



**CLARA VALADÃO LEMOS**  
**LEONARDO FERNANDES MACIEL**

**ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DE GERAÇÃO  
FOTOVOLTAICA COM SEGUIDOR SOLAR**

**LAVRAS – MG**

**2021**

**CLARA VALADÃO LEMOS**  
**LEONARDO FERNANDES MACIEL**

**ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DE GERAÇÃO  
FOTOVOLTAICA COM SEGUIDOR SOLAR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Universidade Federal de Lavras, como parte das  
exigências do Curso de Engenharia de Controle e  
Automação, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Paulo Vitor Grillo De Souza

Orientador

**LAVRAS – MG**

**2021**

**CLARA VALADÃO LEMOS**

**LEONARDO FERNANDES MACIEL**

**ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DE GERAÇÃO  
FOTOVOLTAICA COM SEGUIDOR SOLAR**

**ANALYSIS OF THE ECONOMIC FEASIBILITY OF SOLAR TRACKER  
SYSTEM**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia de Controle e Automação, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Paulo Vitor Grillo De Souza

Orientador

**LAVRAS – MG**

**2021**

**CLARA VALADÃO LEMOS**  
**LEONARDO FERNANDES MACIEL**

**ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DE GERAÇÃO  
FOTOVOLTAICA COM SEGUIDOR SOLAR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Universidade Federal de Lavras, como parte das  
exigências do Curso de Engenharia de Controle e  
Automação, para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 29 de Novembro de 2021.

---

Prof. Dr. Paulo Vitor Grillo de Souza

(Orientador)

---

Prof. Dr. Fábio Domingues de Jesus

---

Eng. Guilherme Martins

**LAVRAS – MG**

**2021**

*Dedicamos este trabalho a todos que nos ajudaram a chegar até aqui. Nossa família, pelo amor, apoio e carinho. Nossos amigos e companheiros, por tudo que passamos e aprendemos ao longo dessa trajetória. Nossos mestres, professores que nos auxiliaram no nosso crescimento.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos aos nossos familiares e amigos que nos apoiaram incondicionalmente ao longo de toda a nossa graduação e principalmente nas fases mais difíceis dela.

Ao nosso orientador por todo apoio e dedicação ao longo do projeto, e ao professor e ao engenheiro que aceitaram o convite de fazerem parte da banca examinadora, assim como os demais professores, por todo o conhecimento compartilhado.

Por fim agradecemos a Universidade Federal de Lavras por proporcionar todo este ensinamento.

Muito obrigado!

## **RESUMO**

**O aproveitamento da energia solar para geração de energia elétrica tem apresentado um crescente interesse nos últimos anos. Geralmente nestes sistemas, a conversão de energia solar em elétrica é realizada por módulos fotovoltaicos, instalados em estruturas fixas, com inclinação determinada em função da latitude do local de instalação. O uso de estruturas móveis, com rastreamento solar, tem possibilitado o incremento da produção da energia gerada. Nesse sentido, este trabalho tem como objetivo fazer uma comparação da viabilidade econômica de um sistema de geração de energia fotovoltaica fixo e móvel. Trata-se de um estudo comparativo a partir de três sistemas de geração de energia solar. Conclui-se que a aplicação do rastreador solar em sistemas de geração fotovoltaica é vantajosa de um ponto de vista energético, onde o rendimento adicional extraído dos painéis é bastante expressivo. No entanto, ao adicionar mais painéis ao sistema fixo, os indicadores econômicos melhoraram, mostrando que para o porte de usina considerado neste estudo, esta opção é a mais viável. Avalia-se que o trabalho permitiu a ampliação do conhecimento teórico, prático sobre o tema, além da visualização da realidade do empresário e principalmente, do consumidor que pretende instalar uma usina de geração fotovoltaica.**

**Palavras-chave: Geração Fotovoltaica. Energia solar. Painéis solares. Painél solar móvel.**

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 2.1 - Exemplo de seguidor solar com um grau de liberdade
- Figura 2.2 - Efeito fotovoltaico em uma célula fotovoltaica de silício cristalizada
- Figura 2.3 - Área dos módulos fotovoltaicos
- Figura 2.4 - Estrutura física módulo fotovoltaico
- Figura 2.5 - Estrutura de suporte de um painel solar fotovoltaico
- Figura 2.6 - Sistema fotovoltaico fixo instalado
- Figura 2.7 - Sistema fotovoltaico móvel instalado
- Figura 2.8 - Metodologia para aumento de eficiência de painéis fotovoltaicos
- Figura 2.9 - Sistema Esquemático Controlador
- Figura 2.10 - Sistema Esquemático Captação de Energia Solar
- Figura 3.1 - Características para o Fixo do caso A
- Figura 3.2 - Características para o Móvel
- Figura 3.3 - Características para o Fixo do caso B
- Figura 3.4 - Localização geográfica fictícia de instalação da usina solar
- Figura 3.5 - Coordenadas geográficas utilizadas na configuração do projeto
- Figura 3.6 - Descrição de acordo com informações meteorológicas
- Figura 3.7 - Parâmetros de configuração da orientação base a ser utilizada no projeto de simulação do sistema Fixo
- Figura 3.8 - Parâmetros de configuração da orientação base a ser utilizada no projeto de simulação do sistema Fixo
- Figura 3.9 - Parâmetros de configuração do módulo fotovoltaico para as simulações do sistema fixo caso A e móvel
- Figura 3.10 - Parâmetros de configuração de inversor para as simulações do sistema fixo caso A e móvel
- Figura 3.11 - Parâmetros de configuração do número e orientação de módulos fotovoltaicos, para as simulações do sistema fixo caso A e móvel
- Figura 3.12 - Parâmetros de configuração do módulo fotovoltaico para a simulação do sistema fixo do caso B

Figura 3.13 - Parâmetros de configuração de inversor para a simulação do sistema fixo do caso B

Figura 3.14 - Parâmetros de configuração do número e orientação de módulos fotovoltaicos, para a simulação do sistema fixo do caso B

Figura 4.1 - Irradiação mensal para o Módulo Fixo no caso A

Figura 4.2 - Irradiação mensal para o Módulo Móvel

Figura 4.3 - Irradiação mensal para o Módulo Fixo no caso B

Figura 4.4 - Índice de Performance para todos os cenários

Figura 4.5 - Payback para o Módulo Fixo no caso A

Figura 4.6 - Payback para o Módulo Móvel

Figura 4.7 - Payback para o Módulo Fixo no caso B

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 2.1 - Tempo de resposta às condições anormais de tensão

Tabela 3.1 - Dados de irradiação solar diária média mensal na localidade de instalação da usina

Tabela 3.2 - Informações meteorológicas do banco de dados do software PVSYST, para a cidade de Lavras-MG

Tabela 3.3 - Tabela de Média de Perdas dos Sistema Simulados

Tabela 4.1 - Resultados Principais mensais para o Módulo Fixo caso A

Tabela 4.2 - Resultados Principais mensais para o Módulo Móvel

Tabela 4.3 - Resultados Principais mensais para o Módulo Fixo caso B

Tabela 4.4 - Investimentos Totais dos Casos dos Módulos Fixo A, B e Móvel

Tabela 4.5 - Energia produzida e Valor Investido para cada Módulo

Tabela 4.6 - Fluxo de Caixa para o Módulo Fixo no caso A

Tabela 4.7 - Fluxo de Caixa para o Módulo Móvel

Tabela 4.8 - Fluxo de Caixa para o Módulo Fixo no caso B

Tabela 4.9 - Comparação entre os valores dos Sistemas Fixo no caso A e Móvel

Tabela 4.10 - Comparação entre os valores dos Sistemas Fixo no caso B e Móvel

Tabela 4.11 - Resultado econômico para os três cenários

## **LISTA DE EQUAÇÕES**

Equação 2.1 - Fórmula do Payback

Equação 2.2 - Fórmula do VPL

<b>INTRODUÇÃO</b>	1
1.1 RELEVÂNCIA DO TEMA	1
1.2 OBJETIVO	1
1.3 ORGANIZAÇÃO	2
<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>	3
2.1 FUNCIONAMENTO DE UMA USINA FOTOVOLTAICA	3
2.2 EFICIÊNCIA DO SISTEMA DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICO	3
2.3 IRRADIAÇÃO SOLAR	4
2.4 GERAÇÃO FOTOVOLTAICA COM SEGUIDOR SOLAR	4
2.5 COMPONENTES	6
2.5.1 PAINEL SOLAR	6
2.5.2 SUPORTE PARA OS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	10
2.5.2.A FIXO	10
2.5.2.B MÓVEL	11
2.5.3 INVERSOR	12
2.5.4 MÓDULO DE REFERÊNCIA	15
2.6 INDICADORES ECONÔMICOS	15
2.6.1 PAYBACK	16
2.6.2 VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL)	16
2.6.3 TAXA INTERNA DE RENTABILIDADE (TIR)	17
<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	17
3.1 MÓDULO FOTOVOLTAICO	18
3.2 INVERSOR	18
3.3 DADOS DE IRRADIAÇÃO SOLAR	19
3.4 PVSYST	20
3.4.1 LOCALIZAÇÃO	21
3.4.2 ORIENTAÇÃO	23
3.4.3 SISTEMA	25
3.4.3.1 CASO A	25
3.4.3.2 CASO B	26
3.4.4 PERDAS	28
<b>RESULTADOS E ANÁLISES</b>	28
4.1 APLICAÇÃO	28
4.2 ESTUDO ECONÔMICO	34
<b>CONCLUSÃO</b>	42
<b>REFERÊNCIAS</b>	43
<b>ANEXOS</b>	45

# **1. INTRODUÇÃO**

## **1.1 RELEVÂNCIA DO TEMA**

O Brasil vem encarando muitos momentos de seca e as fontes de energia Eólicas e Solares estão sendo cada vez mais visadas para inserção na matriz elétrica. Devido a escassez dos recursos hídricos, a tarifa e conseqüentemente a fatura de energia elétrica tem se elevado. Só no ano de 2021 a fatura de energia elétrica aumentou 3 vezes a mais que a inflação, impactando financeiramente o brasileiro (G1 GLOBO, 2021). Diversificar as fontes de energia da matriz elétrica seria uma excelente escolha visto que a energia é extremamente necessária para uma vida confortável e para o desenvolvimento industrial do país.

Além disso, as fontes limpas e renováveis de energia minimizam a contribuição para o aquecimento global. Isso acontece, pois não emitem gases responsáveis pelo efeito estufa. Por isso é fundamental que haja incentivo para que se tenha maior penetração deste tipo de fonte na matriz elétrica brasileira. (PORTAL SOLAR, 2011)

A captação de energia solar tem potencial devido à grande incidência de luz e por ser mais adaptável fisicamente. Hoje em dia é possível notar várias empresas que utilizam esse tipo de fonte de energia. Existem estudos para a melhoria desse processo de conversão de energia, que consiste em captar de forma mais eficiente a incidência solar ao longo do dia, por meio do movimento dos painéis de acordo com a posição do sol.

Com o aumento da fatura de energia elétrica, devido ao baixo volume dos reservatórios de água, a utilização dos sistemas fotovoltaicos interligados à rede elétrica cresce cada vez mais, e portanto, as perspectivas para esta área são excelentes. A busca por fontes alternativas, para não permanecer tão dependente das fontes tradicionais, vem crescendo. O estudo comparativo da viabilidade econômica de implantação de geração solar doméstica com e sem seguidor solar é importante para que os consumidores residenciais tenham conhecimento de qual alternativa melhor se adequa a este perfil, bem como possam ponderar as vantagens e desvantagens de cada tipo de usina.

## **1.2 OBJETIVO**

Esse trabalho tem como objetivo apresentar o funcionamento dos sistemas fotovoltaicos com seguidor solar, assim como o estudo da sua eficiência e viabilidade dos custos de instalação e

operação. Serão abordadas as principais diferenças entre um painel seguidor solar e um painel solar comum. Baseado em três casos-exemplos, será feita uma criteriosa análise de viabilidade econômica, de forma que se possa quantificar, através dos principais indicadores econômicos utilizados em análise de projetos qual das opções de investimento gera melhor retorno financeiro. Por fim será abordado as principais vantagens e desvantagens de cada investimento.

### **1.3 ORGANIZAÇÃO**

Ao longo do segundo capítulo, serão estudados o efeito fotoelétrico, a radiação solar, as orientações e inclinações dos módulos, além dos equipamentos utilizados em um sistema fotovoltaico conectado à rede. Ainda no segundo capítulo serão apresentados os indicadores econômicos necessários para analisar a viabilidade econômica de um projeto elétrico.

O terceiro capítulo, visou a demonstração de todo o procedimento de projeto na seleção e dimensionamento dos equipamentos que compõem um sistema fotovoltaico com conexão à rede, tendo como base as teorias citadas no segundo capítulo.

No quarto capítulo, será mostrado o estudo de viabilidade econômica das usinas com e sem seguidor solar. Também será feita uma comparação destas a fim de determinar qual delas apresenta melhor retorno para o investidor.

No quinto capítulo, serão feitas as conclusões do trabalho.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

Para compreender o funcionamento dos sistemas fotovoltaicos é necessário entender cada um dos dispositivos que o compõem. Existem dois tipos de usinas, as compostas por painéis fixos e as compostas por painéis móveis (estas permitem melhor aproveitamento da incidência da irradiação solar por acompanhar o sol), e independente do tipo, o princípio de transformação de energia é o mesmo. Para o sistema físico fixo são necessários o painel solar, o inversor, os cabos e a estrutura de fixação. Já no sistema móvel são acrescentados sensores de luz (ou Módulo de Referência), motor e componentes estruturais que permitam o movimento das placas. Nos itens seguintes serão descritos cada um desses componentes.

### **2.1 FUNCIONAMENTO DE UMA USINA FOTOVOLTAICA**

Existem 3 tipos de funcionamento de sistemas de energia solar fotovoltaico, são eles: sistema conectado à rede elétrica ou on-grid, que produz e transmite para a rede elétrica a energia gerada; sistema isolado ou off-grid, que armazena toda energia excedente em baterias; e sistema híbrido. Basicamente estes sistemas de geração de energia fotovoltaico são compostos de painéis solares, inversores de energia e banco de baterias (em sistemas off-grid e híbridos).

O funcionamento do painel é “baseado no fenômeno que ocorre quando partículas de luz solar (fótons) colidem com os átomos de silício presentes no painel solar, gerando um deslocamento dos elétrons, que cria uma corrente elétrica contínua, chamada de energia solar fotovoltaica”. (PORTAL SOLAR, 2011)

Por sua vez, o inversor de energia é responsável por converter a corrente contínua gerada pelas placas solares, em corrente alternada no padrão da rede brasileira, com 110/220V e 60Hz. Já nos sistemas off-grid ou isolado, o inversor é responsável por converter a energia da forma de corrente contínua, que foi gerada pelos painéis solares e é armazenada no banco de baterias, em corrente alternada que será utilizada pelas cargas presentes no sistema.

### **2.2 EFICIÊNCIA DO SISTEMA DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICO**

Vários fatores estão ligados a eficiência de um sistema de geração fotovoltaico, entre eles: A eficiência dos painéis utilizados, eficiência do inversor, perdas do sistema (fios, calor ou frio excessivo), assim como as variações que estão ligadas ao clima da região onde o sistema está

instalado, as estações do ano e a estatística ligada a previsão do tempo e média de temperaturas regionais.

Todos esses aspectos têm de ser levados em consideração antes da construção da usina de energia solar fotovoltaica, já que uma usina com baixa eficiência é considerada inviável. Com as considerações de previsão de eficiência e com mais informações sobre as especificações do sistema e do meio em que o mesmo será instalado, maior a probabilidade da simulação apresentar resultados próximos dos valores reais, podendo desta forma ser gerado um estudo de viabilidade de implantação do sistema mais exato.

### **2.3 IRRADIAÇÃO SOLAR**

A irradiância é o poder da radiação solar instantâneo por unidade de área, no sistema internacional de unidade é medido em watt por metro quadrado ( $W/m^2$ ). Já a irradiação solar é a quantidade de energia radiante que incide em uma superfície durante um certo intervalo de tempo, por unidade de área, ou seja, irradiância medida por um determinado período. Sua unidade de medida no sistema internacional é dada por watt hora por metro quadrado ( $Wh/m^2$ ).

A irradiação solar média é utilizada para obter-se um valor base de exposição solar dos módulos fotovoltaicos e assim poder calcular suas média diária ( $Wh/m^2.dia$ ), mensais ( $Wh/m^2.mês$ ) ou anuais ( $Wh/m^2.ano$ ) de exposição solar. Com esses valores é possível ter uma previsão do potencial de geração de energia do sistema.

O valor de irradiação média global diária no Brasil varia entre 6.250 e 3.500 $Wh/m^2.dia$ , onde seu máximo de irradiação global ocorre no norte da Bahia, e o seu menor índice de irradiação solar ocorre no estado de Santa Catarina. (ATLAS BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 2017)

### **2.4 GERAÇÃO FOTOVOLTAICA COM SEGUIDOR SOLAR**

O tipo de sistema dinâmico de geração de energia solar é denominado seguidor solar (ou solar tracking), como seu próprio nome indica, é um sistema que possui como estrutura uma base móvel de 1 ou 2 graus de liberdade, com o principal objetivo de acompanhar o sol durante todo o dia aumentando os índices de irradiação e conseqüentemente gerando mais energia, se comparado a um sistema fixo, como demonstra a Figura 2.1.

Figura 2.1 - Exemplo de seguidor solar com um grau de liberdade



Fonte: SOLSTÍCIO ENERGIA, 2019

O seguidor solar funciona com um módulo de referência que faz comparações a cada ciclo programado. Obtendo sensores de luminosidade, o módulo de referência compara qual sensor (em qual direção) está recebendo mais fótons do sol. Aquele que obtiver o maior resultado será a referência para o motor se movimentar até esse sensor ficar exatamente perpendicular a essa luz, que no caso é o sol.

Existem dois tipos de seguidores solares: os seguidores de eixo único, que seguem o sol de leste a oeste tendo como base um único ponto de referência, e os seguidores de eixo duplo, que rastreiam o sol de leste a oeste e de norte a sul. Os seguidores solares de eixo duplo têm um design mais complexo, usando motores e sensores adicionais para rastrear o sol. Estes seguidores de eixo duplo usam também um “sensor olho” que segue visualmente o sol, enquanto que os seguidores de eixo único fazem o seguimento usando um padrão pré-estabelecido baseado no tempo e época do ano.

O sistema seguidor solar utilizado no presente trabalho trata-se de um sistema com apenas uma fileira de painéis e contém um grau de liberdade, ou seja, seguidor de eixo único. Seu eixo principal encontra-se em paralelo com o eixo norte-sul, para que a placa se movimente pelos eixos leste-oeste, que é onde o sol nasce e se põe respectivamente.

## **2.5 COMPONENTES**

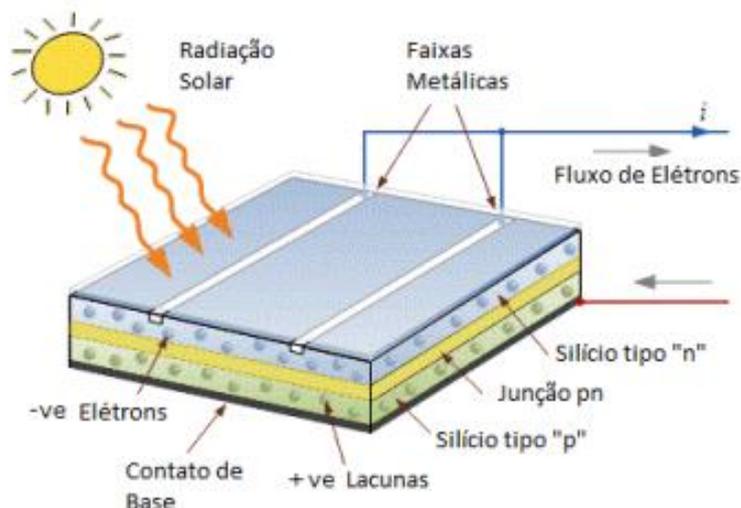
### **2.5.1 PAINEL SOLAR**

Composto por módulos fotovoltaicos de silício, o painel solar é um dos principais equipamentos de um sistema solar fotovoltaico. Ele é responsável por captar a luz do sol resistindo às mais adversas condições climáticas. Através do contato dos fótons provenientes do sol e o silício (que é um condutor), produz corrente elétrica, chamado de efeito fotovoltaico. Por conta disso, enquanto houver fótons de luz o painel solar estará captando energia. Depois de gerar corrente elétrica essa energia é transmitida para o inversor. O nível de irradiação e a quantidade de painéis instalados influenciam na produção de energia, dessa maneira a geração de energia não é contínua, ela atinge o pico próximo ao meio dia e se interrompe no período da noite. (PORTAL SOLAR, 2011)

Em um painel solar quanto menor o nível de sombreamento, mais energia ele poderá converter em energia elétrica. Isto acontece devido ao funcionamento das células fotovoltaicas que compõem os módulos fotovoltaicos, e que são extremamente dependentes da entrada das partículas de luz (os fótons) em seu interior. Além disso, é essencial estudar o ângulo de incidência, para a instalação correta do equipamento, podendo extrair o máximo de energia possível. (ELETRONICS TUTORIALS, 2008)

O efeito fotovoltaico, que é o surgimento de uma diferença de potencial (tensão) em seu interior, faz a célula fotovoltaica gerar eletricidade. Isto acontece porque a ação dos fótons, que são partículas microscópicas de luz, interagem com os elétrons dos átomos para a produção da tensão na célula fotovoltaica.

Figura 2.2 - Efeito fotovoltaico em uma célula fotovoltaica de silício cristalizada



Fonte: Eletronics Tutorials, 2008

Como é possível observar na Figura 2.2 as células fotovoltaicas em sua composição se dividem em três partes, uma delas é composta por silício com boro, que é um semicondutor dopado de modo a produzir uma estrutura com elétrons livres (-), e outra composta por silício com fósforo, também um semicondutor dopado para gerar lacunas de elétrons (+). Entre estas duas camadas existe a área de contato, que é chamada de junção PN (positivo/negativo), onde se forma um campo elétrico. Este campo elétrico impede que os elétrons em excesso vão para o outro lado que tem “falta de elétrons”. Com a entrada da radiação luminosa, os elétrons das camadas externas dos átomos ganham energia suficiente, doada pelos fótons, para se libertarem da força de atração dos núcleos dos átomos e assim se tornarem elétrons livres. Esses elétrons se acumulam na metade negativa, devido ao campo elétrico, e é por isso que na face das células fotovoltaicas existe uma grade extremamente fina que serve para capturar os elétrons livres, permitindo que se forme uma corrente elétrica. Com isso, a corrente elétrica é aproveitada na realização de um trabalho útil, podendo alimentar algum equipamento elétrico ou carregamento de baterias. (PORTAL SOLAR, 2011)

Para absorver a radiação solar, as células fotovoltaicas de silício cristalizado necessitam de uma faixa muito específica e estreita do espectro da radiação. Por conta disso, os fótons com energia superior ao necessário (próximos à luz ultravioleta, com frequência mais alta) concedem energia em excesso, e portanto será transformada em calor. Já os fótons com energia inferior (próximos à luz infravermelha, com frequência mais baixa) não concedem energia suficiente para a liberação dos elétrons, e essa energia também é convertida em calor.

Além disso, mesmo estando dentro da faixa aproveitável, apenas uma parte dos fótons têm a energia correta para o efeito fotovoltaico. Com o calor, as células fotovoltaicas de silício cristalino perdem eficiência, pois a tensão da célula diminui e, portanto, a potência que essa pode gerar também é reduzida.

Existe um gradiente elétrico na área da junção PN, que contribui para aumentar as perdas na conversão fotovoltaica. Além disso, a conexão das células fotovoltaicas em série também aumentam as perdas, pois a resistência entre as ligações é somada. Para diminuir as perdas das células, seja individualmente ou coletivamente, os fabricantes das placas solares trabalham com técnicas de produção para alcançar a máxima eficiência.

Devido a área total que recebe radiação solar, as células fotovoltaicas apresentam eficiências maiores que as dos módulos fotovoltaicos. Isso ocorre porque os módulos fotovoltaicos têm muita área não aproveitada, que são os espaços entre as células, as bordas e a moldura como é mostrada na Figura 2.3. Apenas uma porcentagem de toda a radiação solar que atinge os módulos fotovoltaicos chega em condições adequadas para que ocorra a realização do efeito fotovoltaico em suas células. Além disso, desta parte de radiação que chega em condições adequadas, somente uma quantidade consegue ser aproveitada para geração de energia devido às perdas do sistema.

Figura 2.3 - Área dos módulos fotovoltaicos

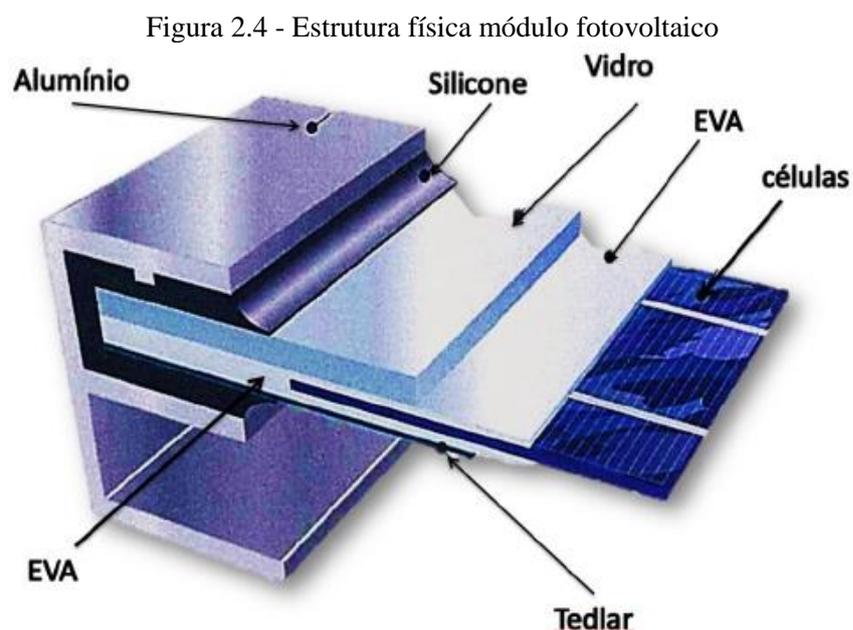


Fonte: Blue Sol Energia Solar, 2019

Através de uma única célula fotovoltaica é possível gerar muito pouca potência, consequentemente gera também pouca energia. Ela consegue gerar valores de tensão em torno de 0,5 V. Como a geração de corrente elétrica é dependente da área, quanto maior é a célula fotovoltaica, mais corrente elétrica ela gera. Isso seria algo em torno de 30 mA/cm<sup>2</sup> (miliampères

por centímetro quadrado) (BLUE SOL ENERGIA SOLAR, 2019). Portanto, para que se tenha uma corrente significativa é necessário uma grande quantidade de células fotovoltaicas associadas. Visando ocupar o mínimo de espaço possível, é preciso agrupá-las, formando assim a chamada placa solar (módulo fotovoltaico).

O módulo fotovoltaico, que é o nome correto do que é chamado popularmente de placa solar, é um conjunto de células fotovoltaicas associadas e encapsuladas com materiais que dão robustez mecânica, permitindo a entrada de luz, auxiliando no resfriamento e permitindo a associação de vários módulos e sua fixação em uma estrutura apropriada. Pode-se observar a estrutura física de um módulo fotovoltaico com células de silício cristalizado (c-Si) pela Figura 2.4. Ela é coberta por uma lâmina de vidro na parte de cima das células, e na parte de baixo é por uma lâmina de elastômero termoplástico (Tedlar ou em inglês TPE, de thermoplastic elastomer). Entre o vidro, as células fotovoltaicas e o TPE, utiliza-se folhas de etileno acetato de vinila (em inglês: ethylene vinyl acetate, mais conhecido pela sigla EVA). No final o conjunto é prensado e aquecido em uma laminadora, para unificar permanentemente as lâminas. Depois disso encaixa-se uma moldura feita de alumínio e a caixa de conexão elétrica.



Fonte: Blue Sol Energia Solar, 2019

A quantidade de módulos necessários para gerar a energia elétrica de um ambiente varia de acordo com o imóvel. Quanto maior o consumo de energia, mais módulos serão necessários.

Os módulos fotovoltaicos devem ser capazes de resistir às várias condições climáticas para se adequarem a diferentes tipos de ambientes, como o vento, o calor, a neve e o granizo. Mesmo

suportando as diversas condições climáticas, o painel solar chega a ter vida útil 25 anos. Por conta disso é preciso realizar vários testes nas mesmas, seguindo as normas internacionais. (BLUE SOL ENERGIA SOLAR, 2019)

## 2.5.2 SUPORTE PARA OS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

### 2.5.2.A FIXO

A fixação adequada dos painéis fotovoltaicos é importante para garantir um bom desempenho deste e evitar acidentes e prejuízos. A estrutura de fixação dos módulos pode ser instalada sobre o telhado ou sobre o solo, dependendo do ambiente.

Devido a força do vento é necessário instalar o painel fotovoltaico com estruturas robustas, capaz de suportar os esforços causados pelas intempéries. Por isso estas estruturas precisam ser medidas e mensuradas em túneis de vento para ser forte o suficiente para aguentar tempestades, seja no telhado ou em solo. Além disso, é recomendável adquirir uma estrutura de qualidade e com garantia de fabricação.

Figura 2.5 - Estrutura de suporte de um painel solar fotovoltaico



Fonte: Blue Sol Energia Solar, 2019

Para que o painel fotovoltaico fixo funcione com a sua melhor eficiência é preciso estudar a inclinação ideal dos módulos para que eles consigam captar a maior quantidade de luz solar. A inclinação precisa captar o máximo de energia ao meio dia solar e horas próximas, assim melhora a captação anual do painel como um todo, compensando a menor irradiância nos períodos de inverno. Além disso, ela varia de acordo com a latitude da localidade, e também quanto ao tipo de sistema

fotovoltaico. Já que nos sistemas conectados à rede, inclinações menores propiciam maior captação nos períodos próximos ao solstício de verão, gerando mais energia e mais créditos energéticos. (BLUE SOL ENERGIA SOLAR, 2019)

Figura 2.6 - Sistema fotovoltaico fixo instalado



Fonte: Blue Sol Energia Solar, 2019

### **2.5.2.B MÓVEL**

Para o suporte móvel também é necessário toda a segurança para que não haja rompimento, sem causar graves acidentes. Além disso, para a sua instalação existem algumas modificações para que o painel acompanhe o movimento solar. É preciso adicionar um micro controlador ao sistema. Um motor, que funcionará como atuador, fazendo com que a placa ou um conjunto delas gire de acordo com a luminosidade. E também sensores para verificar a incidência de luz, funcionando como um parâmetro a ser comparado. Na Figura 2.7 é possível observar como seria esse sistema na prática, que também é conhecido como Tracker.

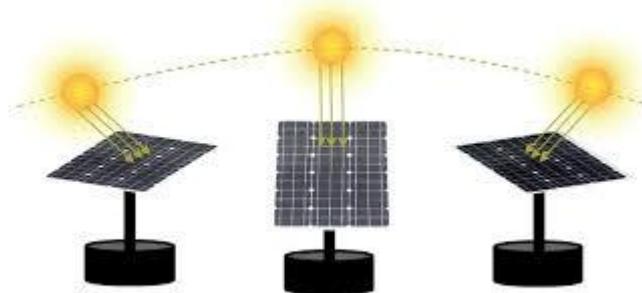
Figura 2.7 - Sistema fotovoltaico móvel instalado



Fonte: RODRIGUEZ et al., 2014

Para que a placa se movimente existe o Módulo de Referência que tem acoplado sensores de luminosidade em suas extremidades para que o programa compare, a cada tempo estipulado, qual desses sensores está captando mais luz. Ao fazer esta comparação, a placa muda a sua direção até deixar todos os sensores com a mesma intensidade de luz, pois assim o plano da placa estará exatamente a 90 graus dos raios de incidência solar e aproveitará o máximo de energia possível como é demonstrado na Figura 2.8.

Figura 2.8 - Metodologia para aumento de eficiência de painéis fotovoltaicos.



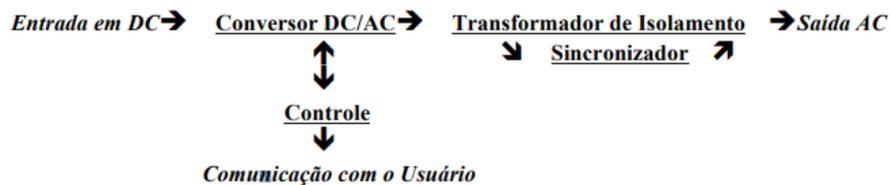
Fonte: CONFECÇÃO DE UM RASTREADOR SOLAR DE PEQUENO PORTE PARA PLACAS FOTOVOLTAICAS, 2019

### 2.5.3 INVERSOR

Considerado o componente mais importante de um sistema fotovoltaico, o inversor converte a energia gerada pelo painel solar de corrente contínua em corrente alternada, ou seja, converte a saída CC do painel fotovoltaico em uma senoide de 60Hz ou 50Hz, dependendo do sistema elétrico do local, possibilitando o uso da energia elétrica gerada pela usina solar fotovoltaica.

A sua comunicação depende do modelo, mas em sua maioria permite que o usuário possa monitorá-lo e obter relatórios sobre as condições de funcionamento. Para comunicá-los é possível através de protocolos de conexões de rede com fio (RS-485, CAN ou Ethernet), sem fio Bluetooth, ZigBee/IEEE802.15.4 ou 6LoWPAN. A Figura 2.9 demonstra o diagrama típico de como um inversor on-grid funciona com a conexão de rede elétrica de energia, e de um inversor on-grid com MPPT. (MIRANDA, Arthur Biagio, 2014)

Figura 2.9 - Sistema Esquemático Controlador



Fonte: MIRANDA, Arthur Biagio, 2014

Através de algoritmos, o controlador maximiza a potência de saída do módulo fotovoltaico que serve para rastreamento do ponto de máxima potência (MPPT). A potência máxima de saída do painel fotovoltaico é dependente das condições de funcionamento, e varia de momento a momento, devido à temperatura, sombreamento, cobertura de nuvens, e hora do dia. Para isso é preciso um processo contínuo para rastrear e ajustar para este ponto de máxima potência.

O controlador contém saídas PWM de alta precisão que utilizam transistores que são responsáveis por transformar a corrente contínua de entrada, em corrente alternada com a mesma frequência da rede.

O transformador de Isolamento é um componente de isolamento galvânico entre a saída AC e a rede de distribuição, podendo ser trifásico ou monofásico, dependendo da especificação do inversor e a conexão desejada com a rede.

O sincronizador sincroniza a tensão enviada pelo conversor DC/AC e a tensão da rede de distribuição, no qual recebe inicialmente a tensão da rede pelo transformador de isolamento, e dispara, ao longo dos ciclos, para o inversor.

Para escolher um inversor corretamente é preciso analisar diversos parâmetros e especificações. A norma brasileira exige algumas características para serem conectadas à rede elétrica das concessionárias. Uma delas é o sistema Anti Ilhamento, que é o desligamento do inversor em casos de perda de tensão na rede, e que normalmente já está implementado na grande

maioria de inversores destinados a conexão com a rede. Outra característica necessária para um inversor é em relação às variações de tensão e frequência. Para evitar danos à rede, equipamentos alimentados e proteção para a equipe de manutenção da rede, deve-se ter uma resposta do inversor de forma a realizar a desconexão com a rede para condições anormais de operação abaixo ou acima dos limites mostrados abaixo:

Tabela 2.1: Tempo de resposta às condições anormais de tensão

<b>Tensão no ponto comum de conexão (% em relação à Vnominal)</b>	<b>Tempo máximo de desligamento (*)</b>
$V < 80\%$	0,4 segundos
$80\% < V < 110\%$	Regime normal de operação
$110\% < V$	0,2 segundos

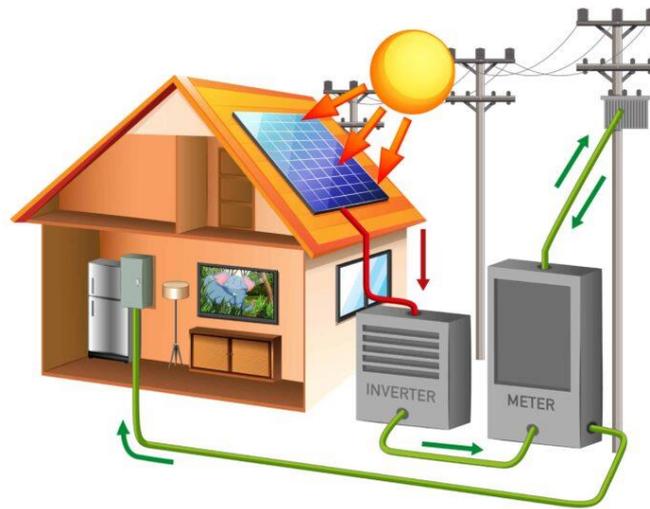
Fonte: LIGHT SESA, 2012

(\*) O tempo máximo de desligamento refere-se ao tempo entre o evento anormal de tensão e a atuação do sistema de geração distribuída. O sistema de geração distribuída deve permanecer conectado à rede, a fim de monitorar os parâmetros da rede e permitir a reconexão do sistema quando as condições normais forem restabelecidas.

Ao captar os fótons de luz solar através dos módulos fotovoltaicos a placa solar manda um sinal de corrente para o inversor, que por sua vez converte a onda de corrente contínua para corrente alternada. A eletricidade convertida vai então para o quadro de luz e é distribuída para a residência, comércio, hotel, indústria ou qualquer outro local que possua o sistema em questão.

O inversor solar oferece ainda outras serventias, como garantir a segurança do sistema fotovoltaico. O equipamento dispõe ainda de um sistema de monitoramento integrado capaz de acompanhar o desempenho da geração de energia. Além disso, é possível também avaliar indicadores de sustentabilidade, de retorno financeiro, entre outros. (ENEGRID, 2019)

Figura 2.10 - Sistema Esquemático Captação de Energia Solar



Fonte: SOL STAR, 2021

#### 2.5.4 MÓDULO DE REFERÊNCIA

O módulo de referência é um módulo solar com sensores de luminosidade inseridos. Ele é necessário para obter parâmetros de incidência. Para obter 1 grau de liberdade (1 eixo de movimentação), como é proposto neste trabalho, os sensores são instalados nas duas extremidades da placa. Assim, o programa compara os valores fornecidos pelos sensores e retorna qual é maior. Então a placa é rotacionada no sentido da maior incidência de luz. Depois disso o programa repete o mesmo ciclo, a cada tempo estipulado pelo programador, até que os dois sensores tenham o mesmo (ou algo muito próximo) de intensidade de luz. Quando os sensores detectarem a mesma quantidade de luz, significa que a placa estará exatamente perpendicular ao sol, ou seja, a 90 graus. Isto é, terá a maior incidência de luz, aproveitando toda energia solar, possibilitando então gerar maior energia elétrica para o local.

#### 2.6 INDICADORES ECONÔMICOS

Os principais indicadores econômicos para análise de projetos são o Payback, Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR). Este trabalho faz referência às fórmulas matemáticas para cálculo dos indicadores descritos. Recomenda-se a leitura no livro referência em (MOTTA, 2012) para um estudo mais criterioso desses indicadores e da formulação matemática.

Nessa seção 2.6, iremos explicar os indicadores, para que quando apresentado os resultados seja possível visualizar todo o contexto, comparando o retorno com investimentos tradicionais para os mesmos montantes dos casos estudados.

### 2.6.1 PAYBACK

Originada do inglês, o payback trata-se do período de tempo necessário para que se obtenha retorno de todo o investimento feito em alguma aplicação. Esse termo é muito utilizado para aplicações elétricas e de eficiência energética para analisar a sua viabilidade econômica.

No payback não é considerado risco, correção monetária ou financiamento. Ele é simplesmente o valor onde o lucro líquido iguala ao valor aplicado no investimento analisado. Por ser muito limitado, é um método de análise geral do empreendimento. (MIRANDA, Arthur Biagio, 2014)

A formulação matemática do payback é descrita pela Equação 2.1:

Equação 2.1: Fórmula do Payback

$$\text{Payback} = n, \text{ tal que } \sum_{t=0}^n FC_n = I_0$$

*n* – Número de anos;

*I<sub>0</sub>* – Investimento Inicial;

*R* – Receita (valor anual);

*FC<sub>n</sub>* – Fluxo de Caixa do ano referência (*R<sub>n</sub>*);

Fonte: MIRANDA, Arthur Biagio, 2014

### 2.6.2 VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL)

Sendo mais utilizado em estudo de viabilidades de projetos, o VPL (Valor Presente Líquido) ou VAL (Valor Atual Líquido), calcula o valor atual de todos os fluxos de caixa, considerando as taxas de juros apropriadas.

Como qualquer investimento, que só gera fluxo de caixa futuro, é preciso atualizar esse valor para cada um desses fluxos de caixa e compará-los com o valor do investimento. Por isso é escolhido uma TMA (Taxa mínima de atratividade) para se basear futuramente. No Brasil é muito comum utilizar a taxa do rendimento da poupança para ser comparado, visto que é um investimento considerado seguro. No entanto, essa taxa pode variar de acordo com o perfil.

O VPL se baseia em um investimento inicial e essa série de fluxo de caixa futuro, para dizer quanto vale atualmente o investimento. No caso do valor do investimento ser inferior ao do valor atual dos fluxos de caixa, o VPL é positivo, significando rentabilidade positiva para o investimento. No caso do VPL ser igual a zero significa que o investimento é indiferente comparando ao TMA. E se for menor que zero o investimento não se justifica, portanto não é recomendado. (MIRANDA, Arthur Biagio, 2014)

A formulação matemática do VPL é descrita pela Equação 2.2.

Equação 2.2: Fórmula do VPL

$$VPL = \sum_{t=0}^n \frac{FC_n}{(1+i)^n} = -I_o + (R - C) \cdot \left( \frac{1-a^n-1}{a \cdot (a+1)^n} \right)$$

*n* – Número de anos;

*I<sub>o</sub>* – Investimento Inicial;

*R* – Receita (valor anual);

*C* – Custos (manutenção);

*a* – Taxa de juros a ser considerada;

*FC<sub>n</sub>* – Fluxo de Caixa do ano referência (*R<sub>n</sub>* – *C<sub>n</sub>*);

Fonte: MIRANDA, Arthur Biagio, 2014

### 2.6.3 TAXA INTERNA DE RENTABILIDADE (TIR)

Representando a rentabilidade gerada por determinado investimento, a Taxa Interna de Rentabilidade (TIR) corresponde a uma taxa de juros tal, que se o capital investido tivesse sido colocado a essa taxa, obteríamos exatamente a mesma rentabilidade final. Portanto a TIR representa o tributo que, se utilizado como taxa de atualização no cálculo do VPL, obteria o  $VPL = 0$  (O lucro líquido pagaria o investimento inicial na vida útil do projeto). Portanto, se a TIR é superior à TMA considerada, significa que o investimento em análise remunera melhor quando comparado à alternativa com rendimento seguro escolhido (de acordo com a TMA), no caso deste estudo, a poupança. (MIRANDA, Arthur Biagio, 2014)

## 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Ao desenvolver o trabalho para ser comparado, foram considerados três sistemas, sendo um móvel rastreável e outros dois fixos com diferentes quantidades de painéis.

No primeiro momento foi montado dois sistemas bastante similares, com 12 módulos fixos e 12 módulos móveis. Este módulo fixo chamamos de módulo fixo do caso A. Por tanto, os módulos fotovoltaicos e o inversor foram ajustados igualmente para os dois cenários.

No segundo momento foi comparado o mesmo módulo móvel que o anterior com um módulo fixo em diferentes condições, alterando a quantidade de módulos de 12 para 15 e um inversor melhor dimensionado para que pudesse comportá-lo. Este módulo fixo chamamos de módulo fixo do caso B.

Além disso, foi considerado o sistema acoplado à rede elétrica, com a mesma orientação, que seria no eixo horizontal Norte-Sul para que o plano se movimente entre Leste e Oeste, e sem

sombreamento nos painéis para todos os cenários analisados. A seguir será descrito o dimensionamento dos sistemas e seus componentes.

### 3.1 MÓDULO FOTOVOLTAICO

O módulo fotovoltaico escolhido foi o modelo VSUN-330-120-M, da fabricante VSUN. Utilizando 12 unidades de módulos para o caso A e 15 para o caso B, sendo uma string e todas em série. Sua potência unitária é de 330Wp, e nominal de 3960Wp para o caso A e 4950Wp para o caso B. A superfície de 12 módulos conta com 20,0 m<sup>2</sup> e por conta da perda física, utiliza 17,4 m<sup>2</sup> para captar energia. Já com 15 módulos é possível utilizar 21,8 m<sup>2</sup>.

### 3.2 INVERSOR

O inversor dimensionado para o caso A foi o modelo Sunny Boy 4000 TL-21 da fabricante Sunny Boy. Com apenas 1 unidade, potência unitária e total de 4kWca. Sua tensão de funcionamento varia entre 175V e 500V.

Para o caso B foi utilizado um inversor Growatt 6000UE também de fabricante genérico, com potência de 6kWca e sua tensão de funcionamento variando entre 200V a 800V.

Figura 3.1 - Características para o sistema Fixo do caso A

Características do grupo FV			
<b>Módulo FV</b>		<b>Inversor</b>	
Fabricante	Generic	Fabricante	Generic
Modelo	VSUN-330-120-M	Modelo	Sunny Boy 4000 TL-21
(Base de dados original do PVSyst)		(Base de dados original do PVSyst)	
Potência unitária	330 Wp	Potência unitária	4.00 kWca
Número de módulos FV	12 unidades	Número de inversores	1 unit
Nominal (STC)	3960 Wp	Potência total	4.0 kWca
Módulos	1 String x 12 Em série	Tensão de funcionamento	175-500 V
<b>Em condições de func. (50°C)</b>		Rácio Pnom (DC:AC)	0.99
Pmpp	3575 Wp		
Ump	363 V		
I mpp	9.9 A		
<b>Potência FV total</b>		<b>Potência total inversor</b>	
Nominal (STC)	4 kWp	Potência total	4 kWca
Total	12 módulos	N.º de inversores	1 Unidade
Superfície módulos	20.0 m <sup>2</sup>	Rácio Pnom	0.99
Superfície célula	17.4 m <sup>2</sup>		

Fonte: PVSYST, 2021

Figura 3.2 - Características para o sistema Móvel

Características do grupo FV			
<b>Módulo FV</b>		<b>Inversor</b>	
Fabricante	Generic	Fabricante	Generic
Modelo	VSUN-330-120-M	Modelo	Sunny Boy 4000 TL-21
(Base de dados original do PVsyst)		(Base de dados original do PVsyst)	
Potência unitária	330 Wp	Potência unitária	4.00 kWca
Número de módulos FV	12 unidades	Número de inversores	1 unit
Nominal (STC)	3960 Wp	Potência total	4.0 kWca
Módulos	1 String x 12 Em série	Tensão de funcionamento	175-500 V
<b>Em condições de func. (50°C)</b>		Rácio Pnom (DC:AC)	0.99
Pmpp	3575 Wp	<b>Potência total inversor</b>	
Umpp	363 V	Potência total	4 kWca
I mpp	9.9 A	N.º de inversores	1 Unidade
<b>Potência FV total</b>		Rácio Pnom	0.99
Nominal (STC)	4 kWp		
Total	12 módulos		
Superfície módulos	20.0 m <sup>2</sup>		
Superfície célula	17.4 m <sup>2</sup>		

Fonte: PVSYST, 2021

Figura 3.3 - Características para o sistema Fixo do Caso B

Características do grupo FV			
<b>Módulo FV</b>		<b>Inversor</b>	
Fabricante	Generic	Fabricante	Generic
Modelo	VSUN-330-120-M	Modelo	Growatt 6000UE
(Base de dados original do PVsyst)		(Base de dados original do PVsyst)	
Potência unitária	330 Wp	Potência unitária	6.00 kWca
Número de módulos FV	15 unidades	Número de inversores	1 unit
Nominal (STC)	4950 Wp	Potência total	6.0 kWca
Módulos	1 String x 15 Em série	Tensão de funcionamento	200-800 V
<b>Em condições de func. (50°C)</b>		Rácio Pnom (DC:AC)	0.83
Pmpp	4468 Wp	<b>Potência total inversor</b>	
Umpp	454 V	Potência total	6 kWca
I mpp	9.9 A	N.º de inversores	1 Unidade
<b>Potência FV total</b>		Rácio Pnom	0.83
Nominal (STC)	5 kWp		
Total	15 módulos		
Superfície módulos	24.9 m <sup>2</sup>		
Superfície célula	21.8 m <sup>2</sup>		

Fonte: PVSYST, 2021

### 3.3 DADOS DE IRRADIAÇÃO SOLAR

As informações referentes a irradiância solar no terreno considerado, que está dentro da Universidade Federal de Lavras, na cidade de Lavra - Minas Gerais, estão disponíveis no banco de dados do “SunData v3.0”, que utiliza a localização geográfica do local onde se pretende instalar a usina para demonstrar a Irradiação solar diária média em kWh/m<sup>2</sup>.dia, presentes na Tabela 3.1. Os dados representam as informações para a latitude 21.2245416° S e longitude 44.972466° O.

Tabela 3.1 - Dados de irradiação solar diária média mensal na localidade de instalação da usina

<b>Irradiação Solar Diária Média Mensal [kWh/m<sup>2</sup>.dia]</b>		
<b>Mês</b>	<b>Média</b>	<b>Maior média anual (21° N)</b>
Janeiro	5,70	5,11
Fevereiro	5,85	5,54
Março	5,03	5,13
Abril	4,72	5,24
Maio	4,02	4,82
Junho	3,80	4,79
Julho	4,06	5,03
Agosto	4,97	5,77
Setembro	5,19	5,48
Outubro	5,44	5,28
Novembro	5,25	4,85
Dezembro	5,71	50,9
<b>Média</b>	<b>4,98</b>	<b>5,18</b>
<b>Delta</b>	<b>2,05</b>	<b>1,98</b>

Fonte: SUNDATA, 2017

Através da análise dos dados, foi escolhido o ângulo de 21°N referente a maior média anual de irradiação solar, ou seja, quer se aproveitar ao máximo a irradiação solar durante todo o ano. Deste modo, percebe-se o mês com maior irradiação solar em agosto, e o menor em junho.

### 3.4 PVSYST

O PVSyst é um software completo de modelagem e simulação de sistemas de geração de energia fotovoltaica. Através da localização geográfica do possível ponto de instalação do sistema, é possível utilizar as previsões climáticas que o sistema será submetido durante todo o ano, e assim estimar a geração do mesmo. Também estão disponíveis diversos módulos fotovoltaicos e inversores, no banco de dados do software.

Portanto, através desse software foi possível simular as situações desejadas: captação de energia solar com módulo fixo e móvel.

### 3.4.1 LOCALIZAÇÃO

Inicialmente através do software “Google Earth Pro”, foi selecionada a localização exata de um terreno dentro da Universidade Federal de Lavras, com a localização: Latitude: 21.2244°S, Longitude: 44.9725° O, onde é demonstrado na Figura 3.4.

Figura 3.4 - Localização geográfica fictícia de instalação da usina solar



Fonte: Google Earth, 2021

Figura 3.5 - Coordenadas geográficas utilizadas na configuração do projeto

**-Coordenadas geográficas-**



Latitude  [°]    (+ = Norte, - = Hemisf. Sul)

Longitude  [°]    (+ = Este, - = Oeste de Greenwich)

Altitude  M acima do nível do mar

Fuso horário  Correspondente a uma diferença média  
Tempo legal – Tempo solar = 0h 0m 

Fonte: PVSYST, 2021

Esta localização é utilizada pelo software PVSYST, como demonstrado na Tabela 3.2, para acrescentar as informações meteorológicas à simulação, que estão presentes no banco de dados do software como por exemplo: irradiação solar, temperatura média e umidade do ar.

Tabela 3.2 - Informações meteorológicas do banco de dados do software PVSYST, para a cidade de Lavras-MG

<b>Informações Meteorológicas Referentes à Coordenada Geográfica</b>			
<b>Mês</b>	<b>Irradiação horizontal total mensal (kWh/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Irradiação difusa horizontal (kWh/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Temperatura (°C)</b>
<b>Janeiro</b>	197,1	73,5	23,1
<b>Fevereiro</b>	159,5	69,2	23,6
<b>Março</b>	168,4	69,3	22,5
<b>Abril</b>	148,3	57,9	20,9
<b>Maiο</b>	133,0	42,2	18,8
<b>Junho</b>	121,4	36,9	17,5
<b>Julho</b>	139,1	34,0	17,4

<b>Agosto</b>	157,4	42,7	18,8
<b>Setembro</b>	169,8	59,8	20,2
<b>Outubro</b>	187,9	70,8	21,7
<b>Novembro</b>	162,6	82,8	21,0
<b>Dezembro</b>	186,0	71,3	22,6
<b>Anual</b>	<b>1930,5</b>	<b>710,4</b>	<b>20,7</b>

Fonte: PVSYST, 2021

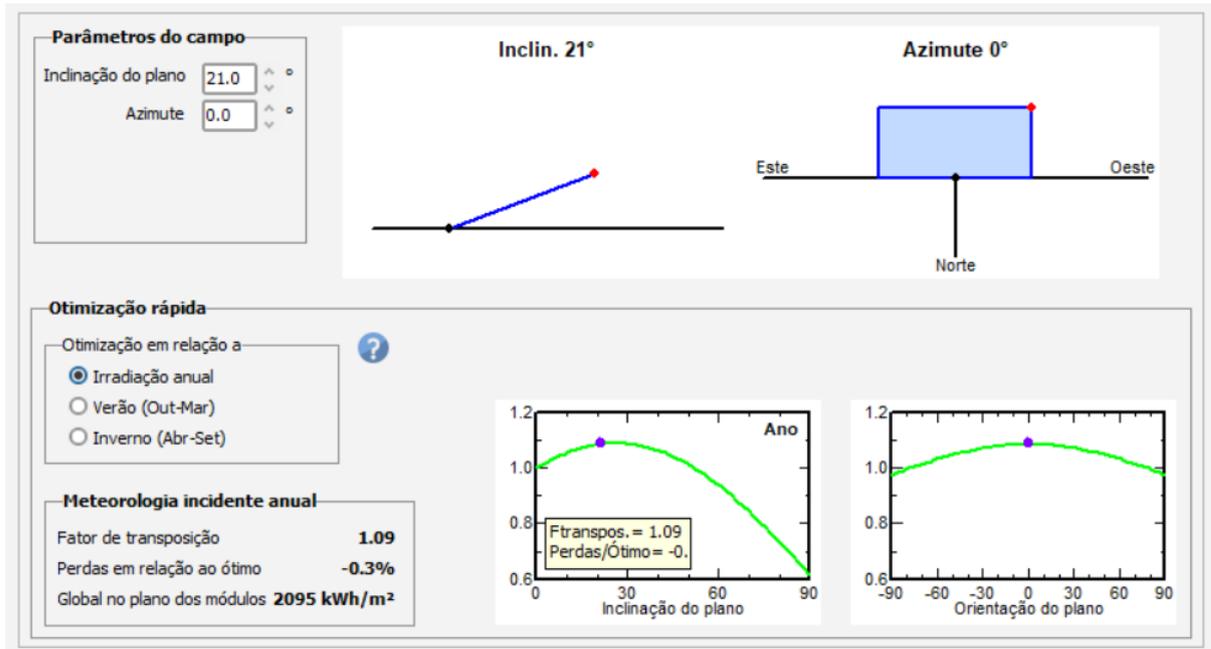
Com as informações meteorológicas inseridas na simulação, já é possível inserir os dados técnicos do projeto. Vale ressaltar que o PVSYST tem uma infinidade de configurações e variáveis, então quanto mais informações forem inseridas no software, mais preciso serão os resultados da simulação.

Em seguida é iniciada as configurações dos principais parâmetros do sistema como a orientação dos painéis, escolha dos módulos fotovoltaicos, inversor(es) e avaliação econômica, entre outros.

### 3.4.2 ORIENTAÇÃO

Inicialmente foi realizada a configuração da orientação referente ao sistema de painéis fixos. Como demonstrado na Figura 3.6, foi escolhido nos parâmetros de campo a inclinação do plano de módulos em 21° para o norte. Essa escolha deve-se aos dados presentes na Tabela 3.1 - Dados de irradiação solar diária média mensal na localidade de instalação da usina, que nos indica que para obter a maior média anual de irradiação, os painéis necessitam estar posicionados a 21° do plano, direcionados para o norte, com o azimute em 0° N.

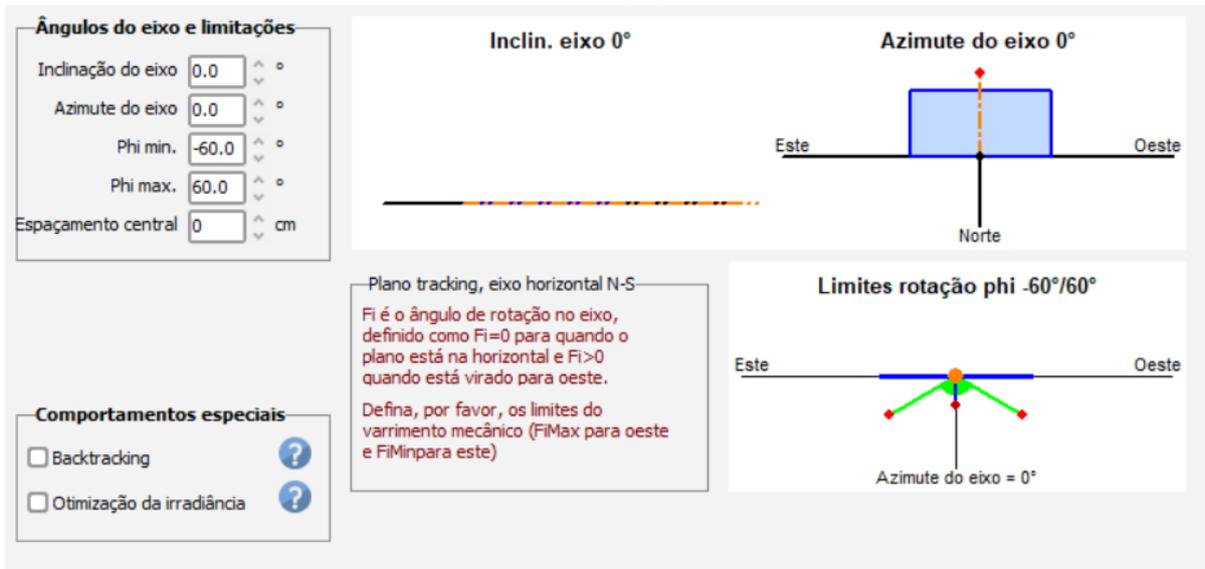
Figura 3.6 - Parâmetros de configuração da orientação base a ser utilizada no projeto de simulação do sistema Fixo



Fonte: PVSYST, 2021

Já se tratando das configurações da orientação do seguidor solar, demonstrado na Figura 3.7, onde foi escolhido a opção de “Tracker eixo horizontal Norte-Sul” onde a base que sustentará os módulos será posicionada no eixo norte-sul e assim o plano move-se do leste para o oeste ao longo do dia. Os ângulos Phi mínimo e Phi máximo escolhidos foram  $-60^\circ$  e  $60^\circ$ , respectivamente, pois foram ângulos com uma grande eficiência na captação de irradiação solar, sem afetar a segurança e desgaste do sistema.

Figura 3.7 - Parâmetros de configuração da orientação base a ser utilizada no projeto de simulação do sistema Móvel



Fonte:

PVSYST, 2021

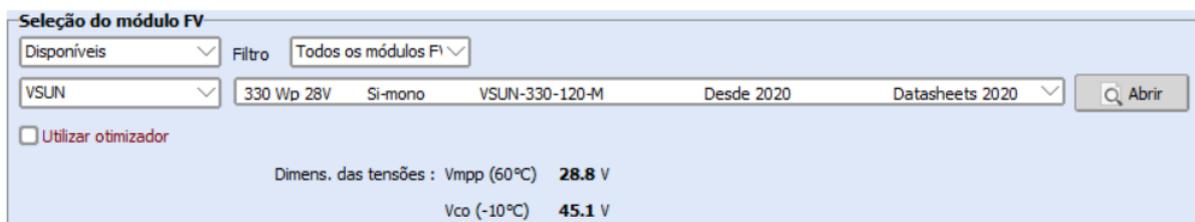
### 3.4.3 SISTEMA

Realizando a configuração pelas opções de sistema, é possível escolher o número, modelo e potência dos módulos fotovoltaicos e de inversores, disponíveis em um grande banco de dados. Nele é possível filtrar os componentes por marca, potência, ano de fabricação, entre outras diversas opções.

#### 3.4.3.1 CASO A

Na parte referente aos módulos fotovoltaicos, foram selecionados os módulos da “VSUN - 330-120-M”, com 330 Wp e 28v, como demonstrado na Figura 3.8. O datasheet desse módulo encontra-se no Anexo A3 deste presente trabalho.

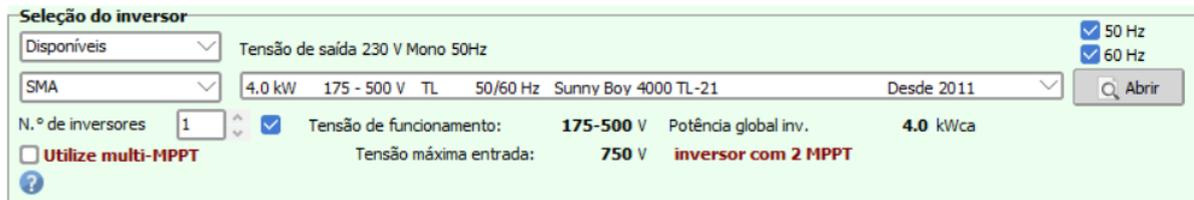
Figura 3.8 - Parâmetros de configuração do módulo fotovoltaico para as simulações de ambos os sistemas do sistema fixo caso A e móvel



Fonte: PVSYST, 2021

Na escolha do inversor, foi selecionado um único inversor “Sunny Boy 4000 TL-21”, como demonstra a Figura 3.9 e com datasheet no Anexo A2 neste documento, com suporte a 4.0kW de potência e faixa de tensão de 175 a 500v, levando em conta um sobredimensionamento para o sistema.

Figura 3.9 - Parâmetros de configuração de inversor para as simulações de ambos os sistemas do sistema fixo caso A e móvel



Fonte: PVSYST, 2021

Tratando-se do dimensionamento do grupo, levando em consideração a potência e tensão de pico do sistema e tratando-se de um seguidor solar com módulos em série, foi selecionado o arranjo de 12 módulos em série, ocupando uma área total de 20 m<sup>2</sup> e sem perdas por sobre-potência, como demonstra a Figura 3.10.

Figura 3.10 - Parâmetros de configuração do número e orientação de módulos fotovoltaicos, para as simulações do sistema fixo caso A e móvel



Fonte: PVSYST, 2021

### 3.4.3.2 CASO B

Para o caso B, foram inseridos no sistema mais três módulos fotovoltaicos idênticos aos utilizados no caso A de 330 Wp cada, como demonstra a Figura 3.11, em um segundo sistema que utiliza os módulos fixos.

Figura 3.11 - Parâmetros de configuração do módulo fotovoltaico para a simulação fixo do sistema do caso B

Fonte: PVSYST, 2021

Para suportar os dois módulos a mais, foi necessário alterar o inversor utilizado no caso A de 4.0kW para um novo inversor de 6.0 kW “Growatt 6000TL3-X”, como demonstra a Figura 3.12. O inversor escolhido foi ligeiramente sobredimensionado, pois foi necessário utilizar um inversor que suportaria mais de doze painéis ligados simultaneamente. O datasheet deste inversor também encontra-se no Anexo A1 deste presente trabalho.

Figura 3.12 - Parâmetros de configuração de inversor para a simulação fixo do sistema do caso B

Fonte: PVSYST, 2021

Em seguida foi configurado o arranjo dos 15 módulos em série, sem perdas de sobrepotência do sistema, como demonstra a Figura 3.13.

Figura 3.13 - Parâmetros de configuração do número e orientação de módulos fotovoltaicos, para a simulação fixo do caso B

Fonte: PVSYST, 2021

### 3.4.4 PERDAS

As perdas presentes na Tabela 3.3 foram consideradas de forma a simular uma geração de energia próxima da real. As principais perdas estão ligadas à eficiência e temperatura de trabalho dos módulos, eficiência do inversor, mismatch, dimensionamento do cabeamento e sombreamento.

Tabela 3.3 - Tabela de Média de Perdas dos Sistema Simulados

<b>Média de Perdas</b>	<b>Valor Considerado</b>
Irradiação Solar Total	<b>100,0%</b>
Desvio no rendimento nominal do módulo (dados de placa) e da radiação de 1000W/m	-0.3%
Temperatura do grupo	-10.0%
Eficiência do Inversor na conversão	-3.2%
Mismatch no MPPT e condutores	-2.5%
Sombreamento	0.0%
Sujeira nos módulos	-2.0%
<b>Energia elétrica não utilizável</b>	<b>= 18.0%</b>

Fonte: PVSYST, 2021

## 4. RESULTADOS E ANÁLISES

### 4.1 APLICAÇÃO

Nas Tabelas 4.1, 4.2 e 4.3 são apresentados alguns resultados obtidos da simulação para o Módulo fixo do caso A, Módulo móvel e o Módulo fixo do caso B, respectivamente. Pode-se notar que para o Módulo móvel a incidência global no plano dos sensores é relativamente maior, visto que o painel acompanha o sol, e conseqüentemente a incidência solar.

Tabela 4.1 - Resultados Principais para o Módulo Fixo caso A

<b>Balancos e Resultados mensais principais do Módulo Fixo do caso A</b>								
	<b>Irradiação horizontal total (kWh/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Irradiação difusa horizontal (kWh/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Temperatura Ambiente (°C)</b>	<b>Incidência Global no plano dos sensores (kWh/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Global efetivo, corrigido para iAM e sombras (kWh/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Energia Efetiva à saída do grupo (MWh)</b>	<b>Energia injetada na rede (MWh)</b>	<b>Índice de Performance (rácio) (*)</b>
<b>Janeiro</b>	197,10	73,48	23,13	180,70	174,40	0,597	0,575	0,804
<b>Fevereiro</b>	159,50	69,18	23,62	154,70	149,70	0,513	0,494	0,806
<b>Março</b>	168,40	69,28	22,53	176,70	171,70	0,589	0,568	0,811
<b>Abril</b>	148,30	57,95	20,89	168,20	164,30	0,571	0,551	0,827
<b>Mai</b>	133,00	42,18	18,81	165,50	161,60	0,569	0,550	0,839
<b>Junho</b>	121,40	36,90	17,52	159,00	155,10	0,552	0,534	0,848
<b>Julho</b>	139,10	33,99	17,43	180,10	176,10	0,621	0,601	0,842
<b>Agosto</b>	157,40	42,68	18,84	187,90	184,00	0,641	0,618	0,831
<b>Setembro</b>	169,80	59,78	20,23	183,50	179,00	0,618	0,596	0,820
<b>Outubro</b>	187,90	70,81	21,67	188,10	182,70	0,628	0,605	0,813
<b>Novembro</b>	162,60	82,81	20,97	151,70	146,20	0,513	0,493	0,821
<b>Dezembro</b>	186,00	71,33	22,63	168,00	161,80	0,558	0,537	0,808
<b>Ano</b>	<b>1930,6</b>	<b>710,36</b>	<b>20,67</b>	<b>2064,1</b>	<b>2006,7</b>	<b>6,972</b>	<b>6,722</b>	<b>0,822</b>

Fonte: PVSYST, 2021

(\*) Índice de Performance : Energia útil produzida (saída do inversor) / Energia incidente de referência

Tabela 4.2 - Resultados Principais para o Módulo Móvel

<b>Balanços e Resultados mensais principais do Módulo Móvel</b>								
	<b>Irradiação horizontal total (kWh/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Irradiação difusa horizontal (kWh/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Temperatura Ambiente (°C)</b>	<b>Incidência Global no plano dos sensores (kWh/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Global efetivo, corrigido para iAM e sombras (kWh/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Energia Efetiva à saída do grupo (MWh)</b>	<b>Energia injetada na rede (MWh)</b>	<b>Índice de Performance (rácio) (*)</b>
<b>Janeiro</b>	197,10	73,48	23,13	253,40	250,90	0,831	0,802	0,799
<b>Fevereiro</b>	159,50	69,18	23,62	208,00	205,70	0,689	0,665	0,808
<b>Março</b>	168,40	69,28	22,53	221,40	218,90	0,738	0,712	0,812
<b>Abril</b>	148,30	57,95	20,89	193,10	190,80	0,659	0,637	0,833
<b>Mai</b>	133,00	42,18	18,81	184,00	181,60	0,641	0,620	0,851
<b>Junho</b>	121,40	36,90	17,52	172,80	170,20	0,610	0,590	0,863
<b>Julho</b>	139,10	33,99	17,43	198,40	195,80	0,696	0,672	0,857
<b>Agosto</b>	157,40	42,68	18,84	215,50	213,50	0,743	0,719	0,842
<b>Setembro</b>	169,80	59,78	20,23	224,20	222,00	0,758	0,733	0,826
<b>Outubro</b>	187,90	70,81	21,67	247,70	245,40	0,827	0,799	0,814
<b>Novembro</b>	162,60	82,81	20,97	204,20	201,50	0,689	0,665	0,823
<b>Dezembro</b>	186,00	71,33	22,63	238,60	236,20	0,789	0,762	0,806
<b>Ano</b>	<b>1930,6</b>	<b>710,36</b>	<b>20,67</b>	<b>2561,2</b>	<b>2532,7</b>	<b>8,672</b>	<b>8,378</b>	<b>0,826</b>

Fonte: PVSYST, 2021

(\*) Índice de Performance : Energia útil produzida (saída do inversor) / Energia incidente de referência

Tabela 4.3 - Resultados Principais para o Módulo Fixo caso B

<b>Balancos e Resultados mensais principais do Módulo Fixo do caso B</b>								
	<b>Irradiação horizontal total (kWh/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Irradiação difusa horizontal (kWh/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Temperatura Ambiente (°C)</b>	<b>Incidência Global no plano dos sensores (kWh/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Global efetivo, corrigido para iAM e sombras (kWh/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Energia Efetiva à saída do grupo (MWh)</b>	<b>Energia injetada na rede (MWh)</b>	<b>Índice de Performance (rácio) (*)</b>
<b>Janeiro</b>	197,10	73,48	23,13	180,70	174,40	0,747	0,724	0,809
<b>Fevereiro</b>	159,50	69,18	23,62	154,70	149,70	0,641	0,621	0,811
<b>Março</b>	168,40	69,28	22,53	176,70	171,70	0,737	0,715	0,817
<b>Abril</b>	148,30	57,95	20,89	168,20	164,30	0,714	0,694	0,834
<b>Mai</b>	133,00	42,18	18,81	165,50	161,60	0,712	0,693	0,846
<b>Junho</b>	121,40	36,90	17,52	159,00	155,10	0,690	0,672	0,854
<b>Julho</b>	139,10	33,99	17,43	180,10	176,10	0,777	0,757	0,849
<b>Agosto</b>	157,40	42,68	18,84	187,90	184,00	0,801	0,780	0,838
<b>Setembro</b>	169,80	59,78	20,23	183,50	179,00	0,773	0,751	0,827
<b>Outubro</b>	187,90	70,81	21,67	188,10	182,70	0,785	0,762	0,819
<b>Novembro</b>	162,60	82,81	20,97	151,70	146,20	0,641	0,620	0,826
<b>Dezembro</b>	186,00	71,33	22,63	168,00	161,80	0,698	0,676	0,813
<b>Ano</b>	<b>1930,6</b>	<b>710,36</b>	<b>20,67</b>	<b>2064,1</b>	<b>2006,7</b>	<b>8,715</b>	<b>8,466</b>	<b>0,829</b>

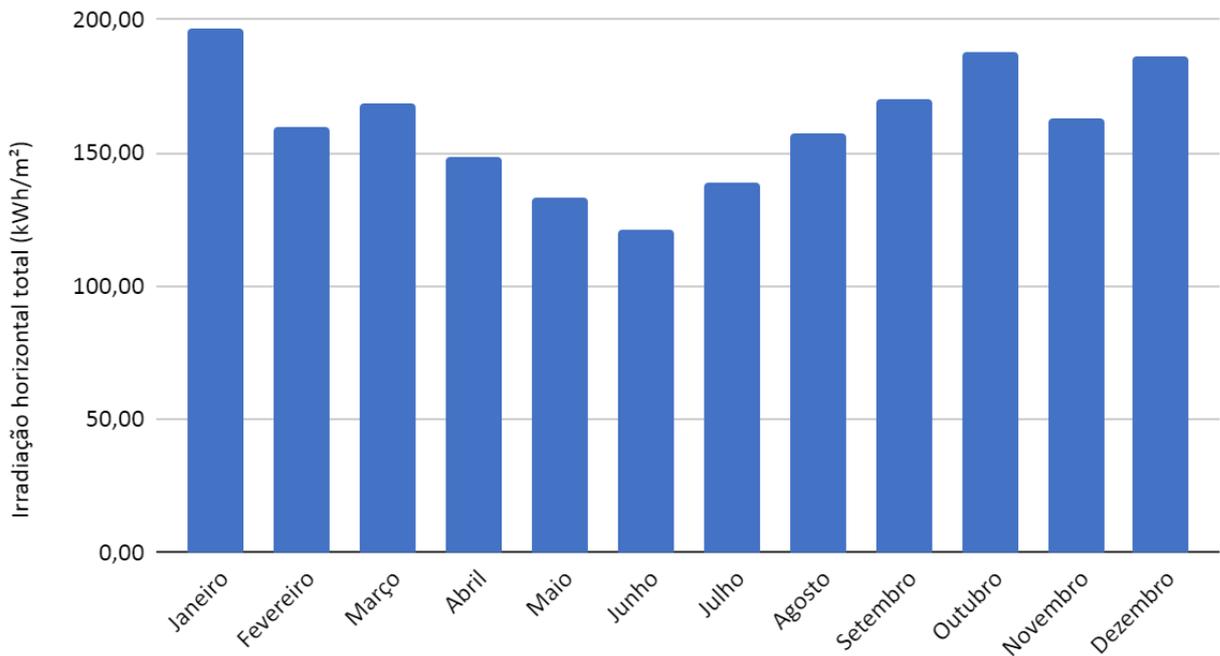
Fonte: PVSYST, 2021

(\*) Índice de Performance : Energia útil produzida (saída do inversor) / Energia incidente de referência

A irradiação horizontal pôde ser mapeada de acordo com os meses no próprio PVSYST como é possível observar nas Figuras 4.1, 4.2 e 4.3. Por se tratar de um empreendimento que varia de acordo com o clima é visível a diferença ao longo das estações do ano. No verão pode chegar a um aumento de quase 63% a mais que no inverno.

Figura 4.1 - Irradiação mensal para o Módulo Fixo no caso A

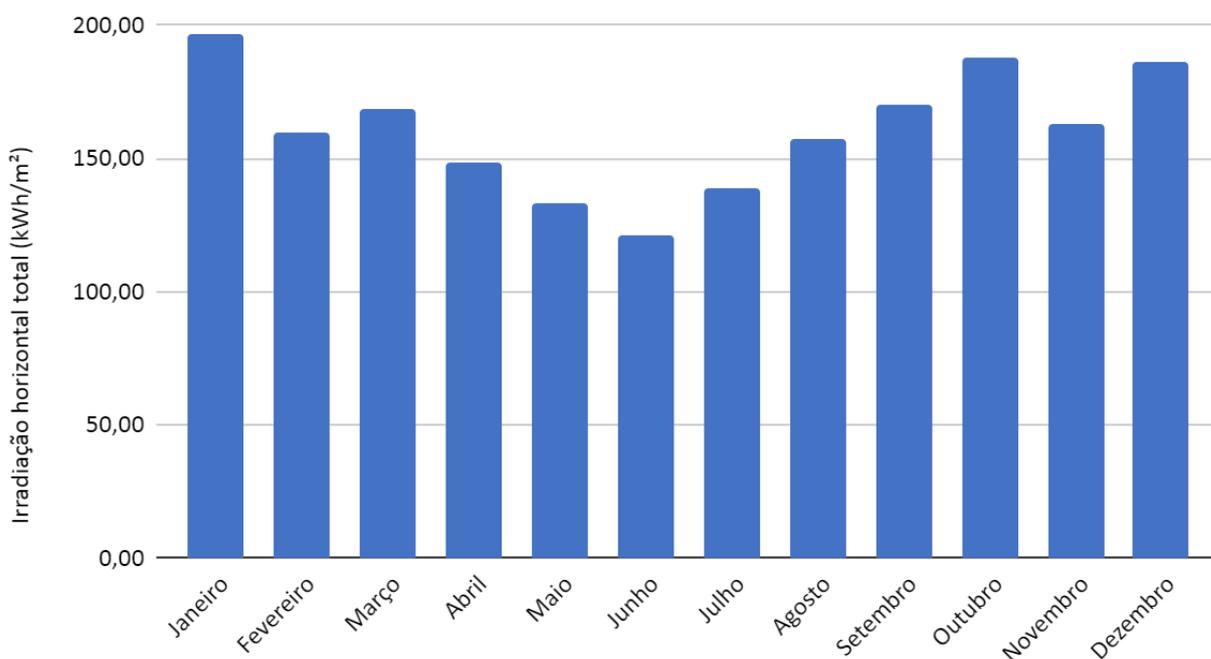
### Irradiação horizontal mensal para o Módulo fixo do caso A



Fonte: Elaborado pelos autores, 2021

Figura 4.2: Irradiação mensal para o Módulo Móvel

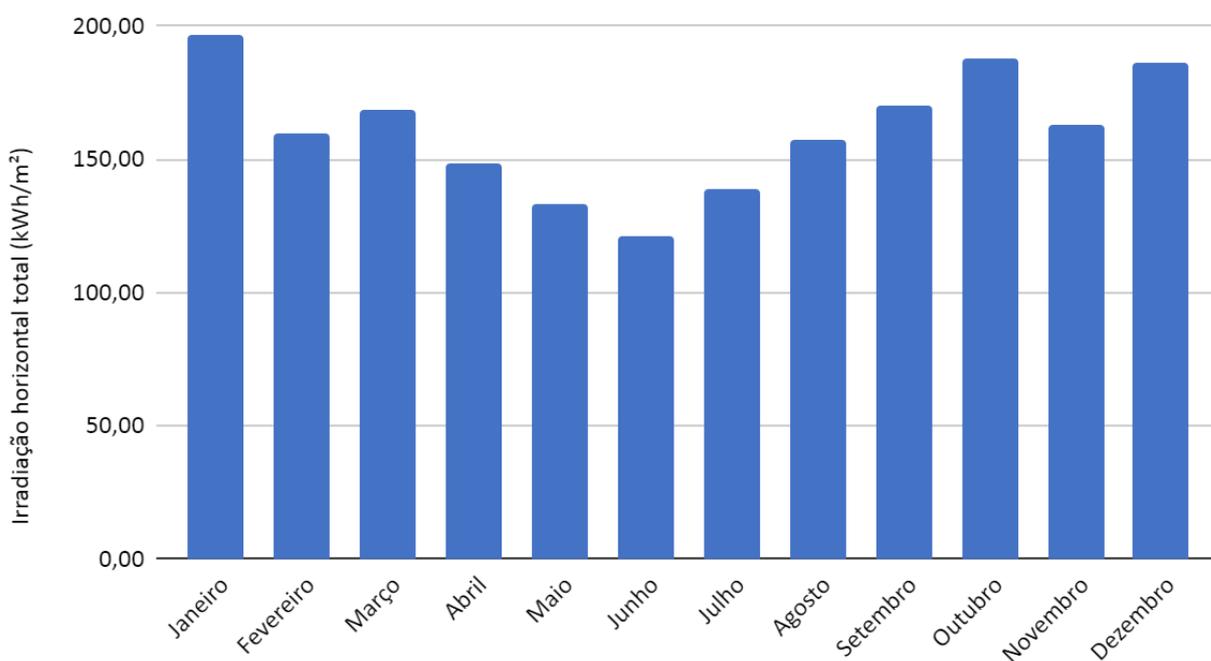
### Irradiação horizontal mensal para o Módulo Móvel



Fonte: PVSYST, 2021

Figura 4.3 - Irradiação mensal para o Módulo Fixo no caso B

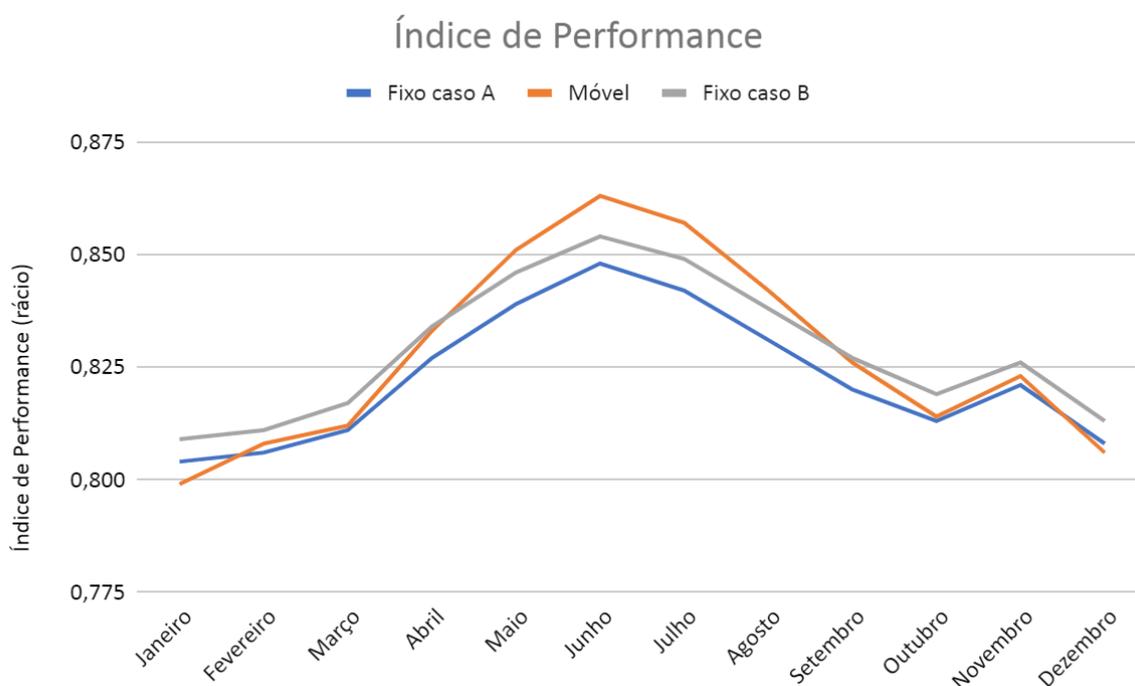
### Irradiação horizontal mensal para o Módulo fixo do caso B



Fonte: PVSYST, 2021

Além disso, podemos avaliar o índice de performance, que é a energia útil produzida dividida pela energia incidente de referência, para cada um dos cenários. Na Figura 4.4 esclarece o comportamento de cada um dos cenários, podendo ser avaliado em conjunto. O Módulo móvel se destaca com um índice de performance de pico mais alto no mês de julho, com 0.863, enquanto os Fixos do caso A e B demonstram 0.848 e 0.854 respectivamente.

Figura 4.4 - Índice de Performance para todos os cenários



Fonte: PVSYST, 2021

## 4.2 ESTUDO ECONÔMICO

Na Tabela 4.4 é especificado o custo de cada equipamento e da instalação do sistema fotovoltaico dos três casos em questão. Dessa forma, é possível calcular através desses valores total investido inicialmente, quando será o retorno através dos lucros provenientes da microgeração.

Tabela 4.4 - Investimentos Totais dos Casos dos Módulos Fixo A, B e Móvel

Investimento				
Caso	Modelo	Descrição	Unidades	Potência Total
Fixo caso A	VSUN-330-120-M	Painel Fotovoltaico	12	3960 Wp
Fixo caso A	Sunny Boy 4000 TL-21	Inversor	1	4000 Wca
Fixo caso A	-	Instalação Elétrica	-	-
Fixo caso A	-	Mão de Obra	-	-
Fixo caso A	-	Projeto e Documentação	1	-

		Acesso		
		<b>Custo Total</b>		<b>R\$ 23.847,78</b>
<b>Caso</b>	<b>Modelo</b>	<b>Descrição</b>	<b>Unidades</b>	<b>Potência Total</b>
Móvel	VSUN-330-120-M	Painel Fotovoltaico	12	3960 Wp
Móvel	Sunny Boy 4000 TL-21	Inversor	1	4000 Wca
Móvel	-	Instalação Elétrica	-	-
Móvel	-	Mão de Obra	-	-
Móvel	-	Projeto e Documentação Acesso	1	-
		<b>Custo Total (35% a mais)</b>		<b>R\$ 32.194,503</b>
<b>Caso</b>	<b>Modelo</b>	<b>Descrição</b>	<b>Unidades</b>	<b>Potência Total</b>
Fixo caso B	VSUN-330-120-M	Painel Fotovoltaico	15	4950 Wp
Fixo caso B	Growatt 600TL3-X	Inversor	1	6000 Wca
Fixo caso B	-	Instalação Elétrica	-	-
Fixo caso B	-	Mão de Obra	-	-
Fixo caso B	-	Projeto e Documentação Acesso	1	-
		<b>Custo Total</b>		<b>R\$ 27.836,92</b>

Fonte: PORTAL SOLAR, 2021

É possível observar os três cenários através da Tabela 4.5. Primeiramente podemos comparar o Módulo Fixo do caso A com o Móvel, que contém os mesmos componentes, mas devido a sua complexidade e instalações físicas necessitam de diferentes valores de investimento. Somente para modificar o sistema fixo com os mesmos componentes para o sistema seguidor solar é preciso um aumento de investimento de R\$8.346,72, equivalente a 35% a mais no investimento. No entanto, a energia produzida do módulo móvel chega a quase 25% a mais que o sistema fixo.

Ao comparar o sistema fixo com mais módulos com o sistema móvel, é possível observar que existe mais equidade, pois produzem quase o mesmo valor de energia, por um menor valor de investimento. Todavia será feita uma análise mais criteriosa para estabelecer qual cenário seria mais vantajoso para ser feito um investimento.

Tabela 4.5 - Energia produzida e Valor Investido para cada Módulo

Cenários	Módulos	Energia produzida	Valor Investido
Fixo Caso A	12	6722	R\$ 23.847,78
Móvel	12	8378	R\$ 32.194,50
Fixo Caso B	15	8466	R\$ 27.836,92

Fonte: PVSYST, 2021; PORTAL SOLAR, 2021

Inicialmente foi calculado o fluxo de caixa de acordo com a energia produzida, considerando como o lucro a quantidade de energia que o consumidor deixa de pagar mensalmente para a companhia de energia elétrica. Utilizando os dados do painel e da simulação pode-se ter o resultado da geração total produzida mensalmente. Com a tarifa do kWh (CEMIG, 2021) variando sazonalmente foi possível calcular o fluxo de caixa mensal para o Módulo Fixo e o Módulo Móvel, como é possível observar na Tabela 4.6 e 4.7 respectivamente.

Tabela 4.6 - Fluxo de Caixa para o Módulo Fixo no caso A

<b>Fixo caso A</b>					
<b>Mês</b>	<b>Área Total</b>	<b>Eficiência Painel</b>	<b>Geração Total Mensal (kWh)</b>	<b>Tarifa</b>	<b>Fluxo de caixa mensal</b>
janeiro	17,4 m <sup>2</sup>	18%	575,5	R\$ 1,12	R\$ 644,56
fevereiro	17,4 m <sup>2</sup>	18%	494	R\$ 1,12	R\$ 553,28
março	17,4 m <sup>2</sup>	18%	567,7	R\$ 1,12	R\$ 635,82
abril	17,4 m <sup>2</sup>	18%	550,7	R\$ 0,81	R\$ 446,78
maio	17,4 m <sup>2</sup>	18%	549,7	R\$ 0,81	R\$ 445,97
junho	17,4 m <sup>2</sup>	18%	533,6	R\$ 0,81	R\$ 432,91
julho	17,4 m <sup>2</sup>	18%	600,6	R\$ 0,81	R\$ 487,27
agosto	17,4 m <sup>2</sup>	18%	618,4	R\$ 0,81	R\$ 501,71
setembro	17,4 m <sup>2</sup>	18%	596,2	R\$ 0,81	R\$ 483,70
outubro	17,4 m <sup>2</sup>	18%	605,4	R\$ 1,12	R\$ 678,05
novembro	17,4 m <sup>2</sup>	18%	493,4	R\$ 1,12	R\$ 552,61
dezembro	17,4 m <sup>2</sup>	18%	537,3	R\$ 1,12	R\$ 601,78
<b>Total anual</b>	-	-	<b>6722,5</b>	-	<b>R\$ 6.464,43</b>

Fonte: Elaborado pelos autores, 2021

Tabela 4.7 - Fluxo de Caixa para o Módulo Móvel

<b>Móvel</b>					
<b>Mês</b>	<b>Área Total</b>	<b>Eficiência Painel</b>	<b>Geração Total Mensal (kWh)</b>	<b>Tarifa</b>	<b>Fluxo de caixa mensal</b>
janeiro	17,4 m <sup>2</sup>	18%	802,2	R\$ 1,12	R\$ 898,46
fevereiro	17,4 m <sup>2</sup>	18%	665,5	R\$ 1,12	R\$ 745,36
março	17,4 m <sup>2</sup>	18%	712,1	R\$ 1,12	R\$ 797,55
abril	17,4 m <sup>2</sup>	18%	637,1	R\$ 0,81	R\$ 516,88
maio	17,4 m <sup>2</sup>	18%	620,2	R\$ 0,81	R\$ 503,17
junho	17,4 m <sup>2</sup>	18%	590,4	R\$ 0,81	R\$ 478,99
julho	17,4 m <sup>2</sup>	18%	673,3	R\$ 0,81	R\$ 546,25
agosto	17,4 m <sup>2</sup>	18%	718,9	R\$ 0,81	R\$ 583,24
setembro	17,4 m <sup>2</sup>	18%	732,8	R\$ 0,81	R\$ 594,52
outubro	17,4 m <sup>2</sup>	18%	798,7	R\$ 1,12	R\$ 894,54

novembro	17,4 m <sup>2</sup>	18%	665,4	R\$ 1,12	R\$ 745,25
dezembro	17,4 m <sup>2</sup>	18%	761,6	R\$ 1,12	R\$ 852,99
<b>Total anual</b>	-	-	<b>8378,2</b>	-	<b>R\$ 8.157,21</b>

Fonte: Elaborado pelos autores, 2021

Como é possível observar, o Módulo Móvel terá uma produção 24,6% a mais que o Módulo Fixo. Lembrando que para implementar esse sistema móvel é necessário investir 35% a mais do orçamento previsto para o sistema com módulos fixos. Além disso, ele rende R\$1.692,78 a mais anualmente para as mesmas condições de módulo e inversor. Na Tabela 4.8 foi feita a mesma análise do fluxo de caixa para o Módulo Fixo no caso B.

Tabela 4.8 - Fluxo de Caixa para o Módulo Fixo no caso B

<b>Fixo caso B</b>					
<b>Mês</b>	<b>Área Total</b>	<b>Eficiência Pannel</b>	<b>Geração Total Mensal (kWh)</b>	<b>Tarifa</b>	<b>Fluxo de caixa mensal</b>
janeiro	21,8 m <sup>2</sup>	18%	724	R\$ 1,12	R\$ 810,88
fevereiro	21,8 m <sup>2</sup>	18%	621	R\$ 1,12	R\$ 695,52
março	21,8 m <sup>2</sup>	18%	715	R\$ 1,12	R\$ 800,80
abril	21,8 m <sup>2</sup>	18%	694	R\$ 0,81	R\$ 563,04
maio	21,8 m <sup>2</sup>	18%	693	R\$ 0,81	R\$ 562,23
junho	21,8 m <sup>2</sup>	18%	672	R\$ 0,81	R\$ 545,19
julho	21,8 m <sup>2</sup>	18%	757	R\$ 0,81	R\$ 614,15
agosto	21,8 m <sup>2</sup>	18%	780	R\$ 0,81	R\$ 632,81
setembro	21,8 m <sup>2</sup>	18%	751	R\$ 0,81	R\$ 609,29
outubro	21,8 m <sup>2</sup>	18%	762	R\$ 1,12	R\$ 853,44
novembro	21,8 m <sup>2</sup>	18%	620	R\$ 1,12	R\$ 694,40
dezembro	21,8 m <sup>2</sup>	18%	676	R\$ 1,12	R\$ 757,12
<b>Total anual</b>	-	-	<b>8465,0</b>	-	<b>R\$ 8.138,88</b>

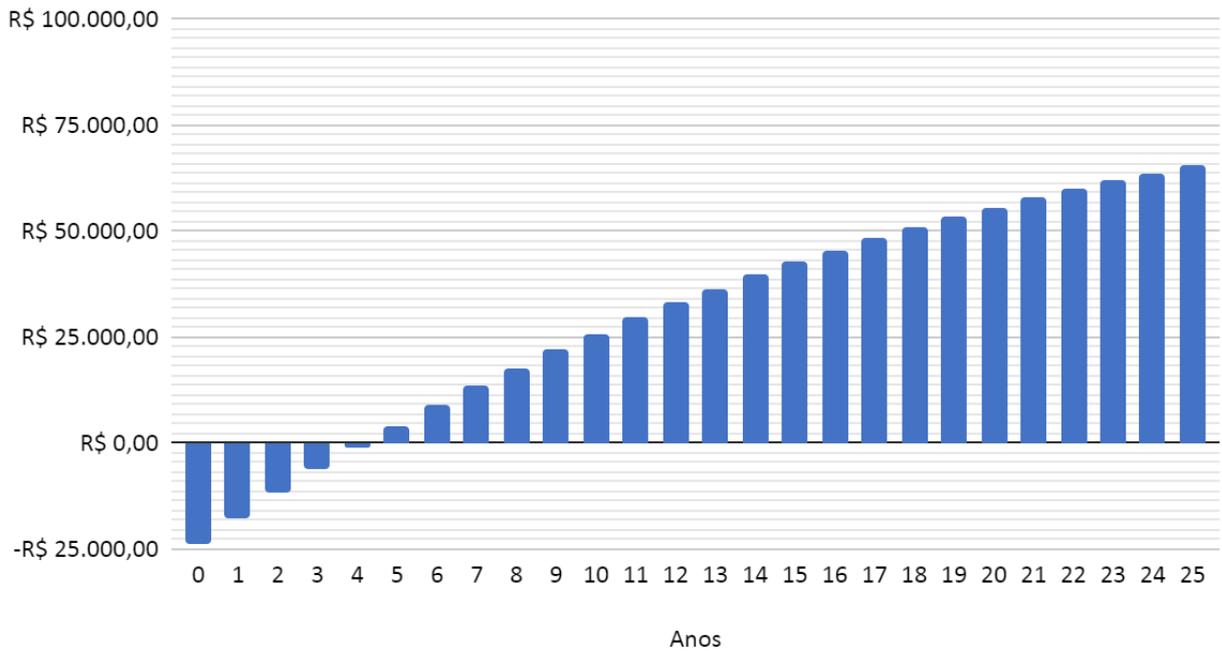
Fonte: Elaborado pelos autores, 2021

Comparando o Módulo Móvel com o Módulo Fixo para o caso B (com 15 módulos) é possível observar que a geração total mensal dos dois é bem próxima, e por isso, no caso B tem um valor de fluxo de caixa mensal com apenas R\$18,33 de diferença.

Posteriormente foi calculado o payback para observar o retorno do investimento, ou seja, em quanto tempo cada um dos casos pagaria o investimento inicial e daria lucro. As Figuras 4.5, 4.6 e 4.7 demonstram o fluxo de caixa acumulado anual. É possível visualizar o momento em que o negócio deixa de pagar o investimento para gerar lucro. O Módulo Fixo no caso A levará 4 anos e 2 meses, o Móvel 4 anos e 5 meses e o Fixo no caso B terá apenas 3 anos e 9 meses para o retorno.

Figura 4.5 - Payback para o Módulo Fixo no caso A

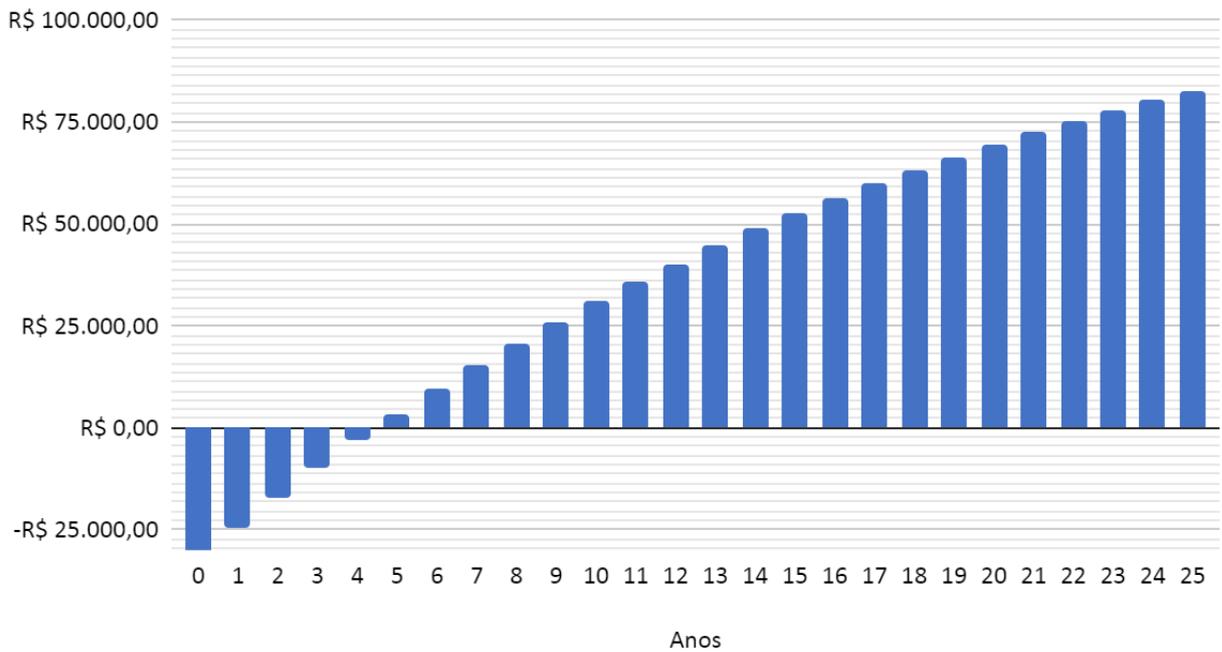
### Payback para o Módulo Fixo caso A



Fonte: Elaborado pelos autores, 2021

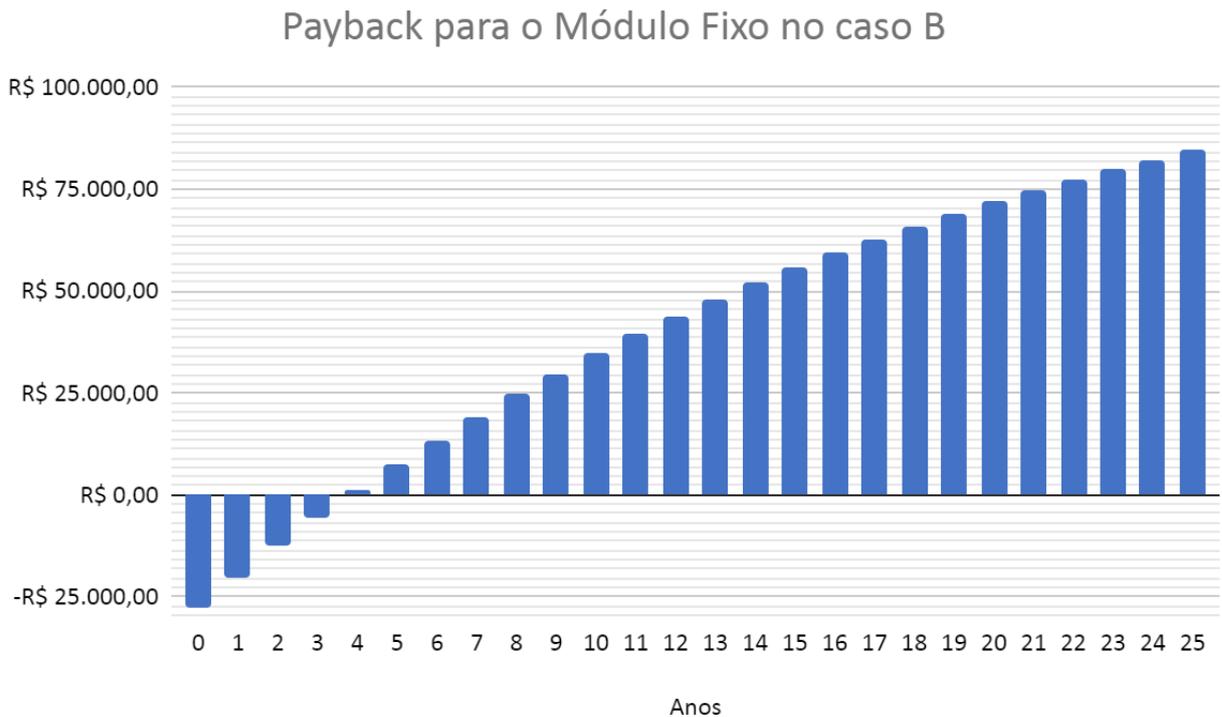
Figura 4.6: Payback para o Módulo Móvel

### Payback para o Módulo Móvel



Fonte: Elaborado pelos autores, 2021

Figura 4.7 - Payback para o Módulo Fixo no caso B



Fonte: Elaborado pelos autores, 2021

Considerando 0,8% ao ano de depreciação da energia gerada pelos painéis, conforme descrito no datasheet, foi feito o cálculo do VPL considerando como TMA a taxa da poupança de 4,38% ao ano e comparado: primeiro o Módulo Fixo caso A com o Móvel e depois o Módulo Fixo caso B com o Móvel. Além disso, foi feito o cálculo da TIR de cada um dos cenários. Segue abaixo na Tabela 4.9 e 4.10 as comparações dos fluxos de caixa e dos indicadores econômicos.

Tabela 4.9 - Comparação entre os valores dos Sistemas Fixo no caso A e Móvel

	Sistema Fixo caso A			Sistema Móvel			
	Payback	4 anos e 2 meses		Payback	4 anos e 5 meses		
	TIR	26,22%		TIR	24,60%		
Anos	Fluxo de Caixa	Valor Presente Líquido	Payback	Fluxo de Caixa	Valor Presente Líquido	Payback	Diferença \$ Fixo x Móvel
0	-R\$ 23.847,78	-R\$ 23.847,78	-R\$ 23.847,78	-R\$ 32.194,50	-R\$ 32.194,50	-R\$ 32.194,50	-R\$ 8.346,72
1	R\$ 6.464,43	R\$ 6.193,17	-R\$ 17.654,61	R\$ 8.157,21	R\$ 7.814,92	-R\$ 24.379,58	R\$ 1.621,75
2	R\$ 6.412,72	R\$ 5.885,83	-R\$ 11.768,78	R\$ 8.105,50	R\$ 7.439,52	-R\$ 16.940,06	R\$ 1.553,70
3	R\$ 6.361,00	R\$ 5.593,37	-R\$ 6.175,41	R\$ 8.053,78	R\$ 7.081,87	-R\$ 9.858,19	R\$ 1.488,50
4	R\$ 6.309,29	R\$ 5.315,09	-R\$ 860,32	R\$ 8.002,07	R\$ 6.741,13	-R\$ 3.117,06	R\$ 1.426,04
5	R\$ 6.257,57	R\$ 5.050,32	R\$ 4.190,01	R\$ 7.950,35	R\$ 6.416,52	R\$ 3.299,47	R\$ 1.366,20
6	R\$ 6.205,85	R\$ 4.798,42	R\$ 8.988,42	R\$ 7.898,63	R\$ 6.107,29	R\$ 9.406,75	R\$ 1.308,87
7	R\$ 6.154,14	R\$ 4.558,76	R\$ 13.547,18	R\$ 7.846,92	R\$ 5.812,70	R\$ 15.219,45	R\$ 1.253,95
8	R\$ 6.102,42	R\$ 4.330,76	R\$ 17.877,94	R\$ 7.795,20	R\$ 5.532,09	R\$ 20.751,54	R\$ 1.201,33
9	R\$ 6.050,71	R\$ 4.113,87	R\$ 21.991,81	R\$ 7.743,49	R\$ 5.264,79	R\$ 26.016,33	R\$ 1.150,92
10	R\$ 5.998,99	R\$ 3.907,56	R\$ 25.899,36	R\$ 7.691,77	R\$ 5.010,18	R\$ 31.026,51	R\$ 1.102,62
11	R\$ 5.947,28	R\$ 3.711,32	R\$ 29.610,68	R\$ 7.640,06	R\$ 4.767,67	R\$ 35.794,19	R\$ 1.056,36
12	R\$ 5.895,56	R\$ 3.524,66	R\$ 33.135,35	R\$ 7.588,34	R\$ 4.536,69	R\$ 40.330,88	R\$ 1.012,03
13	R\$ 5.843,85	R\$ 3.347,14	R\$ 36.482,49	R\$ 7.536,63	R\$ 4.316,70	R\$ 44.647,58	R\$ 969,56
14	R\$ 5.792,13	R\$ 3.178,31	R\$ 39.660,80	R\$ 7.484,91	R\$ 4.107,19	R\$ 48.754,77	R\$ 928,88
15	R\$ 5.740,42	R\$ 3.017,75	R\$ 42.678,55	R\$ 7.433,20	R\$ 3.907,65	R\$ 52.662,42	R\$ 889,90
16	R\$ 5.688,70	R\$ 2.865,08	R\$ 45.543,63	R\$ 7.381,48	R\$ 3.717,63	R\$ 56.380,06	R\$ 852,56
17	R\$ 5.636,98	R\$ 2.719,90	R\$ 48.263,53	R\$ 7.329,76	R\$ 3.536,68	R\$ 59.916,74	R\$ 816,78
18	R\$ 5.585,27	R\$ 2.581,86	R\$ 50.845,39	R\$ 7.278,05	R\$ 3.364,37	R\$ 63.281,11	R\$ 782,51
19	R\$ 5.533,55	R\$ 2.450,62	R\$ 53.296,01	R\$ 7.226,33	R\$ 3.200,29	R\$ 66.481,40	R\$ 749,67
20	R\$ 5.481,84	R\$ 2.325,84	R\$ 55.621,85	R\$ 7.174,62	R\$ 3.044,06	R\$ 69.525,46	R\$ 718,22
21	R\$ 5.430,12	R\$ 2.207,22	R\$ 57.829,07	R\$ 7.122,90	R\$ 2.895,30	R\$ 72.420,76	R\$ 688,08
22	R\$ 5.378,41	R\$ 2.094,47	R\$ 59.923,54	R\$ 7.071,19	R\$ 2.753,67	R\$ 75.174,43	R\$ 659,20
23	R\$ 5.326,69	R\$ 1.987,28	R\$ 61.910,82	R\$ 7.019,47	R\$ 2.618,83	R\$ 77.793,26	R\$ 631,54
24	R\$ 5.274,98	R\$ 1.885,41	R\$ 63.796,23	R\$ 6.967,76	R\$ 2.490,45	R\$ 80.283,71	R\$ 605,04
25	R\$ 5.223,26	R\$ 1.788,58	R\$ 65.584,82	R\$ 6.916,04	R\$ 2.368,24	R\$ 82.651,94	R\$ 579,65
<b>Total</b>	-	<b>R\$ 65.584,82</b>	-	-	<b>R\$ 82.651,94</b>	-	<b>R\$ 17.067,13</b>

Fonte: Elaborado pelos autores, 2021

Como é possível observar na Tabela 4.9 o sistema Móvel tem um investimento inicial maior, mas tem um grande retorno ao longo dos anos. Após o payback, se somada, sua diferença chega a R\$17.067,13 a mais que o Fixo do caso A, significando um aumento de 26%.

Portanto, para esse primeiro cenário o sistema Móvel traz resultados melhores, visto que o valor da tarifa de energia está alto suficiente para pagar a diferença de investimento inicial e gerar lucro.

Vale ressaltar que a energia do sistema on grid que não é utilizada e portanto é injetada na rede, e devolvida para o consumidor em forma de crédito para ser utilizado no pagamento de contas posteriores.

Tabela 4.10 - Comparação entre os valores dos Sistemas Fixo no caso B e Móvel

	Sistema Fixo B			Sistema Móvel			
	Payback	3 anos e 9 meses		Payback	4 anos e 5 meses		
	TIR	28,33%		TIR	24,60%		
Anos	Fluxo de Caixa	Valor Presente Líquido	Payback	Fluxo de Caixa	Valor Presente Líquido	Payback	Diferença \$ Fixo x Móvel
0	-R\$ 27.836,92	-R\$ 27.836,92	-R\$ 27.836,92	-R\$ 32.194,50	-R\$ 32.194,50	-R\$ 32.194,50	-R\$ 4.357,58
1	R\$ 8.127,36	R\$ 7.786,32	-R\$ 20.050,60	R\$ 8.157,21	R\$ 7.814,92	-R\$ 24.379,58	R\$ 28,60
2	R\$ 8.062,34	R\$ 7.399,91	-R\$ 12.650,69	R\$ 8.105,50	R\$ 7.439,52	-R\$ 16.940,06	R\$ 39,61
3	R\$ 7.997,32	R\$ 7.032,22	-R\$ 5.618,46	R\$ 8.053,78	R\$ 7.081,87	-R\$ 9.858,19	R\$ 49,65
4	R\$ 7.932,30	R\$ 6.682,36	R\$ 1.063,90	R\$ 8.002,07	R\$ 6.741,13	-R\$ 3.117,06	R\$ 58,77
5	R\$ 7.867,28	R\$ 6.349,48	R\$ 7.413,38	R\$ 7.950,35	R\$ 6.416,52	R\$ 3.299,47	R\$ 67,04
6	R\$ 7.802,27	R\$ 6.032,77	R\$ 13.446,16	R\$ 7.898,63	R\$ 6.107,29	R\$ 9.406,75	R\$ 74,51
7	R\$ 7.737,25	R\$ 5.731,46	R\$ 19.177,62	R\$ 7.846,92	R\$ 5.812,70	R\$ 15.219,45	R\$ 81,24
8	R\$ 7.672,23	R\$ 5.444,82	R\$ 24.622,43	R\$ 7.795,20	R\$ 5.532,09	R\$ 20.751,54	R\$ 87,27
9	R\$ 7.607,21	R\$ 5.172,13	R\$ 29.794,57	R\$ 7.743,49	R\$ 5.264,79	R\$ 26.016,33	R\$ 92,66
10	R\$ 7.542,19	R\$ 4.912,75	R\$ 34.707,32	R\$ 7.691,77	R\$ 5.010,18	R\$ 31.026,51	R\$ 97,43
11	R\$ 7.477,17	R\$ 4.666,03	R\$ 39.373,34	R\$ 7.640,06	R\$ 4.767,67	R\$ 35.794,19	R\$ 101,65
12	R\$ 7.412,15	R\$ 4.431,36	R\$ 43.804,70	R\$ 7.588,34	R\$ 4.536,69	R\$ 40.330,88	R\$ 105,33
13	R\$ 7.347,13	R\$ 4.208,17	R\$ 48.012,87	R\$ 7.536,63	R\$ 4.316,70	R\$ 44.647,58	R\$ 108,53
14	R\$ 7.282,11	R\$ 3.995,91	R\$ 52.008,77	R\$ 7.484,91	R\$ 4.107,19	R\$ 48.754,77	R\$ 111,28
15	R\$ 7.217,10	R\$ 3.794,05	R\$ 55.802,83	R\$ 7.433,20	R\$ 3.907,65	R\$ 52.662,42	R\$ 113,60
16	R\$ 7.152,08	R\$ 3.602,10	R\$ 59.404,92	R\$ 7.381,48	R\$ 3.717,63	R\$ 56.380,06	R\$ 115,54
17	R\$ 7.087,06	R\$ 3.419,57	R\$ 62.824,50	R\$ 7.329,76	R\$ 3.536,68	R\$ 59.916,74	R\$ 117,11
18	R\$ 7.022,04	R\$ 3.246,03	R\$ 66.070,52	R\$ 7.278,05	R\$ 3.364,37	R\$ 63.281,11	R\$ 118,34
19	R\$ 6.957,02	R\$ 3.081,02	R\$ 69.151,54	R\$ 7.226,33	R\$ 3.200,29	R\$ 66.481,40	R\$ 119,27
20	R\$ 6.892,00	R\$ 2.924,15	R\$ 72.075,69	R\$ 7.174,62	R\$ 3.044,06	R\$ 69.525,46	R\$ 119,91
21	R\$ 6.826,98	R\$ 2.775,02	R\$ 74.850,71	R\$ 7.122,90	R\$ 2.895,30	R\$ 72.420,76	R\$ 120,28
22	R\$ 6.761,96	R\$ 2.633,25	R\$ 77.483,96	R\$ 7.071,19	R\$ 2.753,67	R\$ 75.174,43	R\$ 120,42
23	R\$ 6.696,94	R\$ 2.498,50	R\$ 79.982,46	R\$ 7.019,47	R\$ 2.618,83	R\$ 77.793,26	R\$ 120,33
24	R\$ 6.631,93	R\$ 2.370,42	R\$ 82.352,88	R\$ 6.967,76	R\$ 2.490,45	R\$ 80.283,71	R\$ 120,03
25	R\$ 6.566,91	R\$ 2.248,68	R\$ 84.601,56	R\$ 6.916,04	R\$ 2.368,24	R\$ 82.651,94	R\$ 119,55
<b>Total</b>	-	<b>R\$ 84.601,84</b>	-	-	<b>R\$ 82.651,94</b>	-	<b>-R\$ 1.949,62</b>

Fonte: Elaborado pelos autores, 2021

Se comparado ao módulo fixo com mais painéis e outro inversor (Módulo fixo B), o móvel não representa tanta vantagem como é possível visualizar na Tabela 4.10 e na Tabela 4.11. Além de seu Payback demandar mais tempo, o VPL é inferior, assim como a TIR também é inferior. Ou seja,

a diferença inicial que foi investida pelos dois cenários é R\$4.357,58, e ao somar o rendimento de 25 anos que o Móvel fornece a mais que o Fixo, ainda faltam R\$1.949,62.

Tabela 4.11 - Resultado econômico para os três cenários

Cenários	Payback	VLP	TIR
Fixo do caso A	4 anos e 2 meses	R\$ 65.584,82	26,22%
Móvel	4 anos e 5 meses	R\$ 82.651,94	24,60%
Fixo do caso B	3 anos e 9 meses	R\$ 84.601,84	28,33%

Fonte: Elaborado pelos autores, 2021

Com isso é possível perceber que mesmo produzindo um pouco mais, o módulo Móvel não compensa neste caso. Portanto, para usinas de pequeno porte, vale a pena inserir mais módulos solares, do que instalar um sistema com menor quantidade de módulo e com seguidor solar.

## 5. CONCLUSÃO

Como foi visto, o cenário com o melhor custo-benefício apresentado foi o do sistema fotovoltaico fixo do caso B. Apesar de exigir um investimento inicial maior que o investimento utilizado no sistema fixo do caso A, é possível observar que com o aumento de módulos solares do seu sistema e consequentemente da potência do mesmo, é possível produzir mais energia e ter um retorno melhor com um sistema fixo, do que em comparação com o retorno de um sistema seguidor solar.

As demais análises do presente trabalho demonstram que o sistema seguidor solar, apesar de gerar cerca de 20% mais energia, do que um sistema fixo de mesma potência, ainda não possui um custo-benefício tão alto como nos sistemas fixos. Por se tratar de um sistema ainda muito novo, e portanto requer uma tecnologia mais avançada, mão de obra e material mais caro, isso leva a um aumento de investimentos inicial em cerca de 35% comparado a um sistema fixo.

Levando em conta o fator investimento no caso B utilizando painéis fixos, apresentou uma TIR de cerca de 28,33%. Outros tipos de investimento mais comuns atualmente como poupança e CDB, que possuem retorno em torno de 4,38% e 7,65% ao ano, respectivamente, tornam a instalação de uma usina solar um investimento em média, cerca de 400% maior que a poupança ou CDB.

## 6. REFERÊNCIAS

- [1] ARONDE, 2010. Marion – NREL, 2005. Vallina, 2010.
- [2] BLUE E SOL ENERGIA SOLAR, 2019. Disponível em: <<https://blog.bluesol.com.br/painel-solar-preco-e-como-funciona/>> Acessado em: 19 de out de 2021
- [3] CASSARES, Maurício *et al.* Análise da produtividade do primeiro ano de operação de um sistema fotovoltaico com seguidor solar de eixo horizontal. São Paulo: USP, 2018
- [4] CEMIG, 2021. Disponível em: <<https://www.cemig.com.br/>> Acessado em: 17 de nov de 2021
- [5] ENEGRID, 2019. Disponível em: <<https://engegrid.com.br/blog/saiba-como-funciona-o-inversor-solar/>>. Acessado em: 22 de nov de 2021
- [6] EXTRA.GLOBO FINANÇAS. Disponível em: <<https://extra.globo.com/economia/financas/com-selic-775-como-fica-rendimento-da-poupanca-veja-onde-aplicar-rv1-1-25255873.html>>. Acessado em: 21 de nov de 2021
- [7] GOOGLE EARTH. Disponível em: <<https://earth.google.com/web/>>. Acessado em: 05 de out de 2021
- [8] G1 GLOBO, 2021. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/noticia/2021/08/27/conta-de-luz-esta-cada-vez-mais-cara-entenda-por-que-ela-sobe-e-quais-os-problemas-dessa-escalada-de-precos.ghtml>> Acessado em: 19 de nov de 2021
- [9] LIGHT SESA. Norma Técnica para Geração de Energia Alternativa. Rio de Janeiro: IT DTE/DTP, 2012.
- [10] MIRANDA, Arthur Biagio. Análise da viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico conectado à rede. Rio de Janeiro: UFRJ, 2014
- [11] MOTTA, Regis da Rocha & CALÔBA, Guilherme Marques. Análise de Investimentos: Tomada de Decisão em Projetos Industriais. São Paulo: Atlas, 2002
- [12] PORTAL SOLAR, 2011 Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/como-funciona-energia-solar.html>> Acessado em: 28 de set de 2021
- [13] PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. L.; RÜTHER, R.; ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J. G. Atlas brasileiro de energia solar. 2.ed. São José dos Campos: INPE, 2017. 80p. Disponível em: <<http://doi.org/10.34024/978851700089>>. Acessado em: 05 de nov de 2021
- [14] RODRIGUEZ, M. A., Almeida, M. P. Pinto, A. F. Zilles, R., Silva, J. F. R. Protótipo de Seguidor solar de eixo horizontal para sistemas fotovoltaicos. V Congresso Brasileiro de Energia Solar. Recife, Brasil, 2014

[15] SOL STAR, 2021 Disponível em: <<https://solstar.com.br/2021/05/26/o-inversor-no-sistema-de-energia-solar/>> Acessado em: 23 de out de 2021

[16] SOLAR TRACKER COSTS. The EcoExperts, 2020. Disponível em: <<https://www.theecoexperts.co.uk/solar-panels/tracker-costs>>. Acessado em: 15/10/2021

[17] SOLSTÍCIO ENERGIA. Os Trackers ou Seguidores Solares, 2019. Disponível em: <<https://www.solsticioenergia.com/2019/10/23/trackers-seguidores-solares/>>. Acessado em: 01/12/2021

[18] SUNDATA v3.0. Potencial Solar CRESESB CEPEL. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>>. Acessado em: 05/11/2021

[19] XAVIER, Mariana *et al.* Confecção de um rastreador solar de pequeno porte para placas fotovoltaicas. Conimas, 2019.

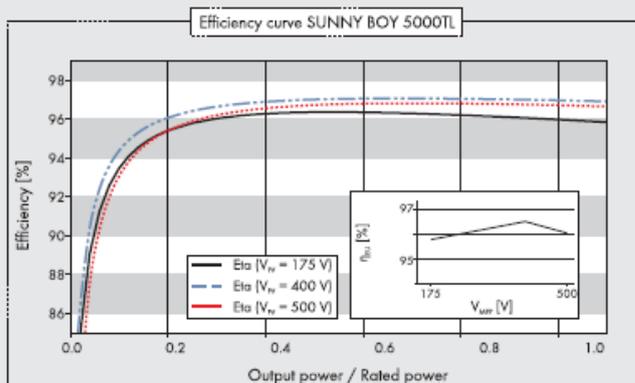
## 7. ANEXOS

### Anexo A1- Datasheet inversor Growatt 6000TL-X

Datasheet	MIN 2500TL-X	MIN 3000TL-X	MIN 3600TL-X	MIN 4200TL-X	MIN 4600TL-X	MIN 5000TL-X	MIN 6000TL-X
<b>Input Data (DC)</b>							
Max. recommended PV power (for module STC)	3500W	4200W	5040W	5880W	6440W	7000W	8100W
Max. DC voltage	500V	500V	550V	550V	550V	550V	550V
Start voltage	100V						
Nominal voltage	360V						
MPP voltage range	80V-500V	80V-500V	80V-550V	80V-550V	80V-550V	80V-550V	80V-550V
No. of MPP trackers	2						
No. of PV strings per MPP tracker	1						
Max. input current per MPP tracker	12.5A						
Max. short-circuit current per MPP tracker	16A						
<b>Output data (AC)</b>							
AC nominal power	2500W	3000W	600W	4200W	4600W	5000W	6000W
Max. AC apparent power	2500VA	3000VA	3600VA	4200VA	4600VA	5000VA	6000VA
Nominal AC voltage (range*)	230V (180-280V)						
AC grid frequency (range*)	50/60 Hz (45-55Hz/55-65 Hz)						
Max. output current	11.3A	13.6A	16A	19A	20.9A	22.7A	27.2A
Adjustable power factor	0.8leading...0.8lagging						
THDI	< 3%						
AC grid connection type	Single phase						
<b>Efficiency</b>							
Max. efficiency	98.2%	98.2%	98.2%	98.4%	98.4%	98.4%	98.4%
European efficiency	97.1%	97.1%	97.2%	97.5%	97.5%	97.5%	97.5%
MPPT efficiency	99.9%						
<b>Protection Devices</b>							
DC reverse polarity protection	yes						
DC switch	yes						
AC/DC surge protection	Type II / Type III						
Insulation resistance monitoring	yes						
AC short-circuit protection	yes						
Ground fault monitoring	yes						
Grid monitoring	yes						
Anti-islanding protection	yes						
Residual-current monitoring unit	yes						
AFCI protection	Optional						
<b>General Data</b>							
Dimensions (W / H / D)	375/350/160mm						
Weight	10.8kg						
Operating temperature range	-25°C ... +60°C						
Noise emission (typical)	≤35 dB(A)						
Nighttime power consumption	< 1W						
Topology	Transformerless						
Cooling	Natural convection						
Protection degree	IP65						
Relative humidity	0-100%						
Altitude	4000m						
DC connection	H4/MC4(Optional)						
AC connection	Connector						
Display	OLED + LED/WIFI + APP						
Interfaces: RS485 / USB/WI-FI / GPRS/ RF/LAN	Yes/Yes/Optional/Optional/Optional / Optional						
Warranty: 5 years/ 10 years	Yes /Optional						
CE, IEC62109, VDE0126-1-1, AS4777, AS/NZS 3100, VDE-AR-N4105, CQC, IEC61683, IEC60068, IEC61727, IEC62116, INMETRO							

### Anexo A2- Datasheet inversor Sunny Boy 4000TL

Technical data	Sunny Boy 4000TL	Sunny Boy 5000TL
<b>Input (DC)</b>		
Max. DC power (@ $\cos \varphi = 1$ )	4200 W	5250 W <sup>3</sup>
Max. input voltage	750 V	750 V
MPP voltage range / rated input voltage	175 V ... 500 V/400 V	175 V ... 500 V/400 V
Min. input voltage / initial input voltage	125 V / 150 V	125 V / 150 V
Max. input current input A / input B	15 A / 15 A	15 A / 15 A
Max. input current per string input A / input B	15 A / 15 A	15 A / 15 A
Number of independent MPP inputs / strings per MPP input	2 / A:2; B:2	2 / A:2; B:2
<b>Output (AC)</b>		
Rated power (@ 230 V, 50 Hz)	4000 W	4600 W
Max. apparent AC power	4000 VA	5000 VA <sup>2</sup>
Nominal AC voltage / range	220 V, 230 V, 240 V / 180 V - 280 V	220 V, 230 V, 240 V / 180 V - 280 V
AC power frequency / range	50 Hz, 60 Hz / -5 Hz ... +5 Hz	50 Hz, 60 Hz / -5 Hz ... +5 Hz
Rated power frequency / rated grid voltage	50 Hz / 230 V	50 Hz / 230 V
Max. output current	22 A	22 A
Power factor at rated power	1	1
Displacement power factor, adjustable	0.8 overexcited ... 0.8 underexcited	0.8 overexcited ... 0.8 underexcited
Feed-in phases / connection phases	1 / 1	1 / 1
<b>Efficiency</b>		
Max. efficiency / European weighted efficiency	97 % / 96.4 %	97 % / 96.5 %
<b>Protective devices</b>		
DC disconnect device	●	●
Ground fault monitoring / grid monitoring	● / ●	● / ●
DC reverse polarity protection / AC short-circuit current capability / galvanically isolated	● / ● / -	● / ●
All-pole-sensitive residual-current monitoring unit	●	●
Protection class (according to IEC 62103) / overvoltage category (according to IEC 60664-1)	I / III	I / III
<b>General data</b>		
Dimensions (W/H/D)	490 / 519 / 185 mm (19.3 / 20.4 / 7.3 inches)	490 / 519 / 185 mm (19.3 / 20.4 / 7.3 inches)
Weight	26 kg / 57.3 lb	26 kg / 57.3 lb
Operating temperature range	-25°C ... +60°C / -13°F ... +140°F	-25°C ... +60°C / -13°F ... +140°F
Noise emission (typical)	25 dB(A)	25 dB(A)
Self-consumption (night)	1 W	1 W
Topology	Transformerless	Transformerless
Cooling concept	Convection	Convection
Degree of protection (according to IEC 60529)	IP65	IP65
Climatic category (according to IEC 60721-3-4)	4K4H	4K4H
Maximum permissible value for relative humidity (non-condensing)	100 %	100 %
<b>Features</b>		
DC connection / AC connection	SUNCLIX / Spring clamp terminal	SUNCLIX / Spring clamp terminal
Display	Graphic	Graphic
Interface: RS485 / Bluetooth / Webconnect / Speedwire <sup>4</sup>	○ / ● / ○ / ○	○ / ● / ○ / ○
Multi-function relay / Power Control Module	○ / ○	○ / ○
Warranty: 5 / 10 / 15 / 20 / 25 years	● / ○ / ○ / ○ / ○ / ○	
Certificates and approvals (additional on request)	CE, VDE0126-1-1, VDE-ARN 4105, UTE C15-712, C10/11, RD1699, RD661, PPS, PPC, G83/1-1, G59/2, EN50438 <sup>1</sup> , IEC 61727, PEA, AS 4777, CEI 0-21	
● Standard features   ○ Optional features   - Not available		
Type designation	SB 4000TL-21	SB 5000TL-21



### Accessories



<sup>1</sup> Does not apply to all national appendices of EN 50438  
<sup>2</sup> 4600 VA with VDE-ARN-4105 / <sup>3</sup> 4825 W with VDE-ARN 4105  
<sup>4</sup> In planning

## Electrical Characteristics at Standard Test Conditions(STC)

Module Type	VSUN330-120M	VSUN325-120M	VSUN320-120M	VSUN315-120M
Maximum Power - Pmax (W)	330	325	320	315
Open Circuit Voltage - Voc (V)	40.6	40.4	40.2	39.9
Short Circuit Current - Isc (A)	10.35	10.28	10.17	10.08
Maximum Power Voltage - Vmpp (V)	33.7	33.5	33.3	33.1
Maximum Power Current - Imp (A)	9.8	9.71	9.61	9.52
Module Efficiency	19.84%	19.54%	19.24%	18.94%

Standard Test Conditions (STC): irradiance 1,000 W/m<sup>2</sup>; AM 1.5; module temperature 25°C. Tolerance of Pmp: 0~+3%.  
Measuring uncertainty of power: ±3%.

## Electrical Characteristics at Normal Operating Cell Temperature(NOCT)

Module Type	VSUN330-120M	VSUN325-120M	VSUN320-120M	VSUN315-120M
Maximum Power - Pmax (W)	243.7	240.2	236.3	234.7
Open Circuit Voltage - Voc (V)	37.5	37.4	37.2	36.9
Short Circuit Current - Isc (A)	8.36	8.3	8.22	8.15
Maximum Power Voltage - Vmpp (V)	31	30.8	30.6	30.6
Maximum Power Current - Imp (A)	7.86	7.8	7.72	7.67

Normal Operating Cell Temperature (NOCT) : irradiance 800W/m<sup>2</sup>; wind speed 1 m/s; cell temperature 45°C; ambient temperature 20°C.  
Measuring uncertainty of power: ±3%.

## Temperature Characteristics

NOCT	45°C ( ±2°C )	Maximum System Voltage [V]	1000
Voltage Temperature Coefficient	-0.29%/K	Series Fuse Rating [A]	20
Current Temperature Coefficient	+0.05%/K		
Power Temperature Coefficient	-0.39%/K		

## Maximum Ratings

## Material Characteristics

Dimensions	1680×990×35mm (L×W×H)
Weight	18.7kg
Frame	Anodized aluminum profile
Front Glass	White toughened safety glass, 3.2 mm
Cell Encapsulation	EVA (Ethylene-Vinyl-Acetate)
Back Sheet	Composite film
Cells	12×10 pieces monocrystalline solar cells series strings (156.75mm×78.375mm)
Junction Box	Rated current≥13A, IP≥67, TUV&UL
Cable&Connector	Length 400 mm, 1×4 mm <sup>2</sup> , compatible with MC4

## Packaging

Dimensions(L×W×H)	1720×1110×1120mm	Temperature Range	-40 °C to + 85 °C
Container20'	360	Withstanding Hail	Maximum diameter of 25 mm with impact speed of 23 ms-1
Container40'	780	Maximum Surface Load	5,400 Pa
Container40'HC	845	Application class	class A

## System Design

## Dimensions

