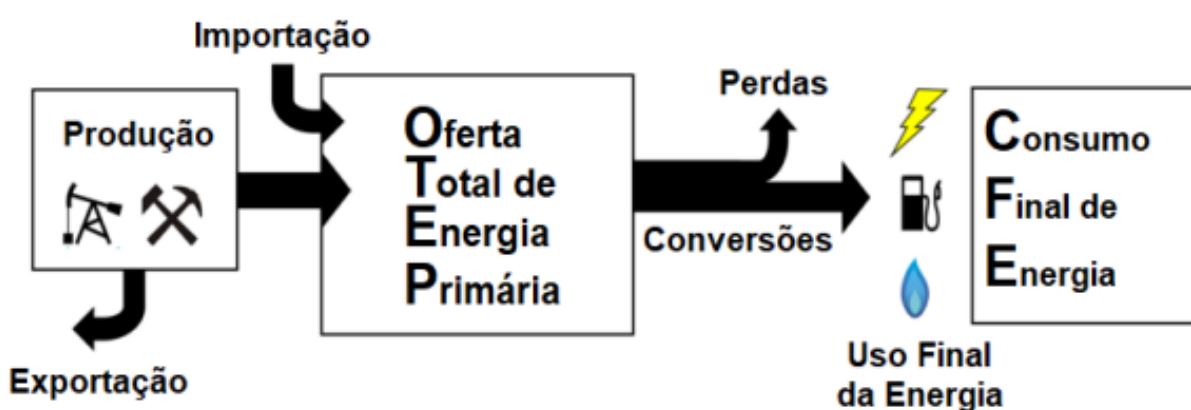
Com o aumento dos problemas socioambientais e aprimoramento das tecnologias, iniciou-se o desenvolvimento da diversificação da matriz energética, buscando reduzir os impactos causados nos processos de geração e distribuição de energia devido à alta demanda e utilização das fontes não renováveis (Paola Ribas, 2015). Com isso, a sustentabilidade ganhou força por focar no uso racional dos recursos não renováveis e por incentivar a utilização dos

recursos naturais renováveis, como a água, vento e luz solar, contribuindo para a redução dos impactos ambientais e sociais através do uso mais eficiente das fontes de energia (Filomena Nádia, 2016).

3.2 Matriz energética brasileira

De acordo com o Ministério de Minas e Energias (MME), o fluxo energético é uma análise feita sob uma região para compreender as fontes primárias predominantes utilizadas na geração de energia e sua destinação. Para realizar esse estudo é necessário compreender a Oferta Total de Energia Primária (OTEP) e o Consumo Final de Energia (CFE), conforme exemplificado na Figura 1, com a OTEP sendo a totalidade de energia primária disponível por um país, somando à energia importada, exportada e extraída dos recursos naturais, enquanto a CFE consiste na totalidade da energia, primária e secundária, utilizada em todos os setores da economia (Marilsa de Sá, 2021).

Figura 1 - Exemplificação do fluxo energético.



Fonte: Energy Education, University of Calgary, 2020 - (adaptado).

A produção de energia e a disponibilidade dos recursos utilizados para tal, tem sido um ponto bastante analisado de forma estratégica pelos países, uma vez que a geração e demanda de energia podem impactar diretamente no desenvolvimento socioeconômico e ambiental, adaptando-se quanto às fontes utilizadas, as técnicas e políticas públicas voltadas ao setor para manter a oferta interna e a relação com as importações (Filomena Nádia, 2016).

A segunda metade do século XX, fez com que a economia brasileira sofresse mudanças significativas e isso acarretou alterações na matriz energética brasileira, renovando as fontes de geração de energia para estimular o desenvolvimento sustentável dos sistemas econômicos, diminuindo assim, a dependência de utilização dos combustíveis fósseis, como o carvão

mineral e o petróleo para implantação da energia verde, através das fontes de energia renováveis (Marilsa de Sá, 2021).

Para analisar a matriz energética de um país, deve-se entender que a sua formação e composição é referente à utilização dos recursos naturais disponíveis de forma abundante e que o desenvolvimento de novas tecnologias permite a constante evolução da mesma. A energia possui diversas classificações e pode ser dividida em duas categorias, a energia primária que corresponde às fontes de energia disponíveis na natureza como o carvão mineral, o petróleo, energia hídrica, solar e eólica, e a energia secundária que deriva das fontes primárias como o gás liquefeito de petróleo (GLP), a gasolina, diesel e a eletricidade (EPE, 2015). Além dessa classificação, as fontes de energia podem ser agrupadas como fontes de energia renováveis e não renováveis em relação à escala temporal humana, uma vez que as fontes não renováveis, fontes fósseis, sofrem um processo fotossintético de formação de milhões de anos, como o carvão mineral e o petróleo, enquanto as fontes renováveis sofrem um processo fotossintético de fluxo sustentável e curto como as fontes hidrológicas, dos ventos e da radiação solar (Filomena Nádia, 2016).

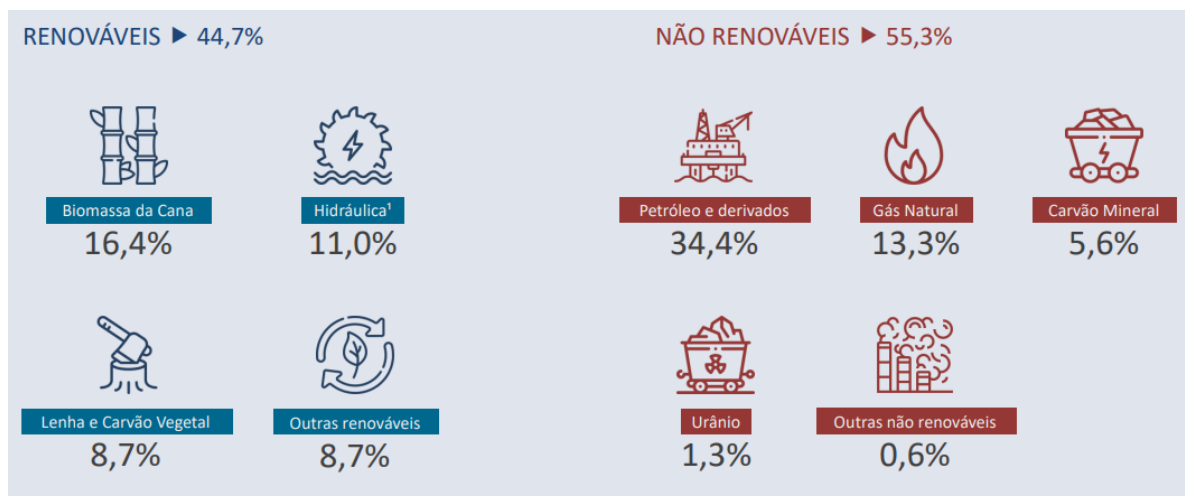
Nas primeiras décadas do século XXI, o Governo Federal do Brasil tem implantado medidas que incentivam a implantação de fontes renováveis de geração de energia, como proposto no Programa de Aceleração de Crescimento (PAC 2007), porém, a disponibilidade das fontes de energia renovável depende do local, da quantidade de energia disponível e da capacidade de explorar esses recursos (Frederico Mauad, 2017). Uma outra medida implantada foi participação da ODS 7 (Objetivos de Desenvolvimento Sustentável) através de metas principais impostas para 2030, sendo algumas dessas metas, assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todos, manter elevada a participação de energias renováveis na matriz energética nacional e aumentar a taxa de melhoria da eficiência energética da economia brasileira (Marilsa de Sá, 2021). A representação do consumo de energia e da matriz energética brasileira encontram-se nas Figuras 2 e 3.

Figura 2 - Consumo e Oferta Interna de Energia.

Valores em 10 ⁶ tep		2020	2021
Oferta interna de energia	⬆	288,5	301,5
Consumo Final	⬆	253,4	262,2
Perdas ¹	⬆	35,1	39,2

Fonte: BEN - Relatório Síntese, 2022.

Figura 3 - Oferta Interna de Energia.



Fonte: BEN - Relatório Síntese, 2022.

3.2.1 Energia não renovável

As fontes de energia não renováveis são aquelas que são originadas de recursos naturais existentes e limitados, em relação à escala temporal humana, como os combustíveis fósseis. A origem desses combustíveis se dá pela formação através de um processo fotossintético de milhões de anos (Lucas Weng, 2015). O processo de formação dos combustíveis fósseis iniciou-se desde a formação dos primeiros seres vivos na Terra e continua até hoje. As árvores, em sua totalidade com os troncos, galhos, folhas e raízes, e os animais ao encerrar o ciclo de vida, morrem e inicia-se o processo de decomposição, depositando-se no solo. Com o passar do tempo e com a pressão exercida pelas camadas de terra acumuladas sobre esses resíduos, iniciou-se o processo de fossilização e, posteriormente, transformaram-se em depósitos de materiais homogêneos (Joaquim Carvalho, 2009).

Petróleo

O petróleo é uma fonte de energia não renovável formada por uma mistura de hidrocarbonetos e outros compostos orgânicos. A quantidade de hidrocarbonetos presente no petróleo determina o seu peso, sendo que quanto maior for a porcentagem de hidrocarbonetos presente, mais leve será o composto. Além disso, os hidrocarbonetos presentes podem ser divididos em três grupos principais, os alcanos que são alifáticos saturados com cadeia linear, permitindo que pela quantidade de hidrocarbonetos presentes essa fonte de energia possa ser encontrada no estado sólido, líquido, gasoso ou como uma

mistura dos estados. O segundo grupo de hidrocarbonetos são os não saturados e com cadeia fechada, como os aromáticos e o terceiro grupo é o dos betumes que são compostos por poucos hidrocarbonetos, que possuem uma massa molecular maior, e são ricos em oxigênio, enxofre, nitrogênio e outras substâncias (Joaquim Carvalho, 2009).

Além do petróleo poder ser utilizado como fonte de energia, através de processos de refino pode-se obter os seus derivados, como o óleo diesel, o querosene, a gasolina e o gás liquefeito de petróleo. Dentro da matriz energética, o petróleo e seus derivados representam cerca de 34%, porém com o desenvolvimento de novas tecnologias essa porcentagem vem diminuindo, como com a substituição do óleo diesel pelo óleo vegetal e produção do biodiesel, com o aprimoramento do combustível etanol, derivado da cana de açúcar para substituir o uso da gasolina nos veículos através da tecnologia flex dos motores (Maurício Tolmasquim, 2007).

Figura 4 - Plataforma de petróleo.



Fonte: Assembléia Legislativa de Sergipe, 2022.

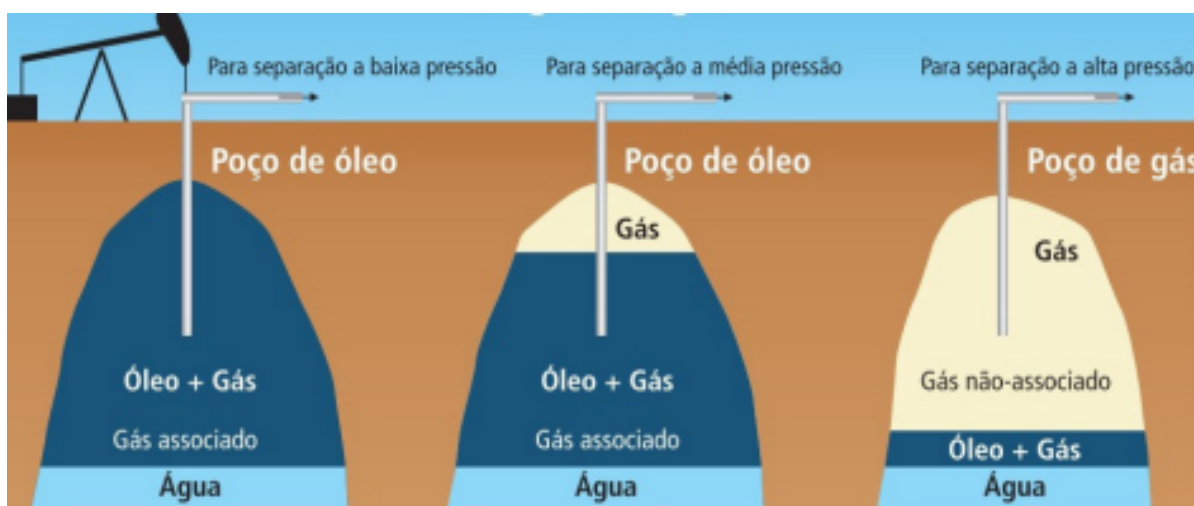
Gás Natural

O gás natural é uma fonte de energia não renovável formada sob as mesmas condições do petróleo, porém, possuindo três pontos de distinção, a decomposição de matéria orgânica por bactérias anaeróbias, a degradação do carvão em pressão e temperatura elevadas e a alteração térmica dos hidrocarbonetos líquidos, além disso, possui composição química semelhante, sendo composto principalmente por moléculas de metano, etano, propano e butano. O gás natural pode ser extraído através da sua própria pressão e por conta do seu peso ser mais leve,

possui a facilidade de ser transportado através de redes de distribuição subterrâneas (Joaquim Carvalho, 2009).

O termo “natural” é designado pelo fato do gás ocorrer de forma espontânea na natureza. Gás natural é uma substância que possui uma queima mais limpa do que o petróleo e seus derivados, pois emite menos resíduos. Além disso, o gás natural pode ser dividido em dois subgrupos referentes à sua origem, como o gás associado que tem a produção associada à extração do petróleo e pode ser encontrado dissolvido no óleo ou em forma de gás, e o gás não associado que é encontrado nos reservatórios, principalmente, em forma de gás e possui um custo de extração menor (Mariana Lyra, 2016).

Figura 5 - Origem do gás natural.



Fonte: Vieira et al, 2005.

Carvão Mineral

O carvão mineral é uma fonte de energia não renovável, sendo uma rocha sedimentar formada a milhões de anos que pode ser encontrada em depósitos de matéria orgânica no subsolo. A composição do carvão mineral se dá predominantemente por carbono, podendo possuir quantidades variadas de acordo com a sua origem, composto também por oxigênio, nitrogênio, enxofre e outras substâncias. O carvão pode ser classificado em quatro subgrupos dependendo da quantidade de carbono presente, como os linhitos que são encontrados na superfície e utilizados nos processos de geração de energia elétrica, os sub-betuminosos que são utilizados na geração de calor, os betuminosos que possuem alto poder calorífico e é o principal subgrupo utilizado nas indústrias para geração de energia, e os antracitos que possuem alta pureza e altos teores de carbono, utilizados principalmente para o aquecimento humano (Joaquim Carvalho, 2009).

Figura 6 - Minas de extração de carvão.



Fonte: Companhia Riograndense de Mineração, 2022.

3.2.2 Energia renovável

Conforme exposto anteriormente, o crescimento populacional está atrelado ao desenvolvimento de novas tecnologias e acompanhando esse crescimento temos o aumento do consumo de energia por todos os setores da sociedade que, até então, possuem predominância na utilização de fontes de energia não renováveis, como o carvão mineral e o petróleo. O uso desenfreado desses recursos tem acarretado a redução gradativa das suas reservas naturais, ocasionando dois fatores principais, o aumento nos custos do produto e no processo realizado para sua obtenção, e aumento dos problemas ambientais, como a emissão de gases do efeito estufa e o desmatamento. Com isso, o desenvolvimento das novas tecnologias são voltados para a sustentabilidade, através do desenvolvimento “verde”, que faz a utilização das fontes de energias renováveis para produção de energia elétrica (Frederico Mauad, 2017).

As fontes de energia renováveis são todas aquelas que possuem um caráter renovável, ou seja, que o seu aproveitamento pode ser feito sem a possibilidade de esgotamento do recurso, como as fontes de energia eólica, solar e hidrelétrica. As fontes renováveis, na matriz energética brasileira, correspondem a 44%, de acordo com o Balanço Energético Nacional de 2022. O aumento das energias renováveis e o aumento dos processos de eficiência energética contribuem para o contínuo desenvolvimento sustentável, pois a sua utilização agride muito

menos o meio ambiente do que a utilização das fontes convencionais não renováveis, sendo consideradas uma solução para redução das mudanças climáticas, pela diminuição das emissões dos gases do efeito estufa (Lucas Weng, 2015).

Todavia, para manter esse contínuo desenvolvimento das tecnologias que utilizam energias renováveis é necessário realizar de forma controlada para que os cuidados com o meio ambiente e os recursos naturais sejam mantidos. O desenvolvimento “verde” para geração de energia de modo sustentável é influenciado por cinco fatores principais, sendo eles a disponibilidade dos recursos, o aprimoramento das tecnologias, fatores políticos e econômicos, fatores socioambientais e a adaptação às novas tecnologias (Frederico Mauad, 2017).

A utilização das fontes de energia renováveis não possuem o mesmo potencial energético se comparado às fontes convencionais, porém elas possuem uma vantagem em relação às não renováveis que as classificam de duas maneiras, a geração conectada diretamente à rede em que toda a energia produzida pelo sistema é injetada na rede de distribuição, e a geração descentralizada com sistemas autônomos em que a geração de energia supre a demanda e o excedente de energia é injetado na rede (Fabrício Huff, 2015).

A expansão da matriz energética brasileira quanto à utilização dos recursos energéticos renováveis precisa analisar a disponibilidade das fontes, a quantidade de energia disponível e as tecnologias existentes para explorar o recurso. Para poder realizar a sua utilização com o melhor aproveitamento em um país do tamanho do Brasil, deve-se analisar o potencial energético de cada fonte disponível, uma vez que algumas fontes de energia, como as energias eólica e solar estão presentes por todo território nacional, enquanto outras fontes, como as energias geotérmica e maremotriz dependem de condições específicas para poderem ser aproveitadas. O Brasil possui uma enorme quantidade de recursos hídricos, por possuir inúmeros rios e possuir uma faixa litorânea imensa, desse modo, o potencial energético hídrico é predominante no país (Frederico Mauad, 2017).

Hidrelétrica

O ciclo hidrológico é um processo natural de reciclagem das moléculas de água, esse processo é formado por etapas como a evaporação, condensação e precipitação. As bacias hidrográficas são formadas pelos rios que captam as precipitações e as direcionam ao mar. O Brasil possui a maior reserva hidrológica no mundo, e conseqüentemente, o maior potencial de geração de energia a partir desse recurso. A energia hidrelétrica é uma fonte de energia renovável que utiliza o potencial gravitacional do fluxo de água nos rios para geração de

energia elétrica (Frederico Mauad, 2017). Atualmente, a energia hidrelétrica representa cerca de 11% da matriz energética brasileira.

Usina hidrelétrica é definida como o conjunto de equipamentos e obras cuja finalidade é a transformação da energia hidráulica em energia elétrica, realizando o aproveitamento da energia presente nos rios que é proporcionada pelos desníveis ao longo do seu curso e pela vazão hidráulica. Os rios são classificados como rios de planície e rios de planalto em que os rios de planície localizam-se em regiões com relevos planos enquanto os rios de planalto localizam-se em regiões de relevos acidentados e altitudes variadas. Desse modo, os rios de planalto possuem maior potencial de aproveitamento hidráulico do que os rios de planície, sendo preferíveis para a instalação de usinas hidrelétricas (Tuane Regina Caus, 2014).

A produção de energia elétrica é dependente da altura de queda (energia potencial) e da vazão turbinada. A energia potencial é relacionada à altura de queda da água armazenada, sendo a diferença de altura entre a água presente no reservatório e a água na jusante do rio.

Uma usina hidrelétrica é constituída por quatro partes principais, sendo elas: a barragem que é o reservatório e é responsável por armazenar grandes quantidades de água; pelos sistemas de captação e adução de água que são os sistemas que captam a água ao longo da barragem e as direcionam à casa de forças por meio de canais e dutos; pela casa de força que é o local em que a energia hidráulica é convertida em energia elétrica através da passagem da água pelas turbinas, de modo que a força da água gira as pás da turbina e realiza a conversão da energia hidráulica em energia mecânica, enquanto o gerador é conectado à turbina, convertendo a energia mecânica em energia elétrica; e pelo sistema de restituição de água que é a devolução da água ao seu leito natural do rio após a conversão do seu potencial hidráulico em energia elétrica (Tuane Regina Caus, 2014).

Figura 7 - Usina hidrelétrica.



Fonte: Portal Energia, 2018.

Apesar de ser considerada uma fonte de energia renovável, as usinas hidrelétricas possuem alguns problemas ambientais como o desvio natural do curso do rio e a emissão de gases do efeito estufa pela decomposição da flora que fica submersa nos reservatórios. Com os problemas ambientais e com o alto custo inicial de investimento, surge uma tecnologia semelhante porém em menor escala, as Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) que provocam alterações mínimas no ecossistema e possuem um menor custo devido ao seu tamanho reduzido (Frederico Mauad, 2017).

Em 1984, o Governo Brasileiro iniciou o Programa Nacional de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PNPCHs) com objetivos de curto e longo prazo que dentre eles pode-se destacar a redução da utilização de combustíveis fósseis, energização das zonas rurais e expansão das fronteiras agrícolas, e a instalação em zonas remotas do país, evitando a construção de redes de transmissão e levando energia elétrica para que assim, essas populações possam desenvolver uma melhor qualidade de vida (Frederico Mauad, 2017).

Eólica

A energia eólica é um fonte de energia renovável considerada inesgotável e pode ser explicada como a conversão da energia cinética presente nos ventos em energia elétrica. Essa fonte de energia está presente em todas as partes do mundo, uma vez que o vento é o deslocamento de ar de uma região de alta pressão para uma região de baixa pressão devido ao aquecimento desigual atmosférico, porém é necessário analisar a viabilidade de aproveitamento desse recurso através da densidade de energia eólica presente em determinada região (Frederico Mauad, 2017).

O aproveitamento do potencial eólico pelo homem é muito antigo e é difícil de identificar a primeira utilização desse recurso, porém sabe-se que o vento é utilizado em inúmeras aplicações, como por exemplo a sua utilização em navios e veleiros para auxiliar no deslocamento das grandes navegações. Outrossim, o potencial eólico também foi utilizado na conversão em energia mecânica, como nos moinhos de vento que eram utilizados para moer os grãos, para bombeamento de água e para movimentações dos maquinários (F. R. Martins, 2008).

Apesar de possuir um grande potencial de utilização na geração de energia elétrica, a energia eólica é dependente do vento e esse recurso não é distribuído de forma uniforme no território e a previsão das condições do vento são extremamente difíceis de prever a longo prazo, tornando assim, essa fonte de energia dependente de outras fontes alternativas para sua complementação, como a utilização da energia hidráulica ou a energia solar (Frederico Mauad, 2017).

A superfície terrestre possui grande influência na densidade dos ventos, uma vez que as montanhas, morros, prédios, casas e outros, interferem reduzindo a intensidade dos ventos, ou seja, quanto mais plana e livre for uma região, maior será a densidade do vento ali presente. Desse modo, esse recurso pode ser analisado em três escalas, sendo elas a macro que é regional e determina as características sazonais e climáticas de uma região, permitindo a verificação do potencial eólico como fonte de energia, a meso que utiliza do relevo local para determinar o local mais adequado para implantação de um sistema eólico, e a micro que determina o tipo de turbina eólica a ser aplicada em determinada região a partir das características dos ventos locais (Frederico Mauad, 2017).

As turbinas eólicas são equipamentos desenvolvidos para realizar a conversão da energia cinética do vento em energia elétrica, de modo que a energia cinética passa pelas hélices da turbina e as faz girar, com o rotor sendo acoplado ao gerador que converte o movimento das hélices em energia elétrica. As turbinas eólicas podem ser classificadas de dois modos principais, as turbinas de eixo horizontal e as turbinas de eixo vertical, sendo que as de eixo horizontal possuem o rotor e o gerador alinhado com a direção do vento, sendo a tecnologia mais utilizada, enquanto a turbina de eixo vertical possui o rotor e gerador no nível do solo e a turbina é movida por força de arraste (Fabrício Hoff, 2015).

Apesar de ser considerada uma fonte de energia renovável, a energia eólica também possui alguns impactos ambientais no processo de geração da energia elétrica, como por exemplo, a área a ser utilizada para a implantação das turbinas, uma vez que necessitam de uma grande área para que uma turbina não interfira no funcionamento das demais. Outro impacto seria a emissão de ruídos que podem ser causados pelo funcionamento da turbina e pela velocidade de rotação (Fabrício Hoff, 2015).

Figura 8 - Parque eólico.



Fonte: Esfera Energia, 2021.

Solar

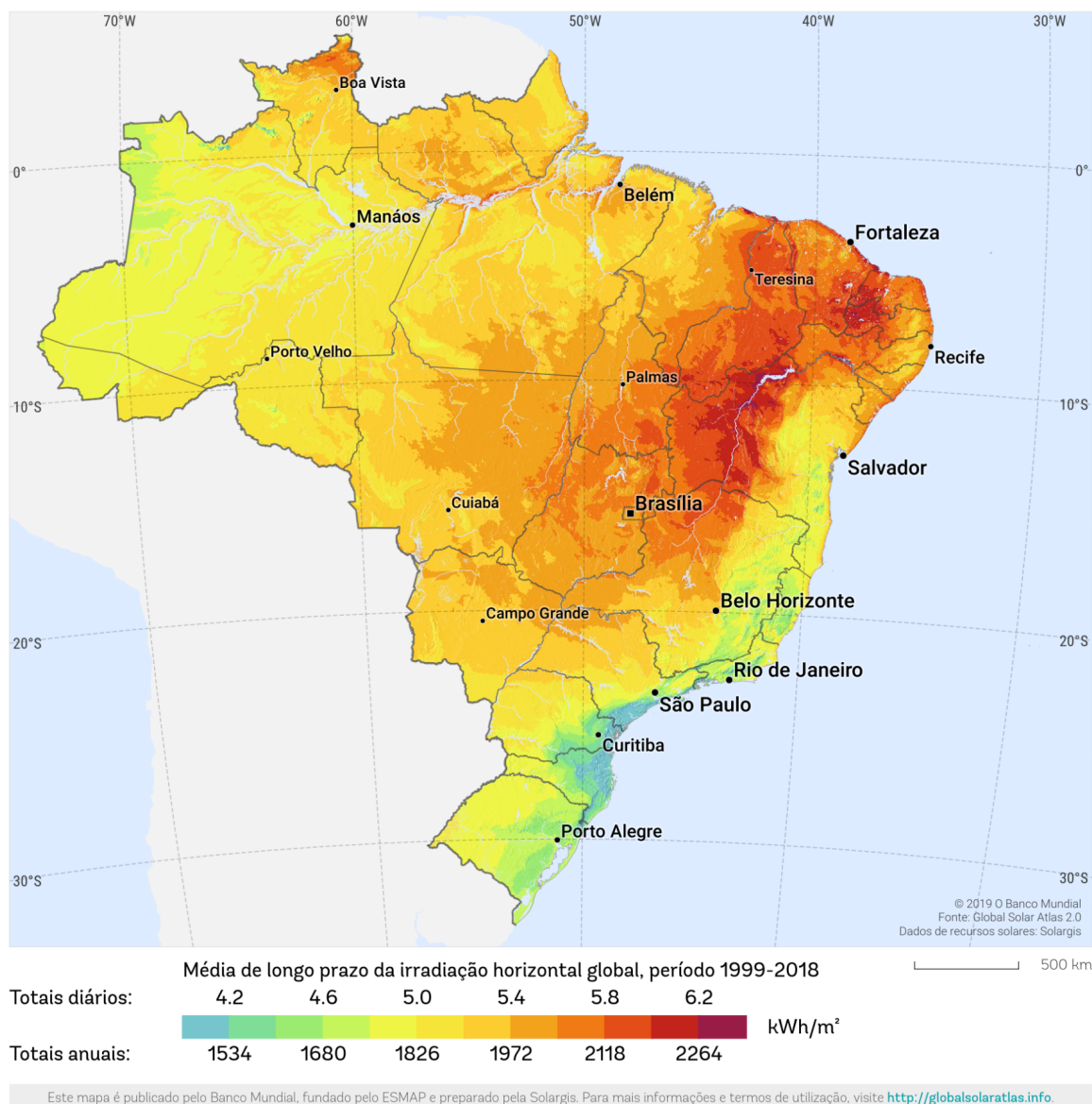
A energia solar é uma fonte de energia renovável presente de forma abundante em praticamente todo território do planeta, sendo considerada como uma fonte de energia inesgotável na escala de vida humana. A utilização dessa fonte de energia pelo homem começou com a utilização do sol para iluminação e aquecimento das residências e com o passar do tempo foi sendo utilizada para diversas outras funções, como a utilização para aquecimento de água, para dessalinização da água do mar e para a produção de energia elétrica (Fabrício Hoff, 2015).

O potencial da energia solar em uma região é determinado através da disponibilidade de radiação solar, ou seja, pela energia total que recai na superfície terrestre. Essa radiação é dependente de fatores como a inclinação do eixo da Terra e pelo formato de trajetória que o planeta percorre ao redor do sol, trajetória elíptica. Devido a esses fatores e atrelado a latitude que remete a distância de um território entre a Linha do Equador e os pólos Norte e Sul, cada território do planeta é atingido pelos raios solares com uma intensidade diferente, de modo que a distância percorrida pelos raios solares é menor nas regiões próximas à Linha do Equador. Além disso, a intensidade da radiação também é afetada pela massa atmosférica e pelas condições atmosféricas as quais atravessam para chegar à superfície terrestre (Isabela Maranhão, 2014).

Para realizar a implantação de um sistema solar para geração de energia, seja esse térmico ou fotovoltaico, é necessário realizar uma análise sobre a radiação solar presente na localidade para poder aplicar a tecnologia que possuir o melhor potencial energético. A radiação solar horizontal global pode ser dividida em dois grupos principais, sendo a radiação direta e a radiação difusa, com a primeira sendo definida como a radiação que chega à superfície terrestre de forma direta, ou seja, sem sofrer desvios na trajetória, enquanto a radiação difusa é definida como a radiação que sofre desvios na trajetória até chegar a superfície terrestre, como a passagem por uma nuvem (Isabela Maranhão, 2014).

A determinação dos dados de radiação solar e da energia a ser produzida nas instalações depende da localização exata do Sol em relação a superfície terrestre, podendo ser definida em qualquer local, dependendo apenas da altura da sua posição em determinado período do dia e pela inclinação em relação ao azimute, que é o ângulo entre a projeção do sol e o norte geográfico. Em relação a um plano inclinado, a irradiação sofre influência do albedo da superfície, que é o seu poder de reflexão, com a estação da primavera apresentando maiores níveis de irradiação e o inverno apresentando os menores (Isabela Maranhão, 2014).

Figura 9 - Mapa de irradiação horizontal global no Brasil.



Fonte: Solargis, 2020.

A utilização da energia solar para geração de energia elétrica pode ser feita através de duas tecnologias principais, a tecnologia fotovoltaica e a térmica. A tecnologia solar térmica possui três conversões principais, sendo elas a conversão da radiação solar em calor para obter energia térmica, a conversão da energia térmica em energia mecânica e a conversão desta para energia elétrica. Os coletores solares podem ser divididos em dois grupos, sendo os de concentração ou não concentração, em que os de concentração desviam os raios solares e os convergem em um único ponto para aumentar o calor ali presente, enquanto os de não concentração utilizam do exato ponto em que a luz solar atinge. Já a tecnologia solar fotovoltaica converte, diretamente, a radiação solar em energia elétrica com a utilização de

painéis constituídos por materiais semicondutores, com a geração podendo estar conectada à rede de distribuição ou sendo de forma descentralizada (Frederico Mauad, 2017).

3.3 Energia solar fotovoltaica

A utilização da energia solar como fonte luz, fonte de calor ou para geração de eletricidade tem sido considerada como uma alternativa energética promissora para ajudar a compor a matriz energética no Brasil e no mundo, tendo em vista que é uma fonte de energia renovável considerada infinita na escala de vida humana e, mesmo em intensidades diferentes, está presente em todas as partes do mundo. A energia solar fotovoltaica é a conversão da energia solar em eletricidade e a sua utilização tem contribuído para aumentar a geração de energia com fontes renováveis e diminuir a utilização das fontes não renováveis convencionais, como o petróleo e o carvão mineral, contribuindo, assim, a suprir a demanda energética da população (Marilsa de Sá, 2021).

A conversão da energia solar em energia elétrica ocorre através do chamado efeito fotovoltaico que ocorre em dispositivos chamados de células fotovoltaicas. O efeito fotovoltaico ocorre quando uma parcela da luz solar, os fótons, é absorvida pelas células fotovoltaicas em que a energia presente nos fótons é transferida para os elétrons do material que compõem a célula que são materiais semicondutores dopados, de modo que o ganho de energia pelos elétrons permite a sua movimentação entre as camadas de valência e acabam gerando corrente elétrica. Vale ressaltar, que a célula fotovoltaica não armazena a energia elétrica produzida, apenas mantém o fluxo de movimentação dos elétrons enquanto houver incidência de luz sobre ela (Eliane Almeida, 2016).

O efeito fotovoltaico foi descoberto por Alexandre-Edmond Becquerel em 1839, enquanto estudava o comportamento de determinados materiais quando estes eram expostos à luz solar, em que notou-se a produção de corrente elétrica por esses materiais. Entretanto, com a crise de energia do século XX impulsionou a utilização dessa tecnologia para contribuir a suprir a demanda de energia da população e não ser utilizada apenas nos projetos espaciais, e o desenvolvimento da tecnologia fotovoltaica foi impulsionada por empresas do setor de telecomunicações que buscavam expandir suas fronteiras e atingir populações que viviam em localidades remotas e que ainda não possuíam uma larga rede de distribuição na região.

A produção de energia elétrica a partir dos sistemas fotovoltaicos pode ser dividida em três grupos principais: a geração de energia centralizada que é a geração em larga escala e a sua produção total é mandada para as linhas de transmissão; a geração de energia isolada que é a geração em locais remotos e a sua produção é para suprir as necessidades locais; e a geração

de energia distribuída em que o sistema fotovoltaico é conectado à rede de distribuição para mandar à rede o excedente da geração (Antonio Rosa, 2016).

Célula fotovoltaica

A célula fotovoltaica é o principal componente responsável pelo funcionamento do sistema fotovoltaico por realizar a conversão da luz solar em energia elétrica através do efeito fotovoltaico. As células fotovoltaicas não possuem uma única empregabilidade, podendo ser utilizadas na confecção dos módulos/painéis solares, como filmes finos flexíveis ou como a incorporação em outros materiais, como o vidro. Os filmes finos flexíveis possuem vantagens em relação às células fotovoltaicas convencionais pois sua produção é menos complexa e utilizam menos matéria prima e menos energia em sua produção, tornando o seu custo menor. Desse modo, as células fotovoltaicas podem ser utilizadas de modo a maximizar a eficiência de conversão da energia solar em energia elétrica adequando-se às novas tecnologias da engenharia civil e da arquitetura (Lara Scherer, 2015).

Os materiais semicondutores por serem sólidos e apresentarem uma boa estrutura atômica cristalina de condutividade elétrica são mais adequados para a sua utilização no fotovoltaico, com os principais materiais semicondutores utilizados na produção das células fotovoltaicas sendo o silício, o arseneto de gálio, telureto de cádmio e o disseleneto de cobre e índio, porém a maioria das células utilizam o silício como matéria prima devido ao fato deste componente ser abundante na natureza e consequentemente possuir um custo menor. Os materiais semicondutores são classificados em dois grupos, os semicondutores intrínsecos que são aqueles materiais encontrados na natureza e que sua forma natural pura apresenta um bom comportamento elétrico, enquanto os semicondutores extrínsecos precisam passar por um processo de dopagem para alterar suas características para apresentar um bom comportamento elétrico (Regina Célia, 2014).

A classificação dos sólidos cristalinos se dá a partir de três pontos principais, a resistividade à temperatura ambiente, o coeficiente de temperatura de resistividade e a concentração de portadores de carga, determinando assim se o material será classificado como isolante, condutor ou semicondutor. Os materiais isolantes possuem elevada resistividade elétrica e os condutores possuem baixa resistividade, enquanto os semicondutores apresentam resistividade intermediária entre os dois, diminuindo conforme se tem o aumento da temperatura e por isso é considerado mais adequado na utilização fotovoltaica (Jonatas Rodrigues, 2018).

Os materiais semicondutores utilizados são sólidos cristalinos que possuem estrutura periódica na disposição dos átomos que o compõem. Essa configuração é denominada de

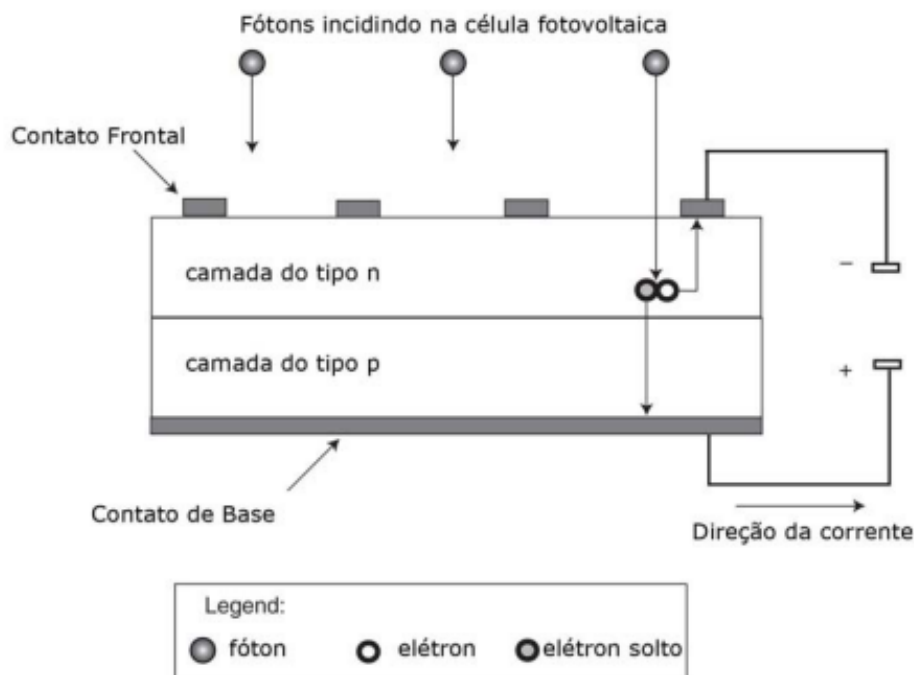
rede cristalina geométrica e se estende por todo o material. Os átomos em uma rede cristalina possuem níveis de energia, as denominadas bandas de energia, com a última faixa sendo denominada de banda de valência e a camada acima como banda de condução (Jonatas Rodrigues, 2018).

As características elétricas de um material semicondutor podem ser alteradas e controladas através da adição de impurezas, processo denominado como dopagem. Esse processo, resume-se como a substituição de um átomo da rede cristalina por átomo de um elemento de maior valência, denominado como impurezas doadoras ou por elementos de menor valência, denominados como impurezas aceitadoras, para formar ligações covalentes. Desse modo, o átomo adicionado possui mais elétrons na camada de valência e ao realizar as ligações existirá a sobra de elétrons excedentes e isso permite, à temperatura ambiente, o elétron passe da banda de valência para a banda de condução (Jonatas Rodrigues, 2018).

Os semicondutores que são dopados com impurezas doadoras possuem elétrons com maior carga elétrica e por isso são denominados como materiais semicondutores do tipo 'n', enquanto os semicondutores que são dopados com impurezas aceitadoras não possuem muitos elétrons na banda de condução e possuem "buracos" na banda de valência e por isso são denominados como materiais semicondutores do tipo 'p' (Frederico Mauad, 2017).

A junção 'pn' ocorre quando juntam-se dois materiais semicondutores, um que tenha sido dopado com uma impureza aceitadora e um que tenha sido dopado com uma impureza doadora, para obter uma justaposição entre os semicondutores. Os semicondutores tipo 'n' possuem elétrons que podem se movimentar livremente em sua rede cristalina, enquanto os semicondutores tipo 'p' possuem lacunas que movimentam-se com a mesma liberdade no cristal. Desse modo, ao realizar a justaposição dos materiais semicondutores, os elétrons livres do lado 'n' movimentam-se para o lado 'p' que possui as lacunas e os capturam, tornando assim, a carga do lado 'n' positiva e a carga do lado 'p' negativa. Com isso, cria-se uma diferença de potencial (DDP) devido a esse deslocamento das cargas, criando um campo elétrico que dificulta a passagem de mais elétrons do lado 'n' para o lado 'p', e em uma região que o campo elétrico é diferente de zero, ao ser exposto à luz solar, as cargas são energizadas e aceleradas, provocando pares de elétron-lacuna que ao serem interligados em um circuito externo, essa junção obtém corrente elétrica e tem-se a concretização do efeito fotovoltaico (Jonatas Rodrigues, 2018).

Figura 10 - Representação da junção 'pn' e efeito fotovoltaico.



Fonte: ALBRIGHT VANEK, 2008.

Geração on grid e off grid

A utilização da energia solar fotovoltaica para produção de energia elétrica pode ser classificada de acordo com a finalidade do sistema a ser implantado, de modo que pode ser agrupada em três grupos principais sendo elas a geração de energia on grid, a geração de energia off grid e a geração de energia híbrida (Regina Célia, 2014).

A geração de energia off grid resume-se à implantação de um sistema fotovoltaico que não é conectado à rede de distribuição, sendo comuns em regiões remotas, podendo fornecer energia elétrica em zonas rurais, praias isoladas, ilhas, entre outros. Além disso, a geração off grid é uma opção para substituição de sistema de geração de energia que empregam os combustíveis fósseis, como os geradores de energia movidos a óleo diesel, contribuindo para a redução dos problemas ambientais ocasionados por essas fontes, como a poluição e os ruídos. Os sistemas off grid são comumente utilizados na iluminação pública, na sinalização das estradas, nos postos de atendimento das rodovias, na alimentação das baterias dos motorhomes, sistemas aeroespaciais, sistemas de comunicação, entre outros. Todavia, por serem sistemas isolados da rede é necessário que haja um estudo de caso quanto ao consumo de energia no local onde será implantado o sistema fotovoltaico para que o dimensionamento seja capaz de suprir toda a demanda energética e que as pessoas a serem beneficiadas não corram o risco de ficarem sem energia elétrica (Frederico Mauad, 2017).

Por outro lado, um sistema on grid são os sistemas fotovoltaicos conectados à rede de distribuição elétrica e que atuam em regiões que são atendidas pela rede de distribuição. Esses sistemas podem ser classificados de duas maneiras: os sistemas de geração centralizada que possuem maior quantidade de componentes no sistema e, conseqüentemente, maior potencial de geração de energia e os sistemas de geração distribuída, com o sistema sendo associado a uma usina de geração de energia elétrica e são instalados em locais afastados dos centros consumidores; e os sistemas de geração distribuída que possuem menor quantidade de componentes e possui a finalidade de fornecer energia para a localidade em que foi instalada, como em uma residência, de modo a atuar com compensação de energia em que se o consumo for maior do que a geração, a energia faltante é obtida da rede de distribuição e caso a geração seja maior do que a demanda, o excedente é mandado para a rede de distribuição (Frederico Mauad, 2017).

Componentes do sistema fotovoltaico

O sistema fotovoltaico é composto por quatro equipamentos principais, sendo eles o módulo fotovoltaico, o inversor, o controlador de carga e a bateria. Entretanto, o sistema fotovoltaico on grid necessita apenas dos módulos e do inversor para funcionarem (Lara Scherer, 2015).

O módulo ou painel fotovoltaico é formado pelo conjunto de células fotovoltaicas e a sua potência é determinada através do produto da potência da célula fotovoltaica e da quantidade de células presente. As células fotovoltaicas são comumente produzidas a partir do silício e podem ser classificadas através de três grupos principais, amorfo, monocristalino e policristalino (Regina Célia, 2014).

Os módulos de silício monocristalinos são obtidos a partir de um único cristal de silício, possuindo um formato geométrico arredondado e aparência uniforme, tornando as células mais puras e com uma eficiência maior. Já os módulos de silício policristalinos são obtidos por uma mistura de cristais derretidos, possuindo um formato geométrico quadrado e cor variada devido à mistura de cristais. Além dessas duas classificações, existe o silício amorfo em que as células possuem alto grau de desordem, possuem baixa eficiência na conversão de energia e possuem vida útil reduzida (Elmer Cari, 2021).

Atualmente, existem outras tecnologias que são aplicadas aos módulos fotovoltaicos, como a tecnologia hal-cell em que as células fotovoltaicas são divididas ao meio, reduzindo a resistência ôhmica e distribuição das caixas de junção, aumentando a eficiência de conversão de energia e tolerância à sombra. Outra tecnologia é a dos módulos bifaciais em que a geração de energia ocorre pelos dois lados do módulo e não apenas no lado frontal como nas

tecnologias convencionais, porém os módulos bifaciais devem ser instalados em solo pois necessitam da reflexão dos raios solares para poderem atuar (Elmer Cari, 2021).

Figura 11 - Módulo fotovoltaico.



Fonte: Ecori Energia Solar, 2021.

Os inversores são componentes essenciais para o funcionamento do sistema fotovoltaico pois são responsáveis por adequar as características da energia elétrica produzida pelos módulos fotovoltaicos ao padrão da rede consumidora, ou seja, é o equipamento responsável por fazer a conversão da Corrente Contínua (CC) gerada pelos módulos em Corrente Alternada (CA). Além disso, o inversor é o equipamento responsável por monitorar a operação e geração de energia do sistema fotovoltaico, com alguns dispositivos possuindo aplicativos para celular que permitem a constante verificação dos dados de geração. O fator de dimensionamento do inversor (FDI) é a razão entre a capacidade do inversor e a potência nominal do gerador, levando em conta o clima e a região em que o sistema será instalado, considerando um sobredimensionamento em relação a potência nominal que, devido às condições climáticas, será pouco atingido durante o ano (Elmer Cari, 2021).

Conexão dos módulos fotovoltaicos

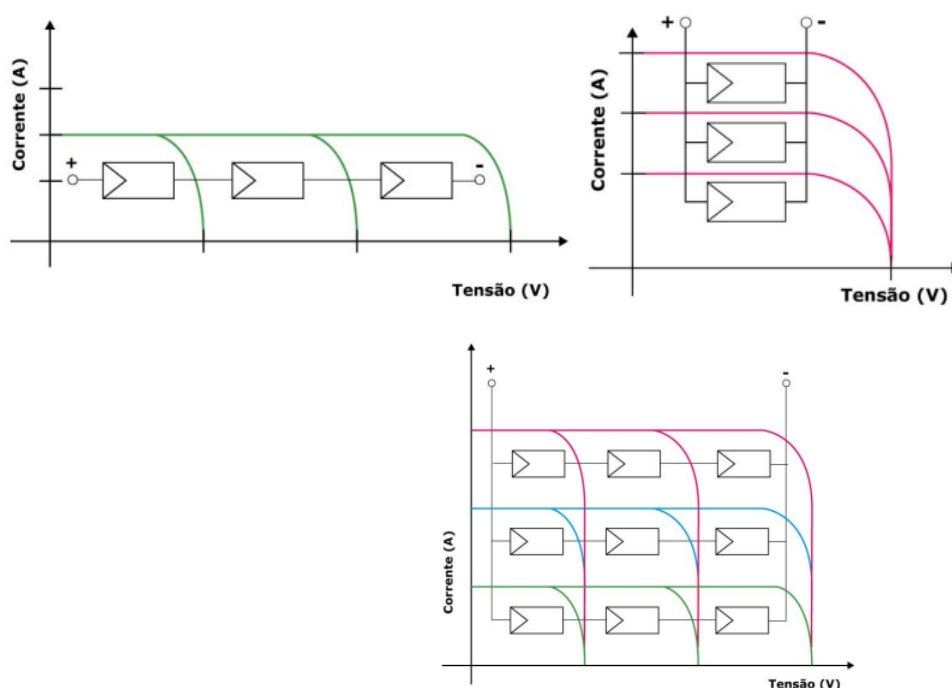
Os módulos fotovoltaicos podem ser associados em série, paralelo ou como uma combinação de ambas sendo a associação série-paralelo, para poder formar um arranjo fotovoltaico.

A associação em série permite que o pólo positivo de um módulo seja conectado ao pólo negativo do outro, assim a corrente total do sistema é igual à corrente de saída de um único módulo e a tensão do arranjo é igual a soma da tensão de cada módulo, porém ao realizar a conexão em série é necessário verificar as condições de sombreamento que podem afetar o sistema, pois se um módulo do arranjo sofrer sombreamento irá afetar toda a eficiência o sistema.

Já na associação dos módulos em paralelo, o pólo positivo de um módulo é ligado ao pólo positivo do outro módulo, assim, a tensão do arranjo é equivalente à tensão de um único módulo e a corrente do arranjo é igual a soma da corrente de cada módulo na associação, porém, em caso de sombreamento apenas o rendimento do módulo afetado é diminuído, sem afetar a eficiência dos demais módulos, diminuindo as perdas por sombreamento.

Por fim, a associação em série-paralelo é a mais comum nos arranjos fotovoltaicos de grande porte, em que os módulos fotovoltaicos são ligados em série para aumentar a tensão do sistema e os arranjos são ligados em paralelo para aumentar a corrente de saída do sistema.

Figura 12 - Associação dos módulos em série, paralelo e série-paralelo, respectivamente.



Fonte: Regina Célia, 2012.

4. METODOLOGIA

Para estudar os conceitos sobre energias renováveis com foco na energia solar fotovoltaica foi realizado um levantamento bibliográfico que consiste nos principais portais de periódicos acadêmicos sobre o tema. Essas leituras subsidiaram fichamentos que permitiram o desenvolvimento do trabalho vigente e que resultaram em análises de dados para determinar a viabilidade técnica e econômica de implantação de um sistema solar fotovoltaico em uma propriedade.

O estudo de caso será realizado em uma chácara localizada na zona rural do município de Piedade/SP. A chácara em questão, atualmente, é apenas utilizada para descanso e lazer familiar dos proprietários. Entretanto, a propriedade possui potencial para gerar renda através da locação por temporada, uma vez que a chácara tem capacidade para 18 pessoas, divididas em 4 casas. A utilização da propriedade para este fim acarretará no aumento do consumo de energia elétrica, e em função disso será realizado o dimensionamento de um sistema solar fotovoltaico para suprir a demanda energética, comparando-a com a atual demanda.

Para iniciar a análise de dimensionamento foi necessário obter as coordenadas geográficas da localização do sítio e com a utilização do site da CRESESB (Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de S. Brito), vinculado ao Ministério de Minas e Energias, obter os dados de potencial energético solar. O site da CRESESB é vinculado ao programa SunData V 3.0 que destina-se ao cálculo da irradiação solar diária média mensal em qualquer ponto do território nacional e constitui-se em uma tentativa de oferecer uma ferramenta de apoio ao dimensionamento de sistemas solar fotovoltaicos.

Com os dados de irradiação obtidos foram realizadas duas análises de consumo a fim de compará-las. A primeira será a análise da fatura de energia elétrica atual da propriedade, que possui uso periódico, de modo a obter a média de consumo para poder dimensionar um sistema que supra a sua demanda. Para iniciar a segunda análise, foi realizada uma estimativa de consumo de energia, considerando a locação do imóvel, para poder dimensionar um sistema que supra a demanda energética.

Após a obtenção de todos esses dados será determinado a potência pico do sistema solar fotovoltaico com a utilização da equação (1).

$$P_{fv} = \frac{1000 \cdot E_{fv}}{I_{rs} \cdot 30 \cdot n_{sis}} \quad (1)$$

onde:

P_{FV} : Potência pico do sistema solar fotovoltaico [W];

E_{FV} : Energia fotovoltaica a ser compensada [$\frac{kWh}{mês}$];

I_{RS} : Irradiação solar média [$\frac{kWh}{m^2 \cdot dia}$];

η_{sis} : Eficiência do sistema fotovoltaico.

Com o sistema dimensionado, foi determinado o local ideal para instalação do sistema entre instalação de solo ou em telhado para poder determinar a lista de equipamentos necessários para a instalação. Definida a quantidade de módulos, inversores, otimizadores, cabeamento e estruturas de fixação. Foi obtido o custo dos equipamentos e dos serviços de engenharia necessários para implantação do sistema solar fotovoltaico através da Plataforma 2.0 Sices Solar.

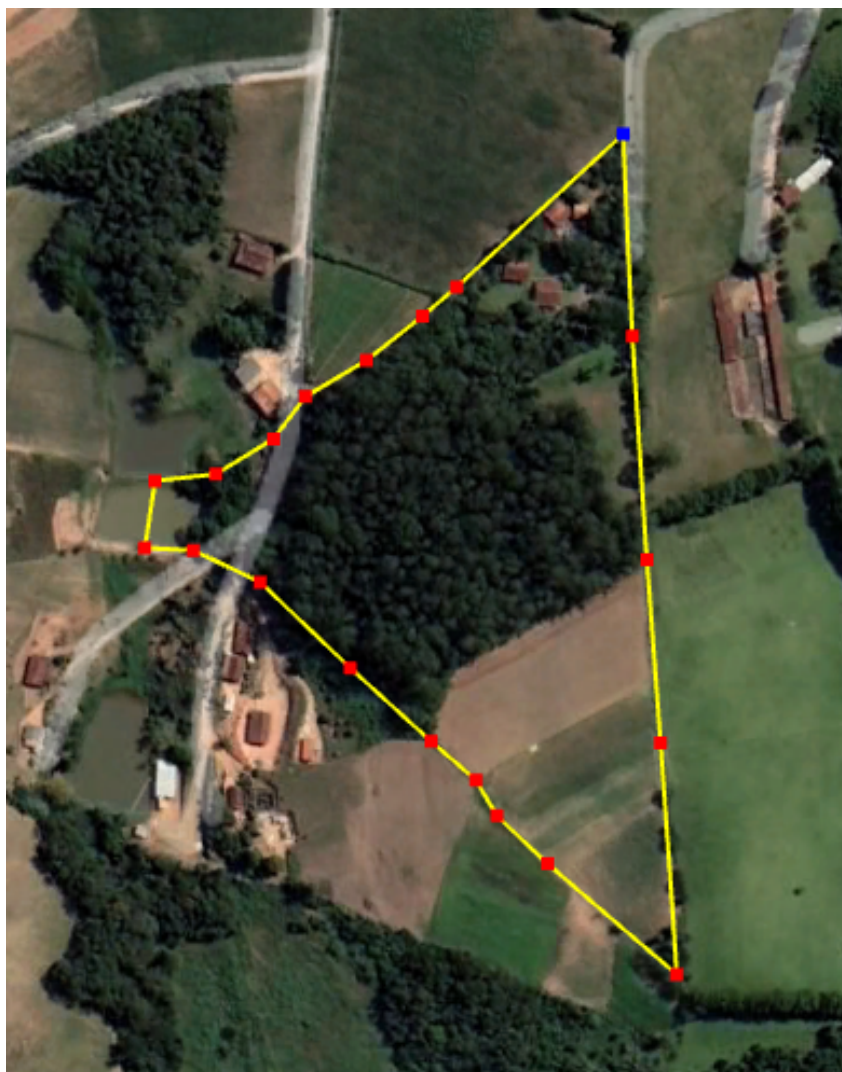
Com o sistema dimensionado e o custo determinado, foi realizada uma simulação no Software do pvSYST que é um software desenvolvido pela Universidade de Genebra na Suíça para a simulação completa de sistemas fotovoltaicos, considerando todas as perdas possíveis, como sombreamento, sujidade e inatividade por manutenção para o sistema.

Por fim, foi realizada uma análise financeira sobre a implantação do sistema a fim de determinar a viabilidade técnica e econômica da implantação do sistema solar fotovoltaico, obtendo também a análise de financiamento para realizar a implantação.

5. RESULTADOS

O estudo de caso foi realizado em uma chácara localizada na zona rural do município de Piedade/SP, conforme a Figura 13. As coordenadas geográficas da propriedade encontram-se na Figura 14.

Figura 13 - Área da propriedade.



Fonte: Google Earth.

Figura 14 - Coordenadas geográficas da propriedade.

Coordenada Geográfica

Latitude		Longitude	
23.847281	Sul ▼	47.467695	Oeste

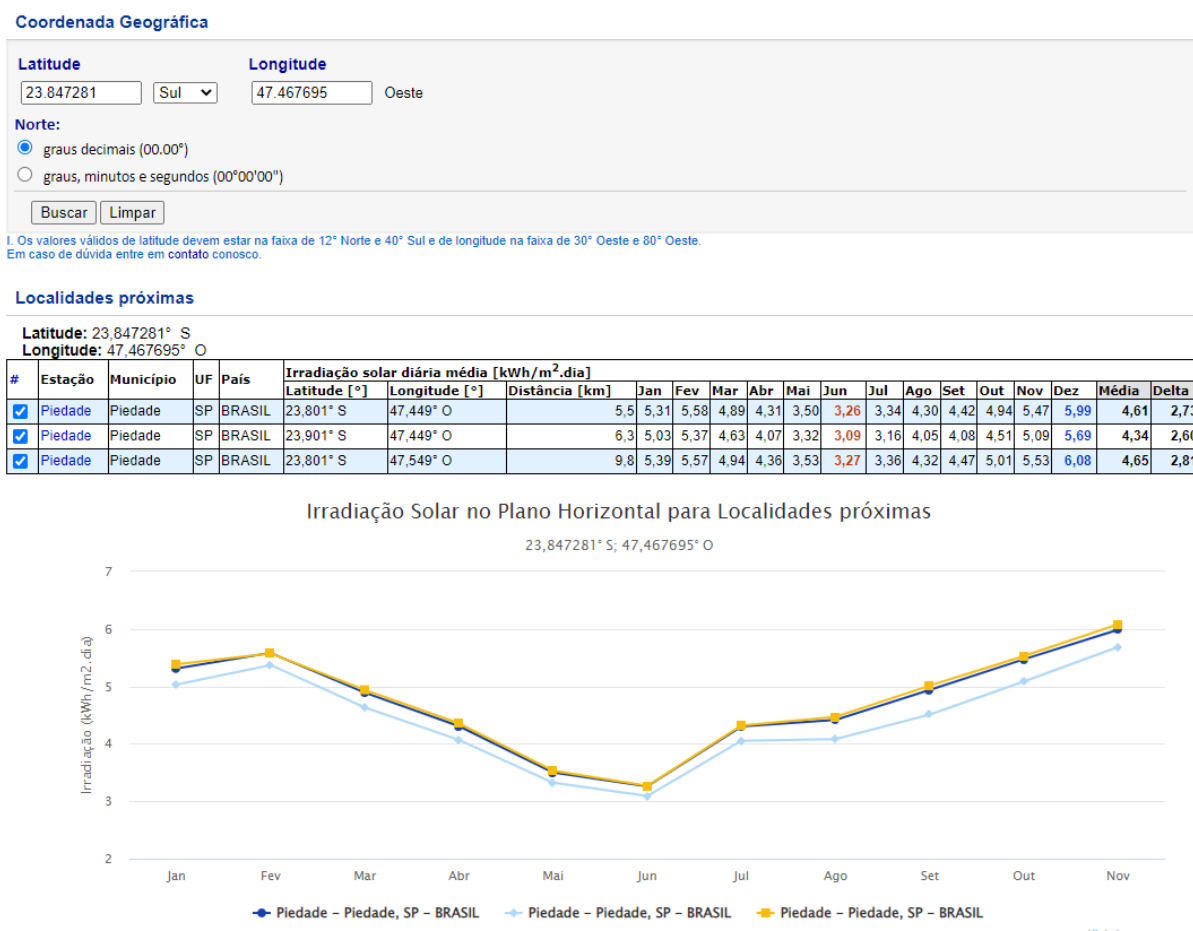
Norte:

- ☒ graus decimais (00.00°)
- ☐ graus, minutos e segundos (00°00'00")

Fonte: Google Earth.

Com a obtenção das coordenadas geográficas da propriedade, foram obtidos os dados de irradiação solar diária média mensal com a utilização do site da CRESESB, conforme exposto na Figura 15. Os dados de irradiação solar utilizados são os da estação mais próxima da propriedade, situada a 5,5 Km da estação, com o valor diário médio mensal sendo de $4,61 \left[\frac{kWh}{m^2 \cdot dia} \right]$.

Figura 15 - Dados de irradiação solar.



Fonte: CRESESB

Dimensionamento do sistema

Após a obtenção dos dados de irradiação serão realizados dois dimensionamentos a fim de comparar o consumo de energia e tamanho do sistema necessário para suprir a demanda energética. O primeiro sistema considerará o atual consumo de energia da propriedade que possui uso periódico, com o resumo do consumo expresso no Quadro 1.

Quadro 1 - Consumo de energia atual.

Ano referência	Custo mensal do cliente (Kwh)
Janeiro	160
Fevereiro	119
Março	162
Abril	163
Maio	352
Junho	180
Julho	183
Agosto	208
Setembro	195
Outubro	199
Novembro	113
Dezembro	183
Valor total	2217
Média Mensal	184,75

A propriedade é classificada como rural e é abastecida por uma rede monofásica com tensão contratada de 127/220 V. Com isso, é necessário subtrair o custo de disponibilidade da média de consumo da propriedade. O custo de disponibilidade é o valor cobrado pelas concessionárias para disponibilizar energia elétrica ao consumidor do grupo B. A resolução da ANEEL N° 414/2010, artigo 98, estabelece os seguintes valores mínimos de entrega de energia (custo de disponibilidade) conforme padrão de conexão com a rede:

- I – 30 kWh; se padrão monofásico ou bifásico a dois condutores.
- II – 50 kWh; se padrão bifásico a três condutores.
- III – 100 kWh; se padrão trifásico.

Com isso, foi necessário subtrair o valor de 30 kWh da média de consumo, totalizando uma média de 154,75 kWh/mês. Após a determinação do consumo e da irradiação, será aplicada a equação (2) para dimensionar o sistema solar fotovoltaico. Para tal será considerado um valor de 80% para eficiência do sistema.

$$P_{FV} = \frac{1000 \cdot 154,75}{4,61 \cdot 30 \cdot 0,8} = 1398,93 \text{ Wp} = 1,39 \text{ kWp} \quad (2)$$

Para realizar o segundo dimensionamento, foi necessário realizar uma estimativa de consumo de energia. Para isso, foram identificados todos os equipamentos e eletroeletrônicos que possuem gasto de energia, a potência deles e o tempo de uso diário. Todavia, pretende-se que essa propriedade seja transformada em um imóvel de aluguel de temporada, considerando apenas a locação aos finais de semana e feriado, com isso não será dimensionado um sistema que considere o consumo de energia, conforme será exposto nos quadros abaixo, para os 30 dias do mês, e sim para 15 dias.

A diferença nessa estimativa afeta diretamente o tamanho do sistema a ser dimensionado, porém o mês possui, em média, 4 finais de semana que totalizam 8 dias para ser alugado. Com isso, dimensionar um sistema solar fotovoltaico que considerará 15 dias de consumo de energia elétrica será suficiente para suprir a demanda energética, de modo a não haver exagero no dimensionamento do sistema e garantir que toda a demanda seja atingida.

A propriedade possui 4 casas e a estimativa de consumo será realizada em cada uma delas, conforme exposto nos Quadros abaixo.

Quadro 2 - Estimativa de consumo de energia elétrica na casa 1.

PLANTA RESIDENCIAL (CASA 1 - acomoda 11 pessoas)							
CÓMODO	EQUIPAMENTO	MARCA	Quantidade	Potência (W)	Tempo de uso (hh)	Energia consumida (Wh/dia)	Energia consumida (Wh/mês)
Hall	Lâmpada LED	Lexman	2	9	6	108	1620
							0
Sala de estar	Lâmpada LED	Lexman	3	9	6	162	2430
	Ventilador de teto	Ventisol	1	130	2	260	3900
	Home Theater	LG LHB645N Blu-Ray 5.1	1	1000	6	6000	90000
							0
Sala TV	Lâmpada LED	Lexman	3	9	6	162	2430
	Televisão	LG 55" 55UM7470	1	160	4	640	9600
	Ventilador de teto	Ventisol	1	130	2	260	3900
							0
Quarto 1	Lâmpada LED	Lexman	2	9	6	108	1620
	Televisão	LG 32" 32LK615BPSB	1	33	2	66	990
	Ventilador de teto	Ventisol	1	130	2	260	3900
							0
Quarto 2	Lâmpada LED	Lexman	1	9	6	54	810
	Televisão	LG 32" 32LK615B	1	33	2	66	990
	Ventilador de Mesa	Mondial Turbo Force 8 NVT-50-8P	1	150	2	300	4500
							0

Quarto 3	Lâmpada LED	Lexman	1	9	6	54	810
	Televisão	LG 32" 32LK615B	1	33	2	66	990
	Ventilador de Mesa	Mondial Turbo Force 8 NVT-50-8P	1	150	2	300	4500
							0
Quarto 4	Lâmpada LED	Lexman	1	9	6	54	810
	Televisão	LG 32" 32LK615B	1	33	2	66	990
	Ventilador de Mesa	Mondial Turbo Force 8 NVT-50-8P	1	150	2	300	4500
							0
Banheiro	Lâmpada LED	Lexman	1	9	4	36	540
	Chuveiro Elétrico	Ducha Lorenzetti	1	7500	4	30000	450000
	Torneira Elétrica	Torneira Hydra	1	5500	2	11000	165000
							0
Corredor	Lâmpada LED	Lexman	2	9	6	108	1620
							0
Área externa	Lâmpada LED	Lexman	10	9	12	1080	16200
							0
Utilização de bjetos portáteis	Celular	Apple SE 2Geração	11	20	2	440	6600
	Notebook	Acer Aspire 3 Intel Core i3	2	45	4	360	5400
	Roteador	TP-Link	1	12	24	288	4320
						Consumo total	788970

Quadro 3 - Estimativa de consumo de energia elétrica na casa 2.

PLANTA RESIDENCIAL (CASA 2)							
CÓMODO	EQUIPAMENTO	MARCA	Quantidade	Potência (W)	Tempo de uso (hh)	Energia consumida (Wh/dia)	Energia consumida (Wh/mês)
Cozinha	Lâmpada LED	Lexman	2	9	6	108	1620
	Fogão	Fogão Brastemp BFS6NCB 6 Bocas	1	1800	4	7200	108000
	Geladeira	Brastemp Frost Free Inverse	1	118	24	2832	42480
	Exaustor	Coifa Terim de Parede Clean Vidro Curvo Black	1	146	2	292	4380
	microondas	LG 30 Litros Prata MS3095	1	800	1	800	12000
							0
Sala de Jantar	Lâmpada LED	Lexman	6	9	6	324	4860
							0
Área churrasqueira	Lâmpada LED	Lexman	2	9	6	108	1620
	Televisão	LG 55" 55UM7470	1	160	4	640	9600
	Home Theater	LG LHB645N Blu-Ray 5.1	1	1000	6	6000	90000
						0	0
Dispensa	Lâmpada LED	Lexman	1	9	6		0
							0
Banheiro	Lâmpada LED	Lexman	1	9	6	54	810
						0	0
						Consumo Total	275370

Quadro 4 - Estimativa de consumo de energia elétrica na casa 3.

PLANTA RESIDENCIAL (CASA 3 - acomoda 7 pessoas)							
CÔMODO	EQUIPAMENTO	MARCA	Quantidade	Potência (W)	Tempo de uso (hh)	Energia consumida (Wh/dia)	Energia consumida (Wh/mês)
Quarto 1	Lâmpada LED	Lexman	3	9	6	162	2430
	Televisão	LG 32" 32LK615B	1	33	2	66	990
	Ventilador de Mesa	Mondial Turbo Force 8 NVT-50-8P	1	150	2	300	4500
							0
Quarto 2	Lâmpada LED	Lexman	2	9	6	108	1620
	Ventilador de Mesa	Mondial Turbo Force 8 NVT-50-8P	1	150	2	300	4500
							0
Banheiro 1	Lâmpada LED	Lexman	1	9	4	36	540
	Chuveiro Elétrico	Ducha Lorenzetti	1	7500	2	15000	225000
	Torneira Elétrica	Torneira Hydra	1	5500	1,5	8250	123750
							0
Lavabo	Lâmpada LED	Lexman	1	9	4	36	540
							0
Utilização de bjetos portáteis	Celular	Apple SE 2Geração	11	20	2	440	6600
	Roteador	TP-Link	1	12	24	288	4320
Consumo Total							374790

Quadro 5 - Estimativa de consumo de energia elétrica na casa 4.

PLANTA RESIDENCIAL (CASA 4)							
CÔMODO	EQUIPAMENTO	MARCA	Quantidade	Potência (W)	Tempo de uso (hh)	Energia consumida (Wh/dia)	Energia consumida (Wh/mês)
Sala de jogos	Lâmpada LED	Lexman	4	9	6	216	3240
	Ventilador de teto	Ventisol	1	130	2	260	3900
	Home Theater	LG LHB645N Blu-Ray 5.1	1	1000	3	3000	45000
	Televisão	LG 32" 32LK615B	1	33	2	66	990
	Video game	Playstation 4	1	137	3	411	6165
Consumo Total							59295

O Quadro 6 traz o resumo de consumo de energia elétrica das 4 residências.

Quadro 6 - Resumo da estimativa de consumo de energia elétrica.

Casa	Consumo (Wh/mês)	Consumo (kWh/mês)
Casa 1	788970	788,97
Casa 2	275370	275,37
Casa 3	374790	374,79
Casa 4	59295	59,295
Consumo total	1498425	1498,425

Após realizar a estimativa de consumo de energia elétrica será realizado o dimensionamento do sistema, repetindo os passos realizados no primeiro dimensionamento. A Quadro 7 apresenta a estimativa média de consumo de energia.

Quadro 7 - Estimativa média de consumo de energia.

Ano referência	Custo mensal do cliente (Kwh)
Janeiro	1498,425
Fevereiro	1498,425
Março	1498,425
Abril	1498,425
Maio	1498,425
Junho	1498,425
Julho	1498,425
Agosto	1498,425
Setembro	1498,425
Outubro	1498,425
Novembro	1498,425
Dezembro	1498,425
Valor total	17981,1
Média Mensal	1498,425

Conforme especificado anteriormente, a propriedade é classificada como rural e é abastecida por uma rede monofásica com tensão contratada de 127/220 V, subtraindo o valor do custo de disponibilidade de 30 kWh da média de consumo, totaliza uma média de 1468,425 kWh/mês. O dimensionamento do sistema foi obtido a partir da equação (1), como apresentado abaixo.

$$P_{FV} = \frac{1000 \cdot 1468,425}{4,61 \cdot 30 \cdot 0,8} = 13274,50 \text{ Wp} = 13,27 \text{ kWp}$$

O sistema necessário para suprir a demanda atual da propriedade seria de 1,4 kWp e o sistema necessário para suprir a demanda da chácara quando esta for utilizada para aluguel de temporada seria de 13,3 kWp, possuindo uma demanda de energia 9,5 vezes maior.

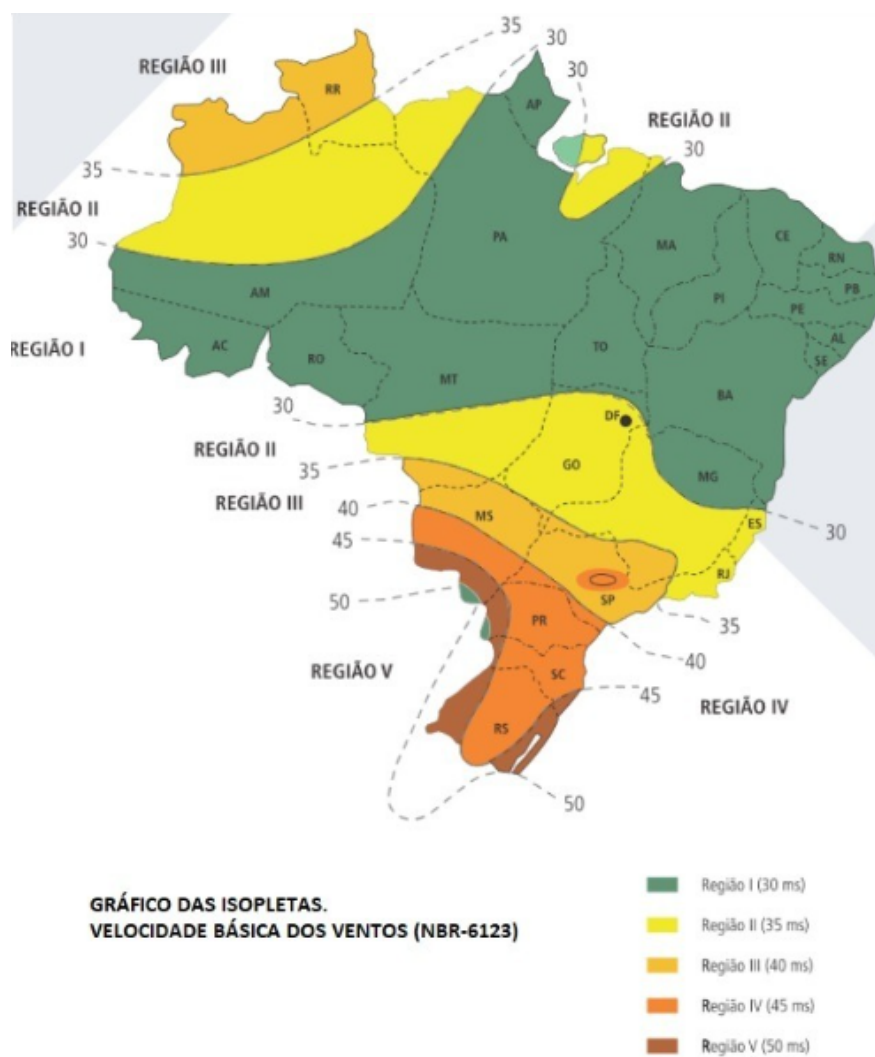
O consumo atual não necessitaria da implantação de um sistema solar fotovoltaico para suprir a demanda, porém, com a futura locação da propriedade será necessária a implantação do sistema para diminuir o custo com energia e realizar a geração de energia de forma sustentável. Por conta disso, nas próximas etapas deste trabalho será considerada apenas a demanda energética do sistema de 13,3 kwp.

Determinação do local de instalação

Com o dimensionamento do sistema realizado foi necessário analisar a propriedade para determinar se a implantação do sistema será em telhado ou em uma usina solo. Para implantar

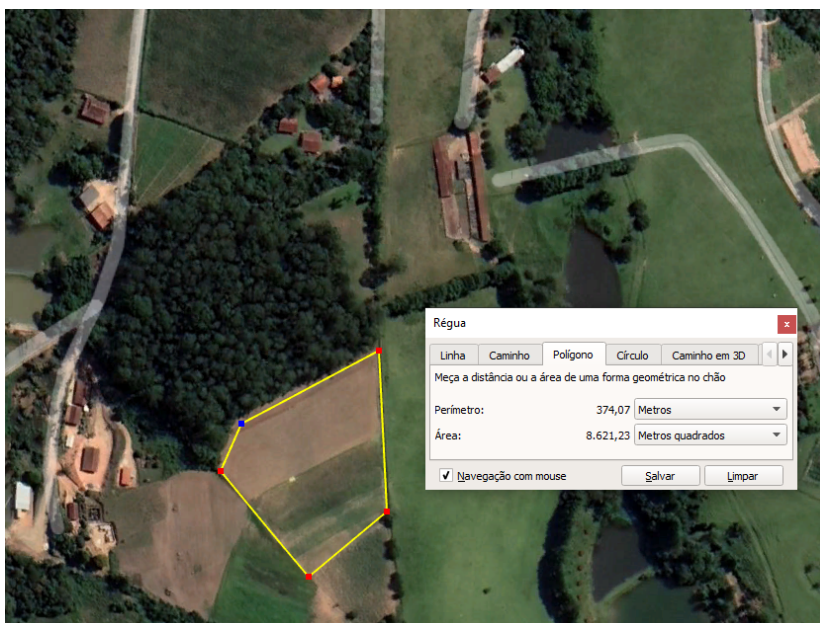
um sistema solo é necessário analisar o mapa de isopletas da região, conforme exposto nas Figuras a seguir.

Figura 16 - Mapa de isopletas do Brasil



Fonte: NBR-6123

Figura 17 - Mapa de isopletas do estado de São Paulo.



Fonte: O autor (2022).

A segunda opção para implantação do sistema seria no telhado das propriedades, conforme apresentado nas Figuras abaixo.

Figura 19 - Área dos telhados para implantação do sistema.

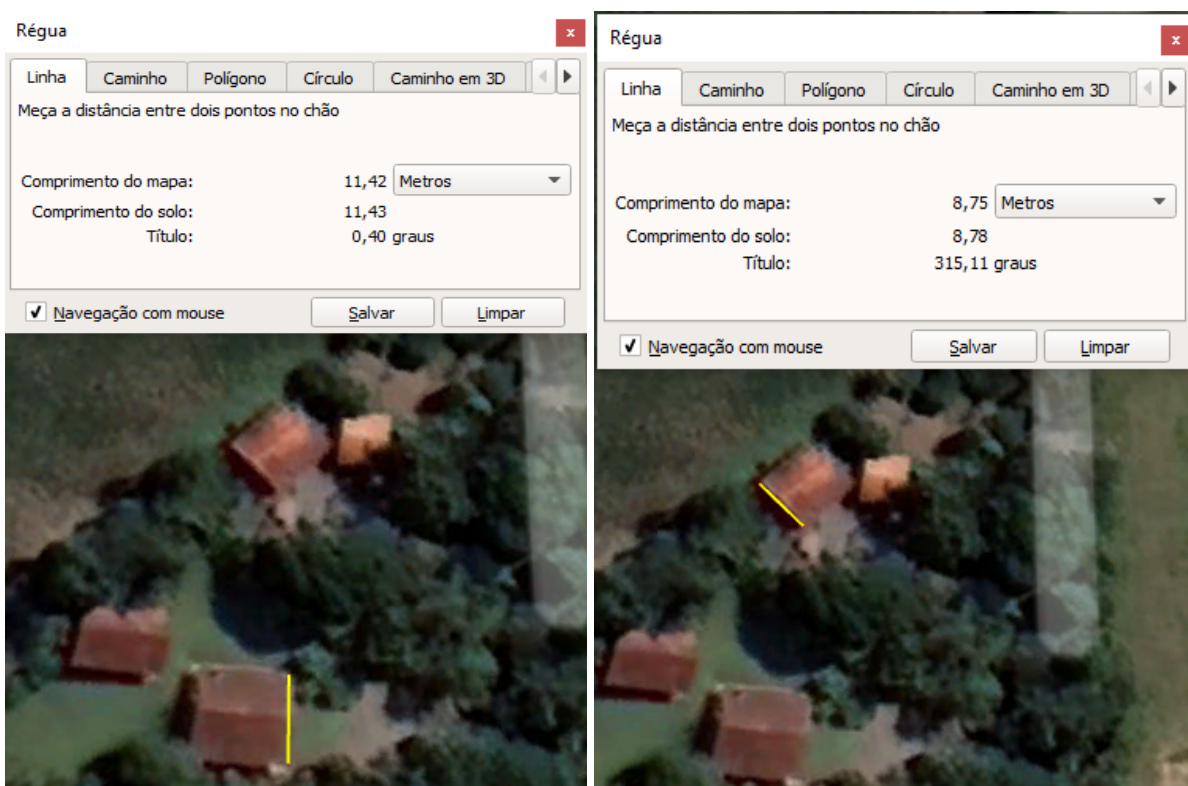


Fonte: Google Earth

Entre as quatro residências disponíveis, apenas duas possuem área disponível para realizar a implantação que não seja afetada pelo sombreamento causada pelas árvores ao redor, e para determinar o telhado de melhor aproveitamento foi analisada a direção da face do telhado e o

ângulo azimute, tendo em vista que os módulos devem ser direcionados ao norte para obterem melhor aproveitamento. A Figura 20 mostra o ângulo azimute dos telhados disponíveis.

Figura 20 - Ângulo azimute do telhado inferior e superior.



Fonte:

A escolha de implantação do sistema solo ou telhado levará em consideração os gastos para implantação, utilizando como fator determinante a distância entre a unidade geradora e a unidade consumidora, uma vez que quanto maior for a distância entre as unidades, maior será o gasto com cabeamento. Além desse ponto, a instalação em solo utiliza muito mais equipamentos de estrutura do que a fixação em telhado, possuindo um custo de implantação maior.

Desse modo, o sistema deverá ser implantado em telhado por possuir um custo de implantação menor e maior proximidade entre a unidade consumidora e a geradora. A determinação entre os telhados disponíveis será por meio do ângulo azimutal. O telhado inferior possui um ângulo azimute de $0,40^\circ$ e o telhado superior de 315° . Como o telhado inferior apresenta menor ângulo o que significa que as faces são direcionadas para o norte e sul, possibilitando melhor aproveitamento para realizar a instalação. A representação da face apontada para o norte encontra-se na Figura 21.

Figura 21 - Face norte do telhado.



Fonte:

Determinação dos materiais e serviços de engenharia

Com a determinação do local de instalação do sistema foi definida a lista de equipamentos necessários para realizar a implantação de um sistema solar fotovoltaico de 13,3 kWp. Para definir a lista de equipamentos foi utilizada a Plataforma 2.0 Sices Solar.

Quadro 8 - Lista de equipamentos.

Produto	QTD
MÓDULO FOTOVOLTAICO JA SOLAR - JAM78S10-445/MR - 445WP - MONO - 1500V - F40MM	30
TIGO TS4-A-O - Otimizador de potência, monitoramento e segurança	30
INVERSOR FV SUNGROW MONO - SG6.0RS - 6KW - 2MPPT - 220V - C/MONIT	2
SICES SOLAR PERFIL CERAMIC ROOFTOP 3,15MT	36
SICES SOLAR PERFIL CERAMIC ROOFTOP 2,10MT	13
Terminal Final Sices 2.0 40mm	28
Terminal Intermediário Sices 2.0 40mm	46
CABO SOLAR 6MM ATE 1800V CC PT ABNT NBR 16612	220
CABO SOLAR 6MM ATE 1800V CC VM ABNT NBR 16612	220
PAR CONECTORES FV FEMEA/ MACHO	8
SICES SOLAR 2.0 - GANCHO TUBULAR DE ALUMÍNIO	102
SICES SOLAR 2.0 JUNÇÃO CERAMIC ROOFTOP	38
SICES SOLAR PORCA M10 INOX A2	102
SICES SOLAR PARAFUSO CABECA MARTELO M10 28/15	102
TIGO KIT de Monitoramento CCA + TAP	1

Fonte: Sices Solar, 2022.

Para a instalação do sistema são necessários alguns serviços de engenharia. No Quadro 1 são apresentados os principais serviços necessários para a instalação.

Quadro 9: Serviços de engenharia.

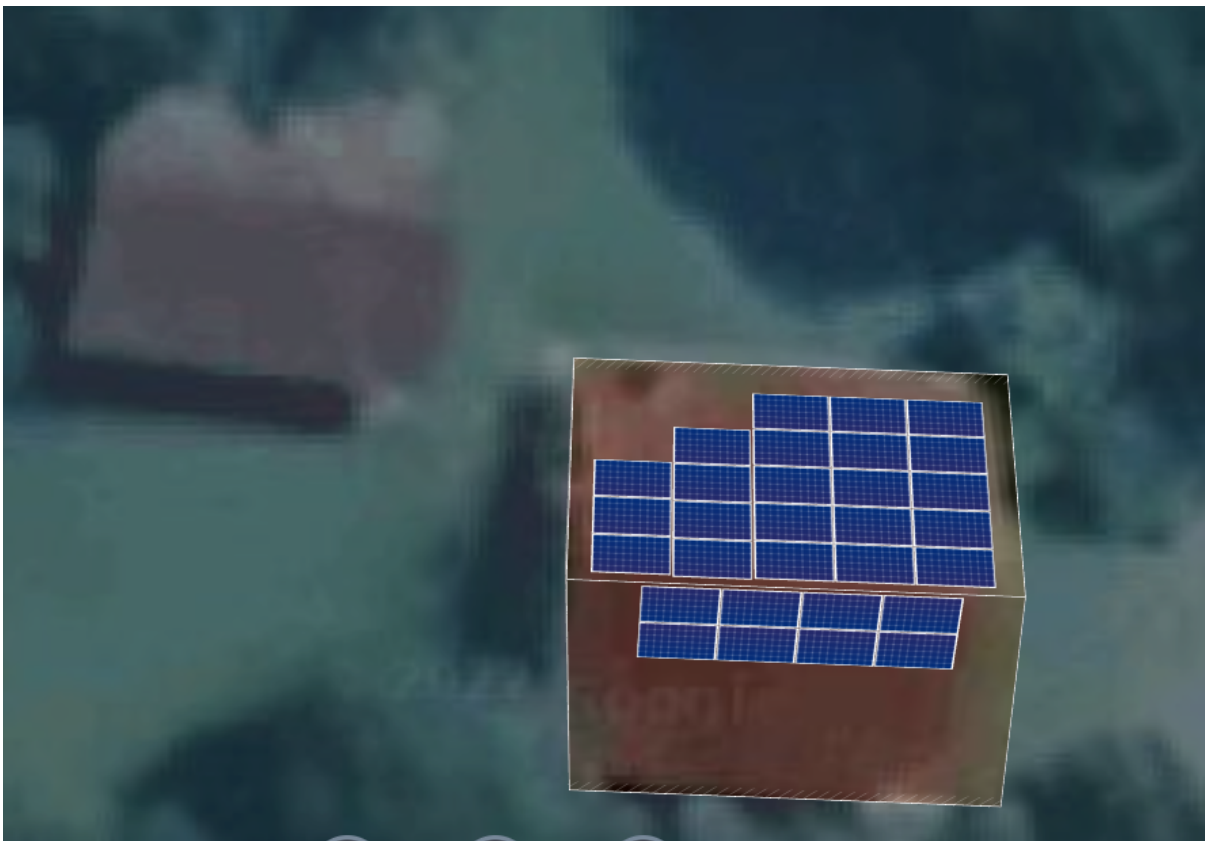
PROJETO BASICO BAIXA TENSÃO	Projeto EXECUTIVO	Montagem do sistema
Diagrama unifilar	Planta Estrutura	montagem da estrutura, fixação dos módulos, fixação e montagem do inversor e quadros, fixação das caixas de junção (combiner box) e instalações elétricas de BT e MT
Planta de localização	Planta Infraestrutura	
Planta de situação	Planta Roteamento	
Memorial descritivo	Planta SPDA	
Formulários + ART	Lista de Materiais	
	Memorial descritivo 1 Revisão (inclusa)	

Fonte: Sices Solar, 2022.

Representação do sistema

Após dimensionar o sistema solar fotovoltaico e determinar os equipamentos a serem utilizados foi realizada uma representação da disposição dos módulos no telhado e a configuração dos módulos e inversores. Os resultados encontram-se na Figura 22.

Figura 22 - Representação da disposição dos módulos.



Fonte: SolarEdge, 2022

A disposição dos módulos foi realizada de modo a posicionar a maior quantidade na face apontada para o norte, possuindo 22 módulos, enquanto a face sul apresenta 8 módulos. O conjunto de módulos está em posição de paisagem e inclinação de 25°, acompanhando a inclinação do telhado.

O cálculo do arranjo fotovoltaico no inversor encontra-se descrito no Quadro 9 abaixo.

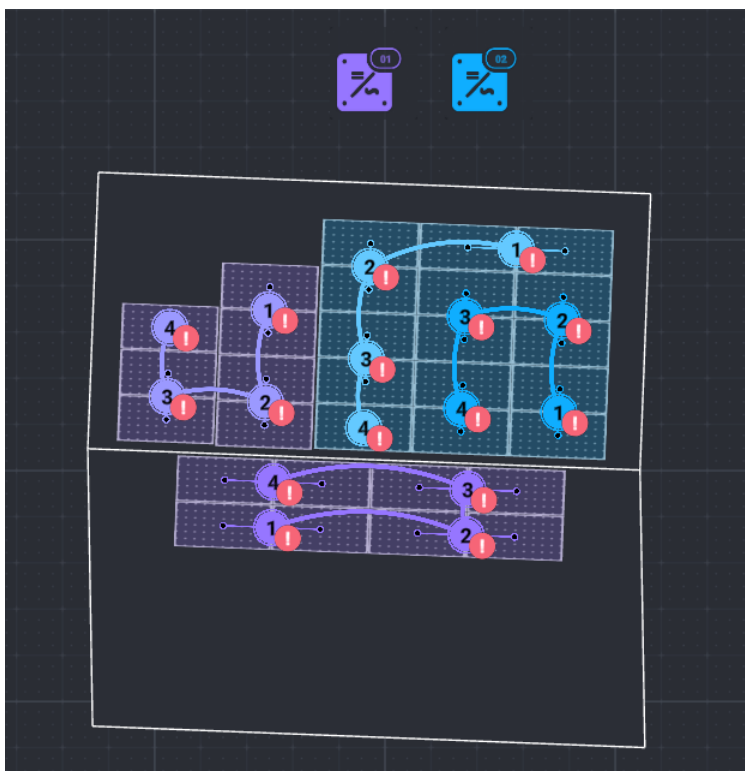
Quadro 9 - Determinação do arranjo fotovoltaico.

Cálculo do Arranjo fotovoltaico com inversor (ver <i>datasheet</i> do módulo fotovoltaico e inversor)										
Local da Instalação		Temp	INVERSOR - fabricante				Sungrow			
T min ambiente [°C]		10	Modelo				SG6K-D - 6KW - 2 MPPT - 220V			
T min célula, operação [°C]		25	Característica		MPPT 1		MPPT 2	Total		
T max célula, operação [°C]		75	P nom [W]		6000		6000	6000		
			P max c.c. [W]		7800	caso não apareça	7800	7800		
			I max [A]		15		15			
			V max [V]		600		600			
			V MPP min [V]		160		160			
			V MPP max [V]		480		480			
MÓDULO - fabricante		JA Solar	Cálculo		Resultado	Ajustado	Resultado	Ajustado	Resultado	Ajustado
Modelo		JAM78S10-445/MR - 445WP	Nº máx módulos por string V max		10,8	10	10,8	10		
P nom [Wp]		445	Nº mín módulos por string V MPP min		4,1	5	4,1	5		
I SC [A]		10,48	Nº máx módulos por string V MPP max		10,6	10	10,6	10		
V MPP nom [V]		45,18	Nº máx módulos total P max		17,5	17	17,5	17	17,5	17
V OC [V]		53,31	Nº máx strings em paralelo		1,43	1	1,43	1		
Coef V [%/°C]		-0,272%	Layout escolhido		MPPT 1	Verificação	MPPT 2	Verificação	Total	Verificação
V OC max [V]		55,5	Nº strings		1	ok	1	ok		
V MPP min [V]		39,0	Nº módulos por string		7	ok	8	ok		
V MPP max [V]		45,2	Nº módulos total		7	ok	8	ok	15	ok
			Potência total		3.115		3.560		6.675	
			Fator de dimensionamento		52%		59%		111%	ideal
Valor = Valor-base x (1 + (Temp – 25) x Coef)										

Fonte: Autor, 2022

Com isso, é possível realizar a representação da configuração de módulos por string do inversor, conforme representado na figura abaixo.

Figura 23 - Arranjo fotovoltaico no inversor



Fonte: SolarEdge, 2022.

Geração de energia do sistema

A determinação da energia produzida pelo sistema será realizada de duas maneiras. A primeira será pela utilização da equação 2, sendo um método mais conservador por não considerar as perdas do sistema. A segunda maneira será através da realização de uma simulação nos softwares da SolarEdge e do pvSYST.

A equação utilizada para determinar a geração foi:

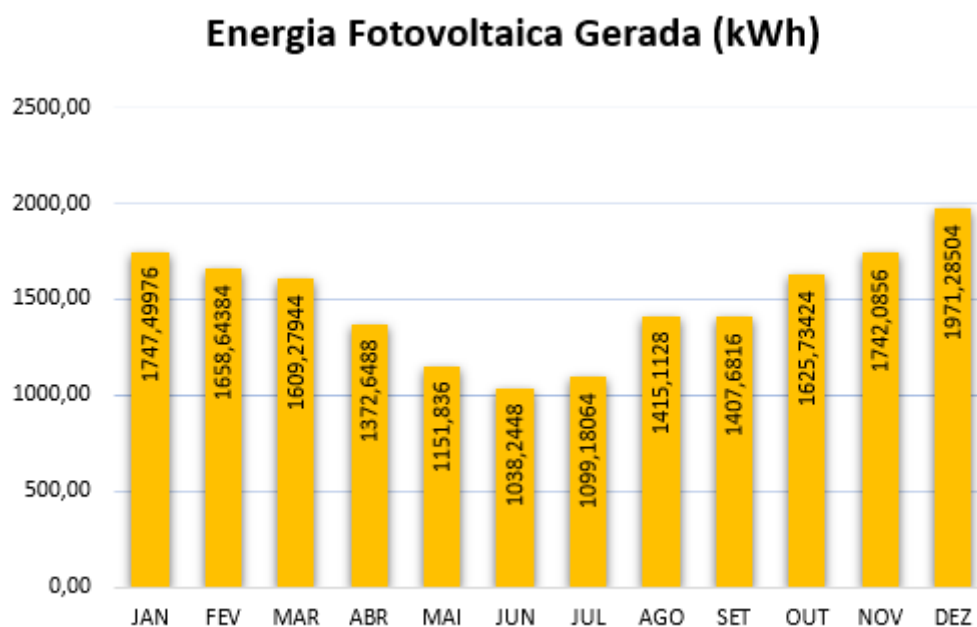
$$E_{FV} = P_{FV} * I_{RS} * nro_dias * \eta_{sis} / 1000 \left[\frac{kWh}{mês} \right] \quad (2)$$

Os dados utilizados e resultados obtidos encontram-se no Quadro abaixo.

Quadro 11 - Geração de energia.

Previsão da Energia Fotovoltaica Mês a Mês			
Mês	Dias	Irradiação Solar (GHI): kWh/m². dia	Energia Fotovoltaica Gerada (kWh)
JAN	31	5,31	1748,09
FEV	28	5,58	1659,21
MAR	31	4,89	1609,82
ABR	30	4,31	1373,11
MAI	31	3,5	1152,23
JUN	30	3,26	1038,60
JUL	31	3,34	1099,55
AGO	31	4,3	1415,59
SET	30	4,42	1408,16
OUT	31	4,94	1626,29
NOV	30	5,47	1742,68
DEZ	31	5,99	1971,95
	Total		17845,28
	Média	4,61	1487,11

Gráfico 1 - Geração de energia.



Fonte: Autor, 2022.

Ao utilizar o software da SolarEdge, os principais resultados obtidos podem ser observados na Figura XX a seguir..

Figura 24 - Resolução da simulação no software SolarEdge.



Fonte: SolarEdge, 2022.

O software pvSYST permite que na simulação sejam adicionados diversos fatores que influenciam o rendimento do sistema, como o efeito de sombreamento, a degradação dos módulos, a resistividade dos cabos, o período de inatividade para manutenção e limpeza, entre outras. Os principais resultados obtidos encontram-se no Quadro 2 abaixo e o restante do relatório encontra-se no Anexo 1.

Figura 25 - Resolução da simulação no software pvSYST.

Sistema acoplado à rede: Resultados principais				
Projeto :		Sitio Piedade		
Variante da simulação :		inversor de 6		
Simulação para a 1º ano de funcionamento				
Parâmetros principais do sistema		Tipo de sistema		Building system
Sombras próximas		Sombras lineares		
Orientação do plano dos módulos		inclinação	25°	azimute 0°
Módulos FV		Modelo	JAM72S20-445/MR	Pnom 445 Wp
Grupo FV		Número de módulos	30	Pnom total 13.35 kWp
Inversor		Modelo	SG6.0RS	Pnom 6.00 kW ac
Bateria de inversores		Número de unidades	2.0	Pnom total 12.00 kW ac
Exigências do consumidor		Carga ilimitada (rede)		
Resultados principais da simulação				
Produção do sistema		Energia produzida	15.89 MWh/ano	Prod. específica 1190 kWh/kWp/ano
		Índice de performance (PR)	84.86 %	

Fonte: pvSYST, 2022.

Com a obtenção dos dados de geração, pode-se notar a diferença entre a estimativa de forma conservadora pela utilização da equação (2), que propôs geração anual de 17,8 MWh sem considerar as perdas do sistema, enquanto a utilização dos softwares mostra a geração mais próxima do real com produção de 15,89 MWh. Ainda sim, a energia produzida seria capaz de suprir a demanda energética da propriedade, mostrando-se eficiente a implantação do sistema solar fotovoltaico.

Análise financeira

A última etapa do projeto foi a realização da análise financeira da implantação do sistema solar fotovoltaico. Para isso, foi realizada a análise de payback simples e uma simulação de financiamento. O valor total de implantação do sistema solar fotovoltaico considerando a lista de materiais e serviços de engenharia apresentados foi de R\$69.129,28.

Tendo em vista que a chácara será utilizada para locação de temporada, precisa-se determinar o valor para locação. Em buscas realizadas em sites de reservas, constatou-se que o preço médio da diária cobrada em locação de propriedades na região é de R\$40,00 por pessoa. A chácara possui acomodação para 18 pessoas, permitindo que o aluguel da propriedade possa chegar a um valor em torno de R\$1500,00 por final de semana. Considerando o valor do aluguel para abater o custo de implantação do sistema, foi possível realizar três análises de payback simples, uma considerando o aluguel de todos os finais de semana no ano, uma considerando apenas o aluguel de um final de semana por mês e a terceira considerando aluguel intercalado entre mês completo e um com apenas uma locação. Os resultados encontram-se nos gráficos abaixo.

Gráfico 2 - Payback simples, por ano, com todos os finais de semana alugados.

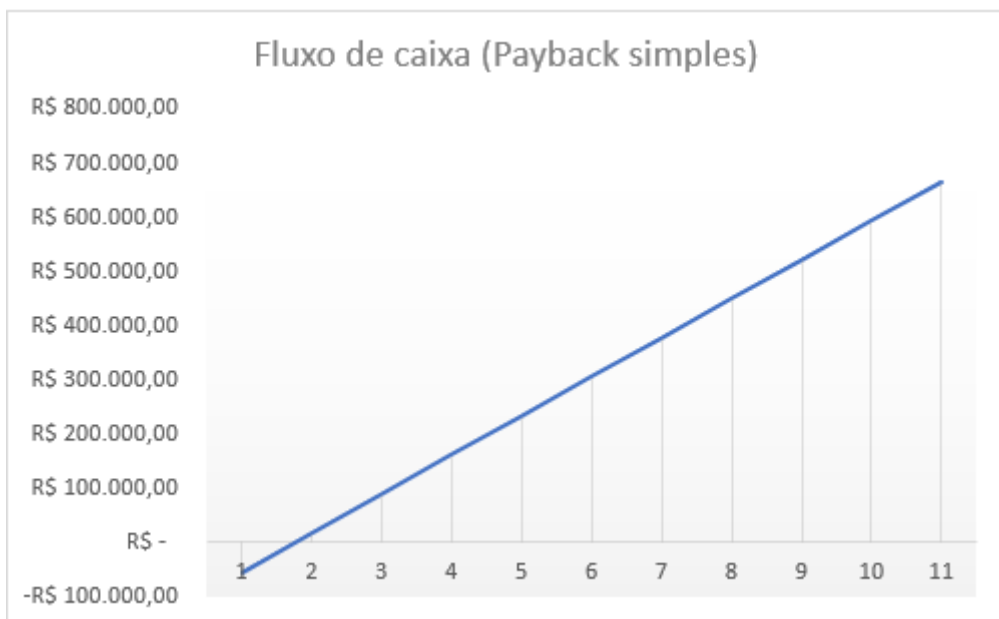


Gráfico 3 - Payback simples, por ano, com um final de semana alugado por mês.



Gráfico 3 - Payback simples, por ano, com mês completo e incompleto na locação.



Através da análise do payback simples, pode-se notar a rentabilidade de implantação do sistema, tendo em vista que no pior cenário, o payback foi de 4 anos, enquanto no melhor foi de 2 anos.

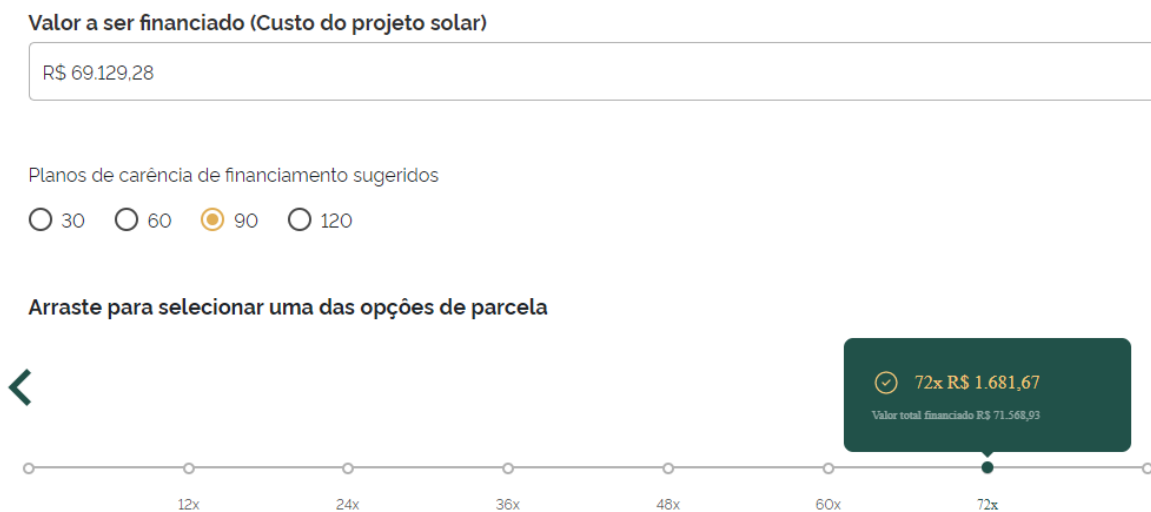
Por fim, foi realizada uma simulação de financiamento para a implantação do sistema com o banco CREDSOLARIS, considerando o início do pagamento do sistema após 90 dias e prazos de 60 e 72 meses. Os valores das simulações encontram-se nas Figuras abaixo.

Figura 26 - Simulação com financiamento em 60 parcelas.



Fonte: CREDSOLARIS

Figura 27 - Simulação com financiamento em 72 parcelas.



Fonte: CREDSOLARIS

Com os resultados da simulação do financiamento, foi possível constatar a inviabilidade, considerando as condições propostas devido ao alto valor final que será cobrado, tanto para o parcelamento em 60 meses quanto para o parcelamento em 7 meses. Uma vez que o parcelamento em 60 meses elevaria o sistema para o custo de R\$112.302,00, representando um aumento de R\$43.172,72, aproximadamente 60% do valor do sistema, e o parcelamento 72 meses elevaria o custo do sistema para R\$121.080,24, representando um aumento de R\$51.950,96, aproximadamente 74% do valor do sistema.

6. CONCLUSÕES

O objetivo do trabalho vigente era analisar a viabilidade de implantação de um sistema solar fotovoltaico em uma propriedade localizada no município de Piedade/SP. Pode-se concluir que o trabalho obteve dados suficientes para gerar a análise desejada, obtendo resultados que permitiram dimensionar o sistema, quantificar os equipamentos e serviços principais de engenharia elétrica necessários para realizar a instalação, obter dados de estimativa de geração com a utilização de softwares e realizar a análise financeira de implantação do sistema solar fotovoltaico.

Na primeira etapa foi realizado o dimensionamento do sistema fotovoltaico capaz de suprir a demanda energética atual da propriedade, o qual foi de 1,4 kWp. Em seguida, foi realizado a estimativa de consumo de energia da propriedade, considerando o uso da mesma para locação por temporadas, para poder dimensionar um sistema que supra a futura demanda, chegando a um sistema de 13,3 kWp.

Após o dimensionamento do sistema, foi determinado o local de instalação para poder realizar o levantamento dos equipamentos e serviços de engenharia necessários para a implantação do sistema, obtendo um custo de R\$69.129,28. Com a lista de equipamentos definida, foi realizada a representação de disposição dos módulos e a análise do arranjo fotovoltaico nos inversores.

Com o sistema solar fotovoltaico definido, foi realizada uma simulação a partir do software pvSYST para determinar os dados de produção de energia do sistema ao longo do ano, considerando perda de degradação dos módulos, sombreamento, períodos de inatividade do sistema, entre outras. Como resultado da simulação, obteve-se que o sistema seria capaz de produzir 15,89 MWh de energia anual, suprimindo assim a demanda energética estimada para os períodos de locação da propriedade.

Por fim, foi realizada a análise financeira de implantação do sistema considerando a renda obtida com a locação da propriedade para abater o custo de implantação. A análise realizada utilizou três parâmetros para determinar o payback simples, considerando o aluguel de todos os finais de semana no mês, considerando apenas um aluguel no mês e a mesclagem entre as análises anteriores. Os resultados obtidos mostram que o sistema, mesmo no pior cenário estipulado, possui o payback simples para menos de 5 anos, comprovando a viabilidade financeira de realizar a implantação do sistema. Foi realizada uma simulação para financiamento do valor a ser investido com a implantação do sistema, considerando início do pagamento para 90 dias e parcelamento em 60 e 72 meses. Com essas condições de

financiamento, a implantação não mostrou-se economicamente viável, tendo em vista o aumento em mais de 50% do valor inicial do sistema.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, Marcelo Pinho. Implicações técnicas da inserção em grande escala da geração solar fotovoltaica na matriz elétrica. 2017. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

BEZERRA, Filomena Nádia Rodrigues. Sustentabilidade da matriz energética brasileira. 2016.

BRITO, Miguel C.; SILVA, José A. Energia fotovoltaica: conversão de energia solar em electricidade. O instalador, v. 25, n. 676, p. 07, 2006.

CARVALHO, Joaquim Francisco de. Energia e sociedade. Estudos avançados, v. 28, p. 25-39, 2014.

CARVALHO, Joaquim Francisco de. O Declínio da era do petróleo e a transição da matriz energética brasileira para um modelo sustentável. 2009. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

CAUS, Tuane Regina. Energia hidrelétrica: eficiência na geração. 2014.

DA ROSA, Antonio Robson Oliveira; GASPARIN, Fabiano Perin. Panorama da energia solar fotovoltaica no Brasil. Revista brasileira de energia solar, v. 7, n. 2, p. 140-147, 2016.

DE OLIVEIRA, Gilson Batista. Uma discussão sobre o conceito de desenvolvimento. Revista da FAE, v. 5, n. 2, 2002.

DIAS, Maria Olívia. O desenvolvimento e a qualidade de vida no centro da agenda actual—duas realidades complementares. Gestão e desenvolvimento, n. 15-16, p. 3-19, 2008.

DONEV, J. Energy Education - Total Primary Energy Supply. University of Calgary. Calgary, 2017. Disponível em https://energyeducation.ca/encyclopedia/Total_primary_energy_supply.

DOS SANTOS, Paola Ribas Gonçalves et al. Fontes Renováveis e não renováveis geradoras de energia elétrica no Brasil. 2015.

DOS SANTOS, Rodrigo Miguel; DE SÁ RODRIGUES, Marilsa; CARNIELLO, Monica Franchi. Energia e sustentabilidade: panorama da matriz energética brasileira. Scientia: Revista Científica Multidisciplinar, v. 6, n. 1, p. 13-33, 2021.

DUPONT, Fabrício; GRASSI, Fernando; ROMITTI, Leonardo. Energias Renováveis: buscando por uma matriz energética sustentável. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental Santa Maria, v. 19, n. 1, Ed. Especial, p. 70 – 81 Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas – UFSM.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. Plano Nacional de Energia 2030. Rio de Janeiro: EPE, 408 p., 2007.

FARIAS, Leonel Marques; SELLITTO, Miguel Afonso. Uso da energia ao longo da história: evolução e perspectivas futuras. Revista Liberato, v. 12, n. 17, p. 07-16, 2011.

LANA, Luana Teixeira Costa et al. Energia solar fotovoltaica: revisão bibliográfica. Engenharias On-line, v. 1, n. 2, p. 21-33, 2015.

LYRA, Mariana. Recursos naturais: gás natural. Revista Política Hoje, v. 23, n. 1, p. 149-174, 2014.

MARANHÃO, Isabela Martins. Estudo sobre a tecnologia heliotérmica e sua viabilidade no Brasil. 2014.

MARTINS, Fernando Ramos; GUARNIERI, Ricardo André; PEREIRA, Enio Bueno. O aproveitamento da energia eólica. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 30, p. 1304.1-1304.13, 2008.

MAUAD, Frederico Fábio; FERREIRA, Luciana da Costa; TRINDADE, Tatiana Costa Guimarães. Energia renovável no Brasil: análise das principais fontes energéticas renováveis brasileiras.[sl: sn]. DOI, v. 10, p. 9788580230529.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). Balanço Energético Nacional. Brasília, DF, 2018. Disponível em: <http://www.epe.gov.br>.

MIRANDA, Raul Figueiredo Carvalho. Análise da inserção de geração distribuída de energia solar fotovoltaica no setor residencial brasileiro. Universidade Federal do Rio de Janeiro: Rio de Janeiro, Brazil, 2013.

SARAIVA, Luiz Alex Silva; RAMPAZO, Adriana Vinholi (Org.) Energia, organizações e sociedade/ Luiz Alex Silva Saraiva e Adriana Vinholi Rampazo. – Recife: Fundação Joaquim Nabuco, Editora Massangana, 2017. 284 p.

SCHERER, Lara Almeida et al. Fonte Alternativa de Energia: energia solar. XX Seminário Interinstitucional de ensino, pesquisa e extensão. Universidade de cruz Alta/RS, 2015.

SILVA, Jonatas Rodrigues. Uma sequência de ensino investigativa para a abordagem do efeito fotovoltaico. 2020.

TOLMASQUIM, Mauricio T.; GUERREIRO, Amilcar; GORINI, Ricardo. Matriz energética brasileira: uma prospectiva. Novos estudos CEBRAP, p. 47-69, 2007.

TORRES, Regina Célia. Energia solar fotovoltaica como fonte alternativa de geração de energia elétrica em edificações residenciais. 2012. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

VIEIRA, Pedro Américo. Energia solar fotovoltaica e geração distribuída: um salto de inovação na matriz elétrica brasileira entre 2009-2018.

WENG, LUCAS. MODELO DE AVALIAÇÃO DE VIABILIDADE SUSTENTÁVEL DE SOLUÇÃO DE AUTONOMIA ENERGÉTICA.

ANEXO 1

PVSYST V6.88	SICES BRASIL LTDA (Brazil)		09/11/22	Página 1/5
--------------	----------------------------	--	----------	------------

Sistema acoplado à rede: Parâmetros da simulação

Projeto :

Sítio Piedade

Localização geográfica

Sítio Ogata

País

Brazil

Localização

Latitude

-23.85° S

Longitude

-47.47° W

Tempo definido como

Tempo legal

Fuso horário TU-3

Altitude

1014 m

Albedo

0.20

Dados meteorológicos:

Sítio Ogata

Meteonorm 7.2, Sat=100% - Sintético

Variante da simulação :

inversor de 6

Data da simulação

09/11/22 12h36

Simulação para a

1º ano de funcionamento

Parâmetros da simulação

Tipo de sistema

Building system

Orientação do plano dos módulos

Inclinação

25°

Azimute

0°

Modelos utilizados

Transposição

Perez

Difuso

Perez, Meteonorm

Horizonte

Sem horizonte

Sombras próximas

Sombras lineares

Exigências do consumidor :

Carga ilimitada (rede)

Características do grupo FV

Módulo FV

Si-mono

Modelo

JAM72S20-445/MR

Custom parameters definition

Fabricante

JA Solar

Número de módulos FV

Em série

10 módulos

Em paralelo

3 strings

Número total de módulos FV

Nr. módulos

30

Potência unitária

445 Wp

Potência global do grupo

Nominal (STC)

13.35 kWp

Em condições de func.

12.24 kWp (50°C)

Características de funcionamento do grupo (50°C)

Ump

378 V

I mpp

32 A

Superfície total

Superfície módulos

66.7 m²

Superfície célula

59.9 m²

Inversor

Modelo

SG6.0RS

Custom parameters definition

Fabricante

Sungrow

Características

Tensão de funcionamento

40-560 V

Potência unitária

6.00 kWac

Bateria de inversores

N.º de inversores

2 unidades

Potência total

12.0 kWac

Rácio Phom

1.11

Fatores de perda do grupo FV

Perdas sujidade grupo

Fator de perdas térm.

Uc (const.)

29.0 W/m²K

Fração perdas

3.0 %

Uv (vento)

0.0 W/m²K / m/s

Perdas ôhmicas nos cabos

Res. global do grupo

193 mOhm

Fração perdas

1.5 % em STC

Perdas diodo série

Queda de tensão

0.7 V

Fração perdas

0.2 % em STC

LID - "Light Induced Degradation"

Fração perdas

2.0 %

Perdas de qualidade dos módulos

Fração perdas

-0.8 %

Perdas de módulos com mismatch

Fração perdas

1.0 % no MPP

Perdas de strings com mismatch

Fração perdas

0.10 %

Degradação média dos módulos

Ano nº

1

Fator de perda

0.4 %/ano

Mismatch devido à degradação

RMS da dispersão de Imp

0.4 %/ano

RMS da dispersão de Vmp

0.4 %/ano

Efeito de incidência (IAM): Perfil personalizado

0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.985	0.943	0.840	0.000

Perdas auxiliares

Constante (ventilação)

0 W

... a partir de limiar de pot.

0.0 kW

Sistema acoplado à rede: Definição das sombras próximas

Projeto : Sítio Piedade

Variante da simulação : inversor de 6

Simulação para a 1º ano de funcionamento

Parâmetros principais do sistema	Tipo de sistema	Building system		
Sombras próximas	Sombras lineares			
Orientação do plano dos módulos	inclinação	25°	azimute	0°
Módulos FV	Modelo	JAM72S20-445/MR	Pnom	445 Wp
Grupo FV	Número de módulos	30	Pnom total	13.35 kWp
Inversor	Modelo	SG6.0RS	Pnom	6.00 kW ac
Bateria de inversores	Número de unidades	2.0	Pnom total	12.00 kW ac
Exigências do consumidor	Carga ilimitada (rede)			

Perspectiva do desenho de sombras próximas

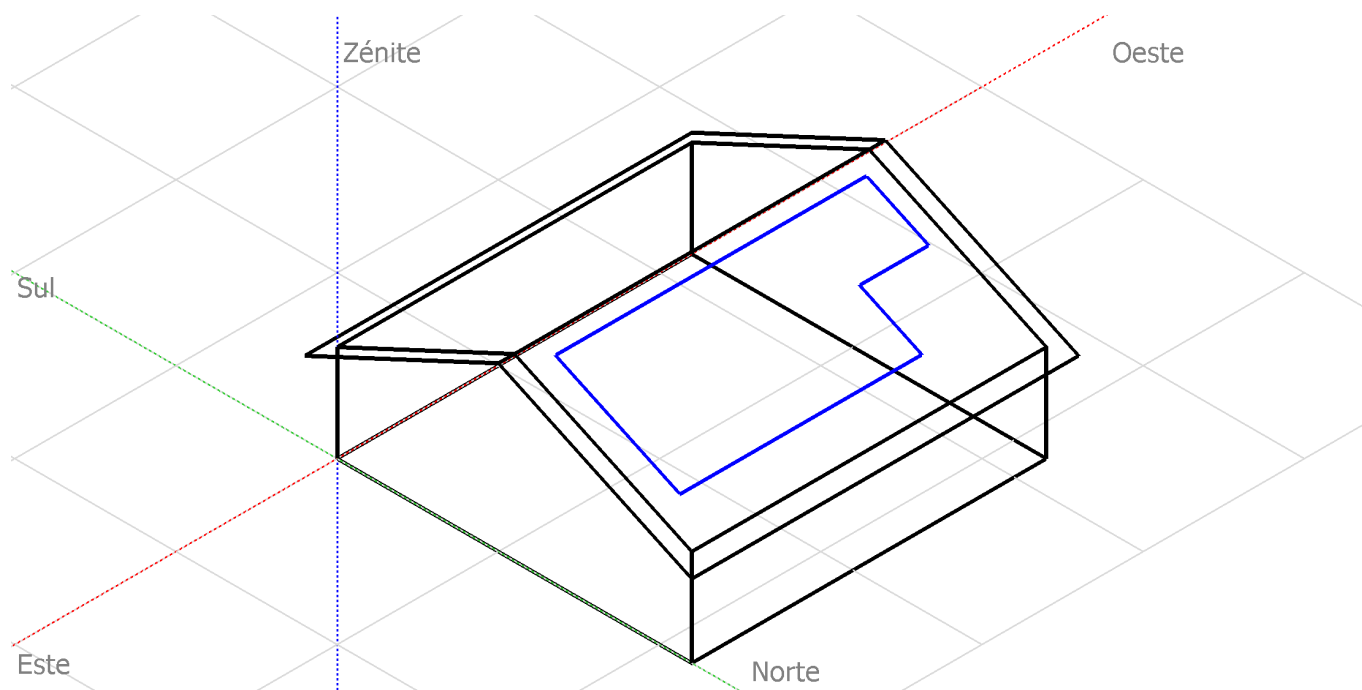
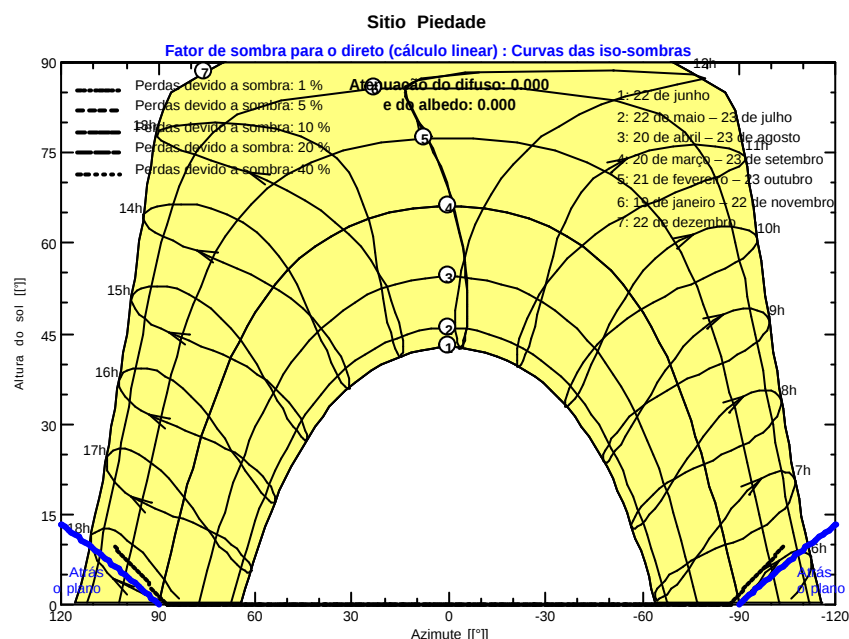


Diagrama das iso-sombras



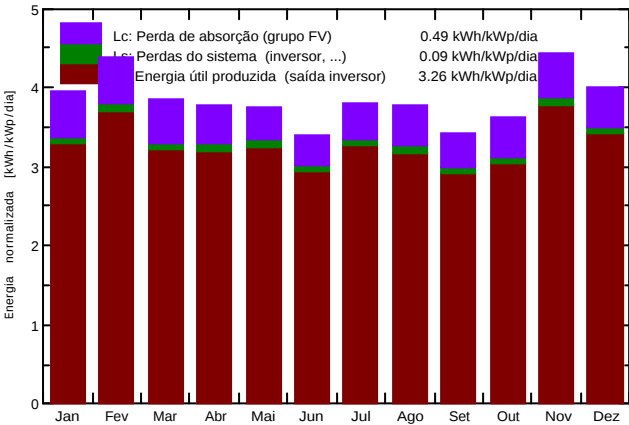
Sistema acoplado à rede: Resultados principais

Projeto : **Sítio Piedade**
Variante da simulação : **inversor de 6**
Simulação para a 1º ano de funcionamento

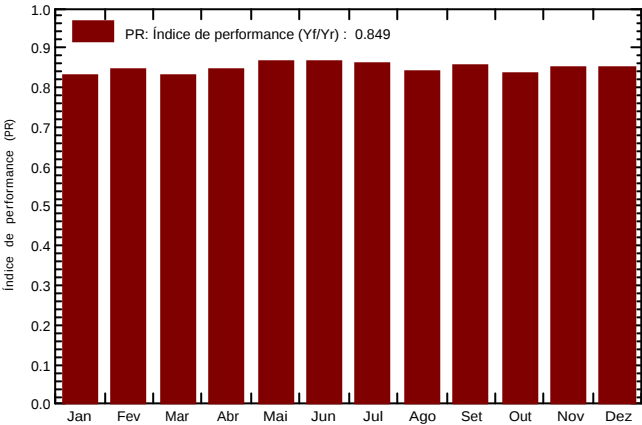
Parâmetros principais do sistema	Tipo de sistema	Building system			
Sombras próximas	Sombras lineares				
Orientação do plano dos módulos	inclinação	25°	azimute	0°	
Módulos FV	Modelo	JAM72S20-445/MR	Pnom	445 Wp	
Grupo FV	Número de módulos	30	Pnom total	13.35 kWp	
Inversor	Modelo	SG6.0RS	Pnom	6.00 kW ac	
Bateria de inversores	Número de unidades	2.0	Pnom total	12.00 kW ac	
Exigências do consumidor	Carga ilimitada (rede)				

Resultados principais da simulação					
Produção do sistema	Energia produzida	15.89 MWh/ano	Prod. específica	1190 kWh/kWp/ano	
	Índice de performance (PR)	84.86 %			

Produções normalizadas (por kWp instalado): Potência nominal 13.35 kWp



Índice de performance (PR)



inversor de 6

Balances e resultados principais

	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR
Janeiro	134.9	71.28	21.33	122.4	118.3	1.398	1.360	0.832
Fevereiro	127.9	77.09	21.66	122.5	118.4	1.416	1.380	0.844
Março	116.1	68.25	21.51	119.4	115.6	1.364	1.328	0.833
Abril	100.3	57.50	19.82	113.1	109.5	1.317	1.282	0.848
Maio	94.9	49.13	16.95	116.5	112.8	1.380	1.345	0.865
Junho	80.4	43.05	16.23	102.0	98.8	1.212	1.180	0.866
Julho	91.6	40.66	15.31	117.6	113.9	1.388	1.351	0.861
Agosto	100.7	48.54	16.90	117.2	113.5	1.350	1.315	0.840
Setembro	97.6	62.97	17.28	102.4	99.0	1.199	1.167	0.854
Outubro	114.0	67.66	19.48	112.4	108.6	1.292	1.257	0.838
Novembro	142.9	91.15	19.59	132.7	128.2	1.550	1.510	0.853
Dezembro	137.2	84.88	20.74	124.0	119.8	1.450	1.412	0.853
Ano	1338.4	762.16	18.88	1402.3	1356.4	16.316	15.886	0.849

Legendas:

GlobHor

DiffHor

T_Amb

GlobInc

Irradiação global horizontal

Irradiação difusa horizontal

T amb.

Incidência global no plano dos sensores

GlobEff

EArray

E_Grid

PR

Global efetivo, corrigido para IAM e sombras

Energia efetiva à saída do grupo

Energia injetada na rede

Performance Ratio (Quociente de performance)

Sistema acoplado à rede: Gráficos especiais

Projeto : **Sítio Piedade**Variante da simulação : **inversor de 6**

Simulação para a 1º ano de funcionamento

Parâmetros principais do sistema

Tipo de sistema

Building system

Sombras próximas

Sombras lineares

Orientação do plano dos módulos

inclinação

25°

azimute 0°

Módulos FV

Modelo

JAM72S20-445/MR

Pnom

445 Wp

Grupo FV

Número de módulos

30

Pnom total

13.35 kWp

Inversor

Modelo

SG6.0RS

Pnom

6.00 kW ac

Bateria de inversores

Número de unidades

2.0

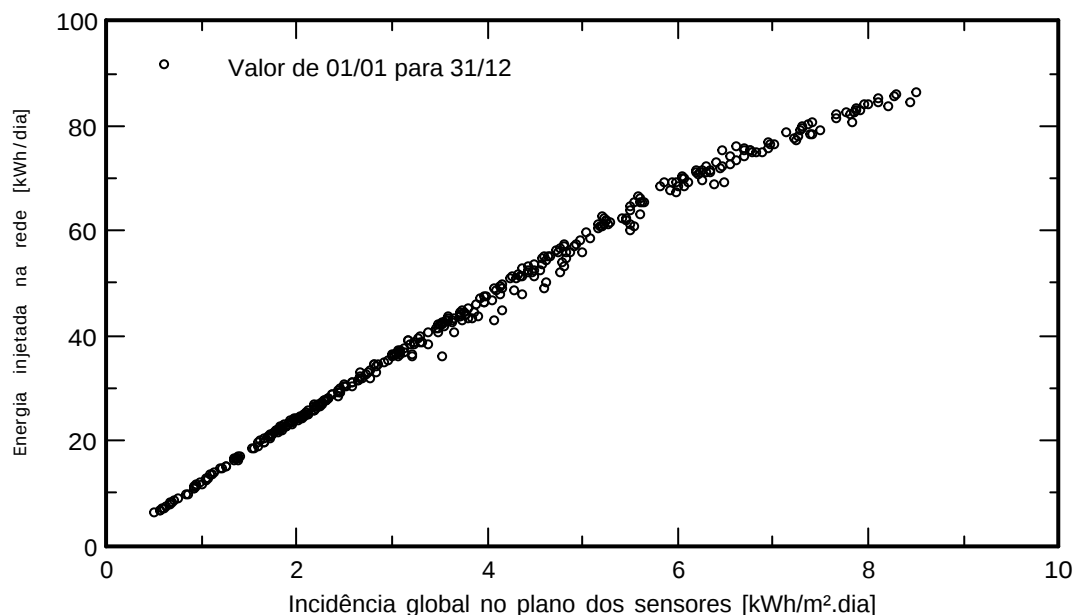
Pnom total

12.00 kW ac

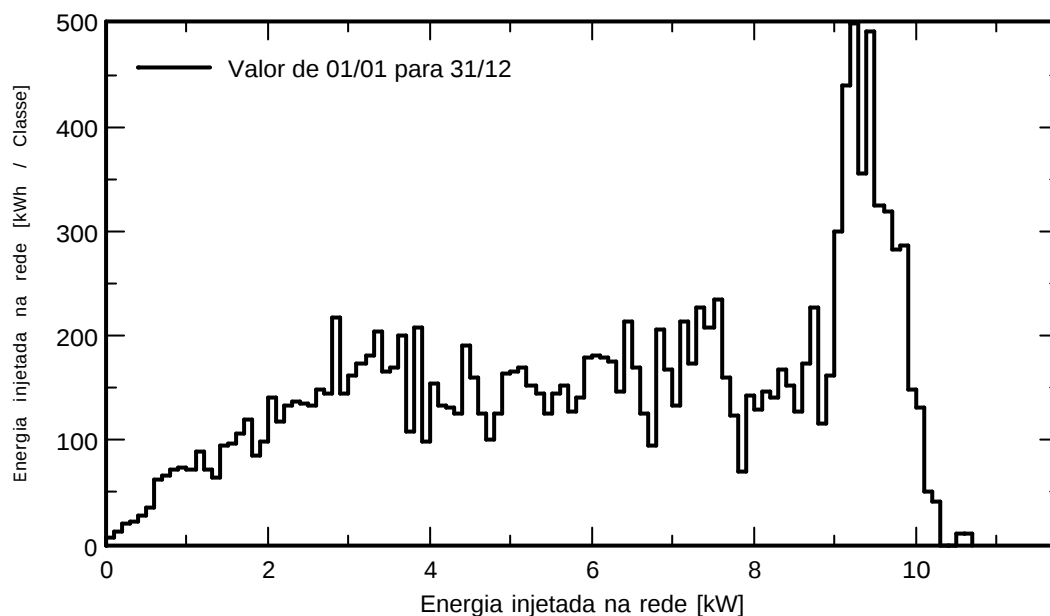
Exigências do consumidor

Carga ilimitada (rede)

Diagrama de entrada / saída diário



Distribuição da potência à saída do sistema



Sistema acoplado à rede: Diagrama de perdas

Projeto : Sítio Piedade

Variante da simulação : inversor de 6

Simulação para a 1º ano de funcionamento

Parâmetros principais do sistema	Tipo de sistema	Building system			
Sombras próximas	Sombras lineares				
Orientação do plano dos módulos	inclinação	25°	azimute	0°	
Módulos FV	Modelo	JAM72S20-445/MR	Pnom	445 Wp	
Grupo FV	Número de módulos	30	Pnom total	13.35 kWp	
Inversor	Modelo	SG6.0RS	Pnom	6.00 kW ac	
Bateria de inversores	Número de unidades	2.0	Pnom total	12.00 kW ac	
Exigências do consumidor	Carga ilimitada (rede)				

Diagrama das perdas do ano inteiro

