

## **ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA INSTALAÇÃO DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA EM UMA RESIDÊNCIA COM PADRÃO DE CONSUMO MENSAL MÉDIO DE 450 kWh**

**Larissa Carol Sangaletti<sup>1</sup>**

**Breno Elias Bretas de Carvalho<sup>2</sup>**

**Resumo:** Com o aumento populacional e a elevação do consumo dos recursos naturais no mundo, verificou-se a necessidade de debater as questões energéticas e investir em soluções renováveis. Desta forma, o trabalho tem como objetivo analisar a viabilidade técnica e econômica de um sistema fotovoltaico residencial conectado à rede elétrica de energia, que tenha capacidade de suprir a demanda energética da residência durante todo o ano. Para tal, foram analisados todos os parâmetros pertinentes para a instalação e dimensionamento desse tipo de sistema. Após serem definidos os tipos de módulo e inversor mais adequados ao projeto, foram realizadas as simulações através do software SAM, a fim de estimar a geração de energia no local de estudo. Além disso, foi realizada uma análise de sombreamento para verificar a influência de obstáculos que afetam a produtividade do sistema gerando perdas e, com isso, minimizá-las da melhor forma possível. Como resultado, foi proposta a instalação do sistema com 8 módulos, totalizando uma potência de 4,2 kW. Os resultados obtidos com a análise demonstram que 100% do consumo da residência poderá ser integralmente suprido com a implementação do sistema. O custo para este investimento foi calculado em R\$ 19.359,60 com um retorno de investimento (*payback*) de aproximadamente 9 anos.

**Palavras-chave:** Geração distribuída. Conversão de energia. Sistema fotovoltaico residencial.

### **1 INTRODUÇÃO**

A sustentabilidade energética e ambiental é um dos temas mais debatidos da atualidade e, conseqüentemente, vem-se discutindo a utilização de recursos naturais renováveis para produção de energia elétrica. Isso se deve ao fato de que grande parte da geração mundial de energia elétrica é baseada em fontes não renováveis e que afetam significativamente o meio ambiente.

---

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Elétrica, 2022. E-mail: larissa\_sangaletti@hotmail.com

<sup>2</sup> Prof. Dr do Centro Universitário UniSATC. E-mail: breno.carvalho@satc.edu.br



Atualmente, a matriz energética mundial é constituída, principalmente, por fontes de energia não renováveis provenientes do petróleo, que acarretam grandes impactos ambientais. No cenário brasileiro, as hidrelétricas, ainda que utilizem um recurso natural, causam impactos ambientais e sociais negativos, que estão relacionados aos alagamentos das áreas em que se encontram implementadas e o desalojamento de populações locais afetadas. Além disso, as estiagens ocasionam crises hídricas, reduzindo a oferta de energia no país.

Devido a essas adversidades no setor hidrelétrico, a busca por novas fontes de energia tem crescido demasiadamente nas últimas décadas. Estudos indicam que a energia fotovoltaica é uma das alternativas mais promissoras para produção de energia limpa, tanto para demandas industriais quanto residenciais.

A capacidade instalada de energia solar no mundo alcançou 586,4 GW no final de 2019, com montante de 20,0%, superior ao verificado no ano precedente e aproximadamente 15 vezes maior que o observado em 2010. No decênio de 2010-2019, a capacidade instalada de geração de energia elétrica a partir da fonte solar cresceu, em média, 30,8% ao ano no mundo (BEZERRA, 2021).

A geração fotovoltaica se caracteriza como uma forma de se gerar energia elétrica limpa, uma vez que utiliza a radiação solar. Diferente dos sistemas energéticos convencionais, que prejudicam o meio ambiente, os sistemas fotovoltaicos não afetam o ecossistema, reduzem os custos de produção de energia e proporcionam autonomia energética para o consumidor. Entretanto, o maior desafio na utilização dessa fonte de energia é o custo elevado de produção de módulos e equipamentos, pois, ainda que não precisem de manutenção constante, exigem um alto investimento inicial. Além disso, a geração de energia solar é sazonal, sofrendo variações temporais de acordo com o local em que estão implementadas.

Desta forma, este trabalho tem como objetivo analisar a viabilidade econômica da implementação de geração fotovoltaica em uma residência com consumo mensal médio de 450 kWh, localizada na cidade de Criciúma, através de uma simulação computacional e análise do *payback*. Para isso, inicialmente, serão dimensionados todos os componentes do sistema e através da simulação realizado o levantamento de todos os gastos necessários para implementação do projeto.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

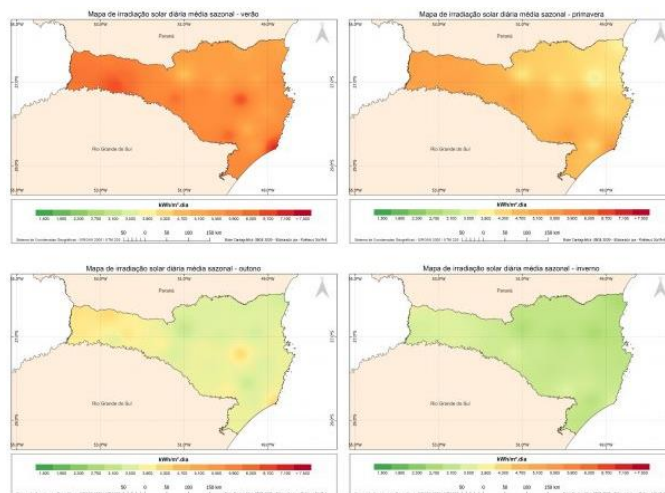
Por se tratar de um trabalho sobre o dimensionamento de um sistema fotovoltaico, neste capítulo será apresentado todo o embasamento bibliográfico que sustenta a pesquisa.

### 2.1 POTENCIAL DE GERAÇÃO BRASILEIRO

Para o cálculo do potencial de geração fotovoltaica, os principais dados levados em consideração são a eficiência das placas e a radiação solar, representada normalmente em kWh/m<sup>2</sup>. Os dados de eficiência da placa são obtidos em laboratório e constam na placa da célula. Portanto, o ponto mais importante torna-se a análise do nível de irradiação solar no local onde pretende-se realizar a implementação do sistema fotovoltaico.

O INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) criou o Atlas Brasileiro de Energia Solar, o qual apresenta informações referentes ao potencial de geração de energia elétrica a partir da matriz fotovoltaica do país. Os dados obtidos apontam uma enorme capacidade de exploração desse recurso no Brasil, tendo incidência de irradiação solar de 4,44 Wh/m<sup>2</sup> a 5,48 Wh/m<sup>2</sup> diariamente. A Fig.1 apresenta o mapa de radiação solar do estado de Santa Catarina, que permite avaliar a distribuição temporal e espacial desta variável, que é imprescindível para estimar o potencial.

Figura 1: Mapa de irradiação solar no estado de Santa Catarina.



Fonte: NTEEL Solar (2022)

## 2.2 MICRO E MINI GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

A micro e mini geração de energia distribuída visam permitir que o consumidor tenha a possibilidade de produzir sua própria energia a partir de pequenas centrais geradoras, que são conectadas à rede de distribuição. De acordo com a normativa nº 687 de 2015 determinada pela ANEEL, considera-se micro geração de energia aquela que possui geração com potência instalada inferior ou igual a 75 kW, sendo de responsabilidade da distribuidora local fazer eventuais atualizações no sistema. Em contrapartida a mini geração de energia a potência instalada é superior ou igual a 75 kW, menor ou igual a 3 MW para fontes hídricas e menor que 5 MW para cogeração qualificada e demais fontes renováveis de energia.

Nesse tipo de geração, é de responsabilidade do consumidor atualizar o sistema e arcar com os custos para a sua conexão à rede distribuidora local.

O dimensionamento da potência a ser instalada em uma geração distribuída deve levar em consideração a porcentagem que se deseja abater da fatura de energia elétrica, ou ainda, o quanto de crédito a ser gerado mensalmente (MELO, 2020). Caso a geração de energia injetada na rede exceda a demanda da edificação, essa será convertida em créditos de energia que podem ser usados em até 60 meses, pelo sistema de compensação.

### 2.2.1 Etapas e procedimentos de acesso

A realização de um projeto fotovoltaico engloba algumas etapas, como o levantamento da disponibilidade de recurso solar no local e a demanda de consumo a ser suprida pelo sistema. Além disso, deve-se dimensionar a geração, inversor e sistema de armazenamento (caso exista) que sejam compatíveis com a necessidade do projeto.

O processo junto à concessionária inicia-se com uma solicitação de acesso, onde é necessária a aprovação dos projetos e outras documentações. Em seguida, é realizada uma vistoria nas instalações para que o sistema possa ser homologado ao sistema de compensação.

## 2.3 ENERGIA SOLAR

A energia solar fotovoltaica é obtida através da conversão de radiação solar em eletricidade por intermédio de materiais semicondutores. Esse fenômeno é conhecido como efeito fotovoltaico (BRAGA, 2008).

O efeito fotovoltaico foi observado pela primeira vez em 1839 pelo físico francês Edmond Becquerel que, mediante a incidência de luz solar em uma solução de material semicondutor, notou a geração de uma tensão elétrica entre os eletrodos.

### 2.3.1 Células fotovoltaicas

As células fotovoltaicas são produzidas a partir da união de materiais semicondutores, ou seja, materiais que possuem características entre um condutor e um isolante. A luz solar incide sobre uma célula fotovoltaica, a energia dos fótons da luz é transferida para os elétrons que, então, ganham a capacidade de movimentar-se, gerando a corrente elétrica (ALMEIDA, 2017).

As principais células fotovoltaicas produzidas atualmente são constituídas de cristais monocristalinos, policristalinos e amorfos. As células de silício policristalino possuem um processo de fabricação simples e de baixo custo, porém sua eficiência energética é reduzida. As células de silício amorfo também possuem baixo custo de fabricação, mas sua eficiência é baixa, chegando a no máximo 7%. Além disso, apresentam um nível acelerado de deterioração.

Para este trabalho optou-se por utilizar as células de silício monocristalino, conforme mostra a Fig.2, que são as mais utilizadas comercialmente e possuem uma maior eficiência que as demais, entre 12% e 15%. Além disso, possuem o processo de fabricação mais simples, uma vez que são produzidas a partir de um único cristal de silício. Nesse processo, o cristal de dióxido de silício extraído é desoxidado em grandes fornos, que devem garantir um grau de pureza na faixa de 99,99%. Em seguida, o silício é fundido com uma pequena quantidade de dopante do tipo P e cortado em finas lâminas de aproximadamente 0,3  $\mu\text{m}$ . Após realizada a limpeza de impurezas, o dopante tipo N é adicionado.

Figura 2: Módulo fotovoltaico monocristalino monofacial.



Fonte: Intelbras (2022)

O desempenho de um sistema fotovoltaico pode ser calculado através da Eq. 1. Deve-se utilizar uma taxa de desempenho de 0,8 padrão para sistemas fotovoltaicos no Brasil e a constante de equacionamento de 1 kW/m<sup>2</sup>.

$$P_{fv} = \frac{E * G_{stc}}{30 * I * T_d} \quad (1)$$

Onde:

$P_{fv}$  = potência fotovoltaica (kWp);

$E$  = consumo médio mensal (kWh);

$G_{stc}$  = constante de equacionamento (kW/m<sup>2</sup>);

$I$  = irradiação média no plano (kW/m<sup>2</sup>/dia);

$T_d$  = taxa de desempenho (---).

Após definida a potência total que o sistema deve atender e a potência dos módulos escolhidos é possível calcular a quantidade de módulos necessária para suprir a potência do sistema. Assim de acordo com a Eq. 2, dividindo-se a potência do sistema fotovoltaico pela potência do módulo é possível determinar a quantidade necessária para o projeto.

$$N_m = \frac{P_{fv}}{P_{mod}} \quad (2)$$

Onde:

$N_m$  = número de módulos (---);

$P_{fv}$  = potência fotovoltaica (kWp);

$P_{mod}$  = potência dos módulos (W).

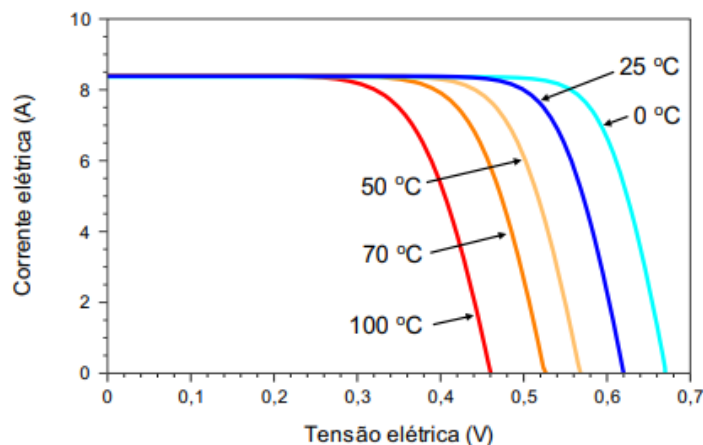
### 2.3.2 Módulos Fotovoltaicos

O módulo fotovoltaico é o componente responsável por captar a luz do sol e converte-la em energia elétrica. Cada célula fotovoltaica apresenta uma tensão de saída muito baixa, ficando entre 0,5 e 0,8 V. Por consequência, para atingir um nível de tensão mais adequado, torna-se necessário conectar essas células entre si, formando os módulos fotovoltaicos.

A quantidade de módulos conectados em série irá determinar a tensão de operação do sistema em corrente contínua. A potência instalada é dada pela soma da potência nominal dos módulos individuais (RUTHER, 2004, p. 20). Os módulos fotovoltaicos são, normalmente, constituídos de 36 a 72 células, com uma faixa de potência que vai de 130 até 250 W.

Um fator importante que pode influenciar a eficiência dos módulos é a temperatura. Conforme a Fig. 3, pode-se observar que conforme a temperatura aumenta a tensão gerada nos terminais do módulo diminui.

Figura 3: Curva I x V para diferentes valores de temperatura com a radiação solar constante de 1000 W/m<sup>2</sup>.



Fonte: Pinho; Galdino (2014).

### 2.3.3 Inversores

Os módulos fotovoltaicos geram energia em corrente contínua, sendo assim, para que o sistema seja compatível com as redes elétricas de distribuição de energia e demais equipamentos utilizados no sistema, é necessário o uso de um inversor, ou conversor CC-CA. Este equipamento irá converter a corrente CC em

corrente CA, utilizando um sistema eletrônico de controle que irá copiar as características da rede elétrica por meio de um sensor de tensão para que o sincronismo seja efetuado corretamente.

O inversor deve possuir potência suficiente para o sistema, sendo igual ou superior a esta. Em sistemas de pequeno porte, como é o caso de sistemas residenciais, a faixa de potência vai de 250 W até aproximadamente 5 kW.

Outro ponto importante é que o inversor possui um sistema de desligamento automático em caso de rompimento no fornecimento de energia elétrica pela distribuidora. Essa medida de segurança garante a proteção dos equipamentos e de indivíduos que estejam realizando manutenção na rede. A Fig. 4 mostra um modelo de inversor solar monofásico conectado à rede.

Figura 4: Inversor solar monofásico.



Fonte: Intelbras (2022).

A escolha do inversor deve ser estimada a partir da potência do sistema fotovoltaico, além de considerar outros fatores ambientais, econômicos e de desempenho (PINHO; GALDINHO, 2014). Para realizar o dimensionamento utilizou-se a Eq. 3, onde multiplicou-se a potência de cada módulo pela sua quantidade total.

$$P_{inv} \geq P_{mod} * N_m \quad (3)$$

Onde:

$P_{inv}$  = potência do inversor (kW);

$P_{mod}$  = potência dos módulos (W);

$N_m$  = número de módulos (---).



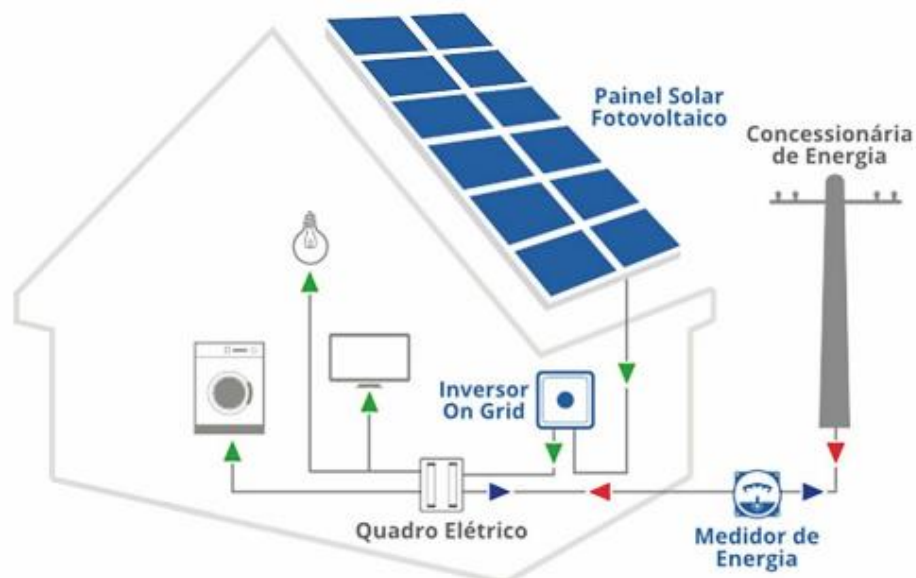
## 2.4 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE

Os sistemas fotovoltaicos conectados a rede, também conhecidos como *on-grid*, são sistemas que operam em paralelismo com a rede de eletricidade e são destinados para locais já atendidos por energia elétrica.

São constituídos, conforme mostra a Fig. 5, por um conjunto de módulos fotovoltaicos, um inversor para conexão à rede elétrica e dispositivos de proteção e medição de energia gerada pelo sistema. A rede da concessionária é a responsável por armazenar toda a energia gerada.

Em um sistema conectado à rede, ao gerar energia maior que o consumo, a energia excedente é injetada na rede da concessionária e são gerados créditos De energia que podem ser utilizados posteriormente.

Figura 5: Esquema de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica.



Fonte: Energy (2018).

## 2.5 IMPOSTOS

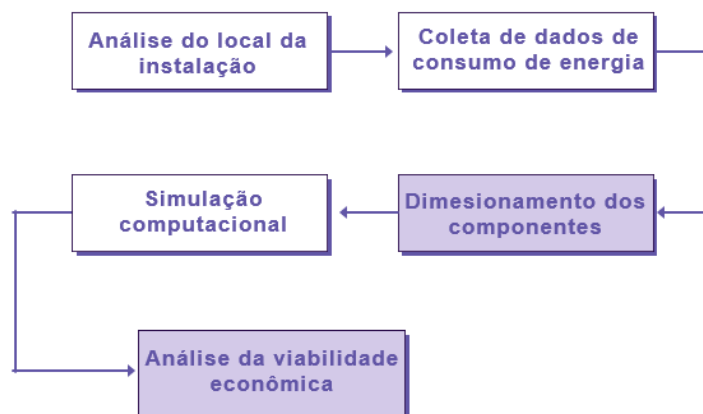
O sistema de tributação é visto como uma barreira para investimentos em sistemas fotovoltaicos, isso porque atualmente grande parte dos materiais e serviços não estão isentos de impostos. Alguns impostos que podem ser aplicados são o Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI), Imposto sobre Circulação de Mercadoria e Serviço (ICMS), Imposto sobre Serviço (ISS) referente à instalação dos

sistemas geradores e também o Imposto sobre Importação (II), que é aplicado para produtos importados.

### 3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

A metodologia desenvolvida no trabalho será baseada de acordo com pesquisas bibliográficas e com a análise do local a ser implementado o sistema, a fim de identificar os elementos que serão utilizados no projeto. A partir disso, será possível realizar simulações em software para verificar em quanto tempo o projeto se pagará e se este será viável economicamente.

Figura 6: Etapas do projeto.

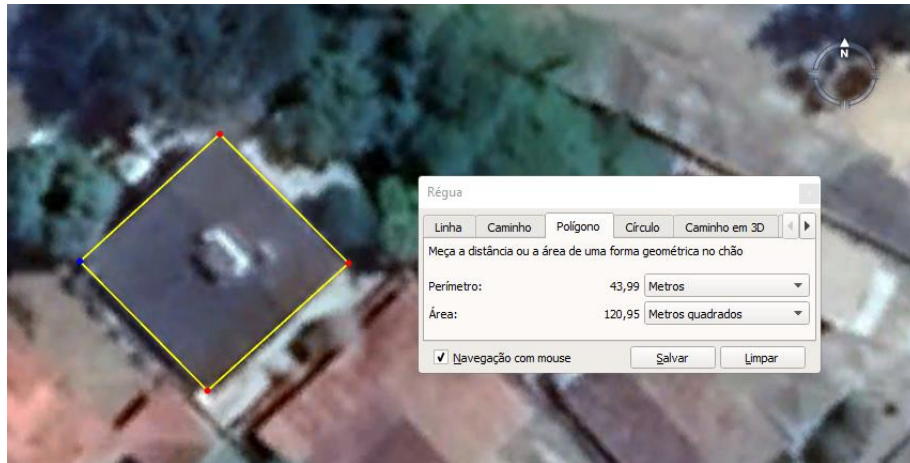


Fonte: Do Autor (2022).

#### 3.1 DESCRIÇÃO E ANÁLISE DO LOCAL DA INSTALAÇÃO

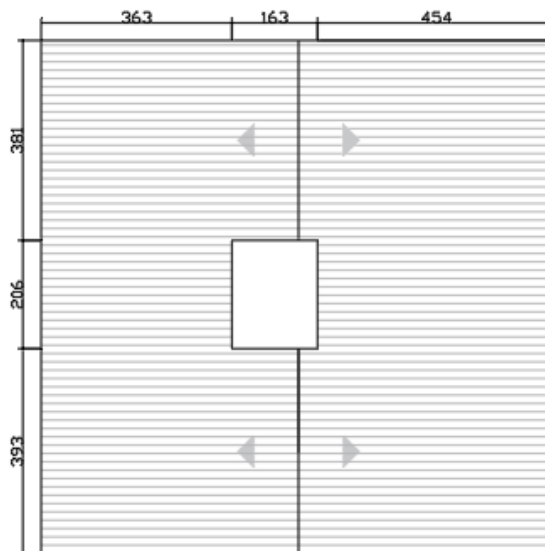
O local da residência onde serão instalados os módulos fotovoltaicos fica localizado no Sul de Santa Catarina, na latitude de  $28^{\circ}40'15.04$  e longitude de  $49^{\circ}21'54.18$ . O telhado da residência possui uma área de  $147,55 \text{ m}^2$  e sua orientação está voltada a  $48^{\circ}$  para o norte. A Fig. 7 apresenta o local onde será implementado o sistema, enquanto a Fig. 8 representa a área total disponível para instalação dos módulos.

Figura 7: Localização da residência de estudo.



Fonte: Google Earth.

Figura 8: Local onde serão instalados os módulos fotovoltaicos.



Fonte: Do Autor (2022)

Para realização do projeto será considerado o possível sombreamento do sistema, que pode interferir na eficiência dos módulos.

### 3.1.2 Análise do recurso solar

O local de estudo registra em média  $3,67 \text{ kWh/m}^2/\text{dia}$ , de acordo com o Atlas Brasileiro de Energia Solar. A Tab. 1 apresenta as médias mensais de irradiação direta normal na cidade.

Tabela 1: Média do total de irradiação para cidade de Criciúma.

<b>Mês</b>	<b>Valores de Irradiação Média Direta (Wh/m<sup>2</sup>/mês)</b>
Janeiro	4.414
Fevereiro	4.130
Março	3.767
Abril	3.983
Maio	3.454
Junho	2.910
Julho	3.143
Agosto	3.773
Setembro	2.371
Outubro	2.857
Novembro	4.639
Dezembro	4.700
Média anual	3.678

Fonte: Adaptado de Atlas Brasileiro de Energia Solar (2022)

### 3.1.3 Estudo de sombreamento

Um fator determinante para o desempenho do sistema é a escolha do local onde os módulos serão instalados. Isso porque em alguns casos existe dificuldade em integrar os módulos com os elementos arquitetônicos da construção.

O efeito de sombreamento em uma célula fotovoltaica reduz a corrente elétrica da célula, fazendo com que a mesma atue como uma carga para o circuito, dissipando corrente de entrada e conseqüentemente diminuindo a geração produzida. Por este motivo é de extrema importância simular o quanto o obstáculo de sombreamento afetará o desempenho do sistema.

### 3.1.4 Análise econômica

Quando se pretende investir em um sistema fotovoltaico é necessário fazer o levantamento e análise da maneira como o investimento será retomado ao longo do tempo, para garantir a sua viabilidade. Para realizar esse tipo de análise, na engenharia econômica, são utilizadas algumas ferramentas como o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o *Payback*.

A TIR é uma taxa de juros implícita em uma série de pagamentos (saídas) e recebimentos (entradas), que tem a função de descontar um valor futuro ou aplicar

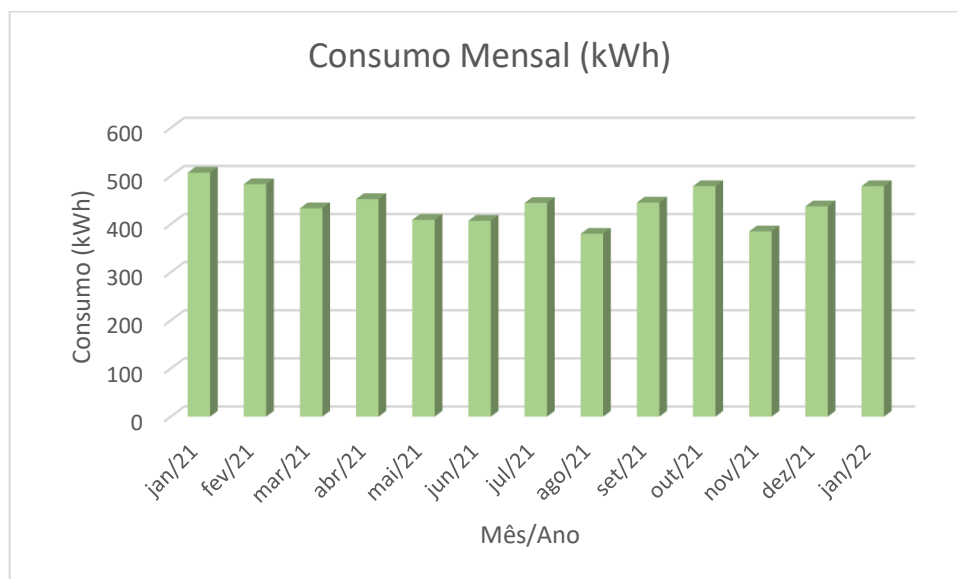
o fator de juros sobre um valor presente, para levar cada valor para data focal (NETO, 2006). O fluxo de caixa em zero representa o valor do investimento inicial, enquanto os demais fluxos indicam as prestações e os valores das receitas. Em casos em que a TIR é maior que o custo de capital, o investimento é promissor. O valor da TIR sendo menos que esta taxa o projeto não é recomendado.

Já o *payback*, é uma ferramenta utilizada para calcular o período de retorno de investimento de um projeto. De tal forma, o *payback* dará ao investidor uma estimativa de quanto tempo o projeto vai levar para se pagar e começar a gerar lucro.

### 3.2 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA

Para realizar o dimensionamento do projeto foram considerados os dados de consumo da residência dos últimos 12 meses. A Fig. 9 apresenta os dados de janeiro a dezembro de 2021.

Figura 9: Gráfico do histórico de consumo mensal de energia elétrica da residência.



Fonte: Do Autor (2022)

Analisando o gráfico é possível observar que os meses em que há um consumo mais elevado de energia elétrica ocorre durante o verão, nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro principalmente, onde tem-se um aumento no consumo causado pelos sistemas de condicionamento de ar.

### 3.2.1 Escolha dos módulos e inversor

Para dimensionar a unidade geradora fotovoltaica, deve-se considerar o consumo médio mensal da residência, que pode ser obtido através das faturas mensais. Para este trabalho será considerado o valor de irradiação diária de aproximadamente 3,67 kWh e um consumo médio de 450W. Com isso, a partir da Eq.1, é possível calcular a potência do sistema em kWp.

Tem-se então que a potência total do sistema será de 4,2 kWp. Em posse dessa informação é possível determinar a potência dos módulos e inversor.

O módulo fotovoltaico escolhido foi o modelo EMSE-535M HC, da marca Intelbras, com potência nominal de 535 W e fabricado em silício monocristalino monofacial. A Tab. 2 apresenta as principais especificações técnicas do módulo. É importante ressaltar que a garantia de um inversor é de aproximadamente 10 anos. Logo para realizar uma análise completa da viabilidade econômica do projeto, será considerado duas trocas de inversor ao longo dos 25 anos.

Tabela 2: Especificações técnicas módulo Intelbras EMSE-535M HC.

Performance em STC'	
Modelo	EMSE-535M HC
Potência máxima	535 W
Tensão máxima de operação	41,80 V
Corrente máxima de operação	12,80 A
Tensão de circuito aberto	49,76 V
Corrente de circuito aberto	13,55 A
Eficiência do módulo	20,7 %

Fonte: Adaptado de Intelbras (2022)

Em seguida foi calculada a quantidade de módulos necessária para suprir a potência do sistema. Logo, utilizando a Eq. 2 foi possível determinar que serão necessários 8 módulos de 535 W para atender o sistema.

A escolha do inversor deve ser estimada a partir da potência do sistema fotovoltaico, além de considerar outros fatores ambientais, econômicos e de desempenho (PINHO; GALDINHO, 2014). Para realizar o dimensionamento utilizou-se a Eq. 3, onde multiplicou-se a potência de cada módulo pela quantidade total de módulos.

Desta forma, o inversor escolhido foi o EGT 3600 PRO da Intelbras, já que o mesmo possui potência de entrada CA de 5040 W sendo superior à calculada. A Tab. 3 apresenta as principais características do inversor.

Tabela 3: Especificações técnicas inversor Intelbras EGT 3600 PRO.

Modelo	EGT 3600 PRO
Potência máxima de entrada (Pmax)	5040 W
Tensão máxima de entrada (Vcc)	550 V
Corrente máxima de entrada	13,5 A
Faixa de tensão do MPPT	80-550 V
Tensão nominal CC	550 V
Eficiência	98,2%

Fonte: Adaptado de Intelbras (2022)

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção serão apresentados os principais resultados das simulações realizadas, bem como as análises pertinentes.

### 4.1 SIMULAÇÃO SAM

Para realizar as simulações computacionais, foi utilizado o software SAM, *System Advisor Model*. O SAM é um software gratuito desenvolvido pela NREL, que permite estimar o desempenho de um sistema fotovoltaico e realizar a análise de sombreamento, através de estruturas em 3D que simulam as sombras projetadas na edificação no decorrer do dia, e que podem afetar a eficiência dos módulos.

Para iniciar a simulação no SAM, foi necessário inserir as coordenadas geográficas do local, para que o software obtenha todos os parâmetros pertinentes a localização da edificação. A Tab. 4 apresenta os principais dados de entrada considerados para simulação no software.

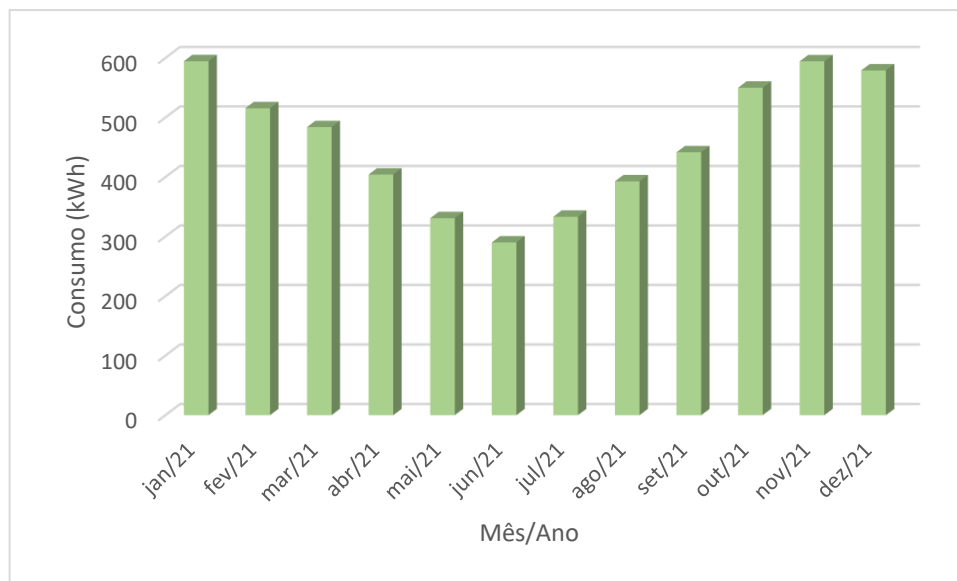
Tabela 4: Parâmetros de localização considerados pelo SAM.

Dados de entrada SAM	
Longitude	0.85 DD
Latitude	- 78.22 kWh/m <sup>2</sup> /day
Irradiação	2.01 kWh/ m <sup>2</sup> /day
Elevação	1.888 m
Velocidade do vento	1.4 m/s
Temperatura média	16.3 °C

Fonte: Adaptado de SAM (2022)

A Fig.10 apresenta os resultados da simulação, demonstrando a geração esperada para o período de um ano. Sendo a geração anual estimada de 5.511,78 kWh.

Figura 10: Geração mensal estimada do sistema fotovoltaico pelo SAM.



Fonte: Do Autor (2022)

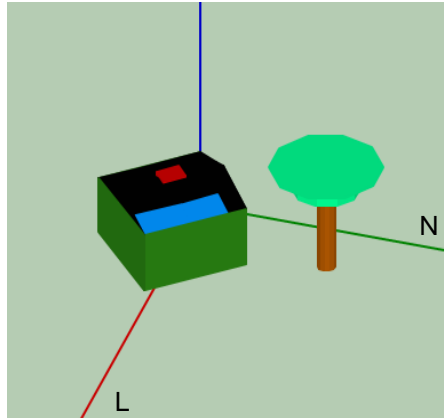
#### 4.1.1 Estudo de sombreamento

Para fazer o estudo de sombreamento foi implementado no software SAM um modelo em 3D da residência, conforme mostra a Fig. 11. É possível perceber que existem dois obstáculos de sombreamento do sistema, um deles é uma caixa d'água localizada próxima ao centro do telhado com as dimensões de 1,63x2,06m e uma árvore de aproximadamente 7 metros localizada na lateral da residência.





Figura 11: Posicionamento do sistema com obstáculos de sombreamento no eixo X, Y e Z.



Fonte: SAM (2022)

A fim de minimizar os efeitos de sombreamento dos módulos, o sistema foi dividido em duas *strings*, onde a *string 1* ficará com 5 módulos e a *string 2*, que será afetada pelo sombreamento, ficará com apenas 3 módulos. Além disso, os painéis atuais, como o utilizado neste projeto, apresentam um diodo de desvio, chamado de diodo *by-pass*, que é conectado em antiparalelo com o conjunto de células, assim a corrente em excesso é desviada do módulo de menor corrente.

A partir da simulação foi possível identificar o período e a intensidade em que o sistema será afetado pelo sombreamento, conforme mostra a Fig. 12. Constatou-se que o desempenho dos módulos irá sofrer uma atenuação considerável nos meses de maio, junho e julho, durante o horário próximo às 14h. A *string 1* será a mais afetada devido ao seu posicionamento, enquanto a *string 2* sofrerá poucas perdas, visto que está instalada em um local pouco atingido pelo sombreamento.

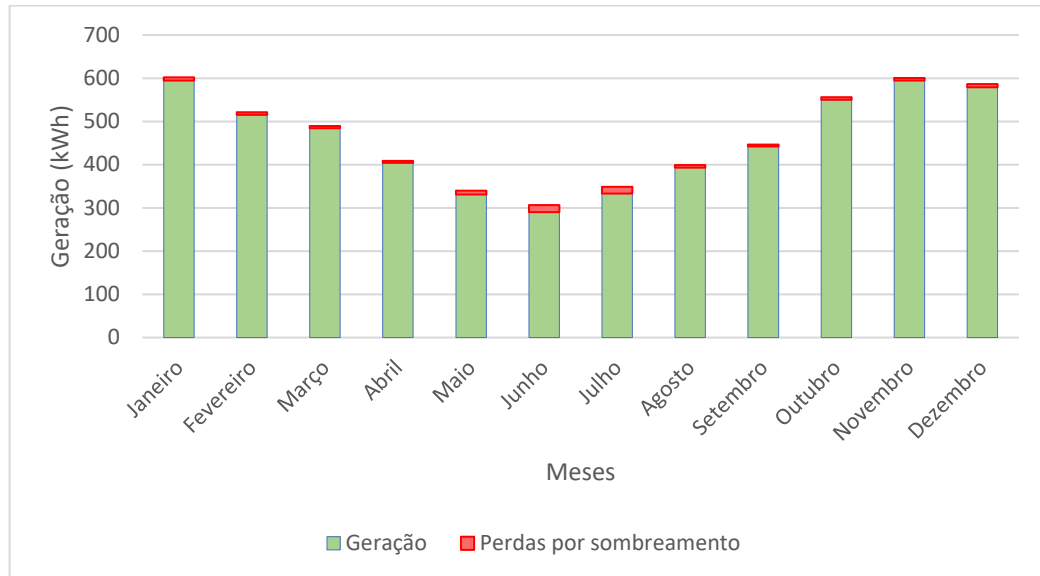
Figura 12: Influência do sombreamento no sistema.

	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
Jan	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	0,21	0,00	0,00	0,19	0,38	0,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Fev	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	0,58	0,49	0,00	0,22	0,43	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Mar	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,35	0,49	0,46	0,43	0,31	0,44	0,80	0,00	0,00	13,70	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Abr	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	0,00	0,32	0,55	0,49	0,00	0,21	0,62	1,25	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Mai	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,21	0,26	0,32	0,01	20,65	33,98	0,87	0,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Jun	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	0,58	0,00	0,00	0,18	0,48	0,22	43,93	68,40	14,19	0,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Jul	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	0,00	0,40	0,32	0,17	0,32	0,90	31,29	51,58	24,71	0,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Ago	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	0,49	0,00	0,58	0,26	0,16	0,63	5,34	9,71	0,01	0,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Set	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	0,02	0,00	0,00	0,51	0,47	0,59	0,65	0,22	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Out	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	0,94	0,37	0,00	0,45	0,45	0,40	0,20	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Nov	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	0,00	0,22	0,35	0,00	0,00	0,21	0,22	0,68	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Dez	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	0,62	0,12	0,70	0,00	0,62	0,49	0,43	0,46	0,00	0,00	0,00	0,04	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Jan	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	0,11	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Fev	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22	0,22	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Mar	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,23	0,43	0,00	0,44	0,00	0,00	0,00	50,43	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Abr	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	0,47	0,32	0,00	0,25	0,00	0,16	0,21	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Mai	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,29	0,00	0,00	0,17	0,50	0,43	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Jun	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,47	0,13	1,57	9,57	0,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Jul	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,27	0,32	0,65	0,00	0,00	3,94	0,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Ago	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	1,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,32	0,19	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Set	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,29	0,25	0,24	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Out	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	0,07	0,00	0,00	0,23	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Nov	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Dez	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	0,00	0,12	0,35	0,00	0,00	0,00	0,21	0,00	0,00	0,00	0,00	2,94	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Fonte: Adaptado do SAM (2022)

A Fig. 13 apresenta os valores referentes a perda de energia por sombreamento, essas perdas comprometem cerca de 1,69% de toda a geração anual do sistema. É possível observar que o mês em que ocorre a maior perda energética é em julho, com 5,37%. Isso ocorre devido a inclinação do Sol que gera um ângulo de sombreamento maior sobre os painéis durante esse período.

Figura 13: Gráfico das perdas por sombreamento na geração do sistema.



Fonte: Do autor (2022)

## 4.2 ANÁLISE ECONÔMICA DO PROJETO

Inicialmente, para realizar a análise econômica, é necessário definir o investimento total do sistema, considerando todos os equipamentos, acessórios e mão de obra para instalação. O custo total do projeto está descrito na Tab. 5 e foi obtido através de consultas em sites de revenda autorizada, sendo uma opção mais prática para o interessado no projeto. Para garantir uma maior eficiência dos módulos é necessário contratar uma empresa especializada, para realizar a instalação adequada. O preço médio da mão de obra e demais custos foi definido considerando-se um percentual adicional de 30% do valor de custo dos equipamentos do sistema.

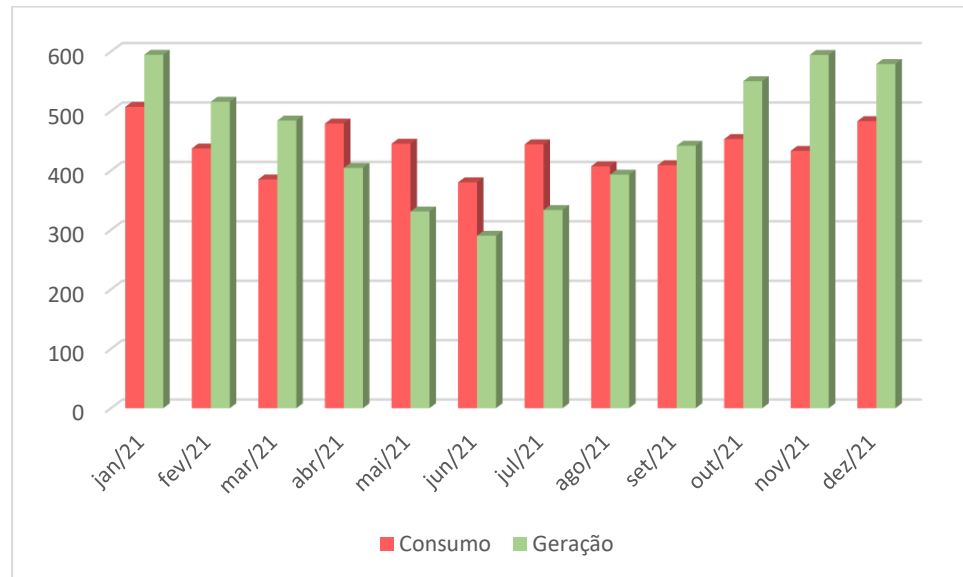
Tabela 5: Custos totais de investimento.

Item	Quantidade	Valor Unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
Inversor Intelbras EGT 3600 PRO – 5040 W	1	4.500,00	4.500,00
Módulo Intelbras EMSE-535M HC – 535 W	8	1.299,00	10.392,00
Instalação do sistema e estrutura metálica	1	4.467,00	4.467,00
<b>Custo total</b>			<b>R\$ 19.359,60</b>

Fonte: Do Autor (2022)

Para aquisição do sistema fotovoltaico, além do custo de investimento inicial também devem ser considerados custo operacional, de manutenção e reposição. O projeto será analisado com base na vida útil dos módulos, que é de 25 anos, tendo 90% da sua potência até o 12º ano e 80% em 25 anos. A Fig. 14 mostra a relação entre o consumo atual da residência e a geração do sistema durante o período de um ano.

Figura 14 : Gráfico de geração versus o consumo de energia.



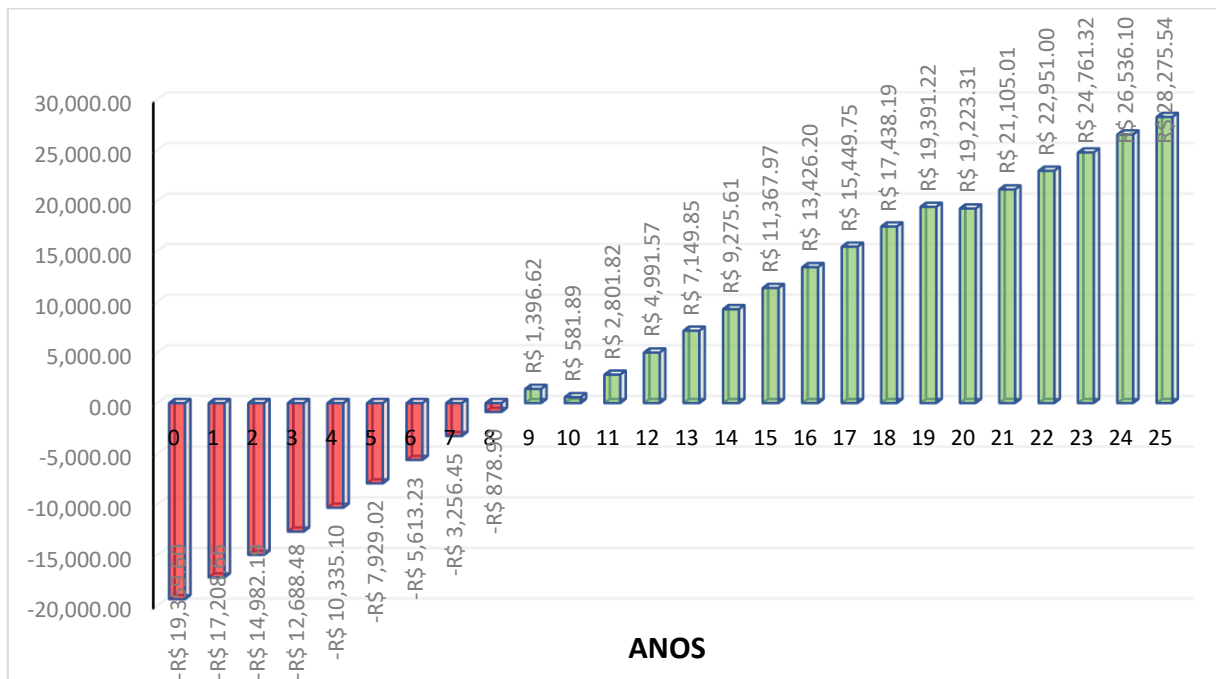
Fonte: Do Autor (2022)

De acordo com a relação de consumo e geração do sistema, constatou-se que a geração irá suprir 100% do consumo da residência nos meses de setembro a março. Durante o período em que a geração do sistema será inferior ao consumo, que é de abril até agosto o proprietário poderá utilizar os créditos de energia durante os meses de maior geração como forma de compensação. Assim todo excedente gerado

que é injetado na rede da distribuidora poderá ser usado posteriormente durante os meses de menor geração. Desta forma, como o sistema gera 249,787 kWh a mais que o consumo, pode-se concluir que o mesmo irá atender a todo o consumo da residência.

O tempo de retorno ao investimento no dimensionamento do sistema solar indica o tempo necessário para que as economias geradas cubram todos os gastos iniciais da instalação. Em suma, este cálculo é feito pelo levantamento do custo total do investimento e dividindo-se pela economia proporcionada mensalmente (SOLAR, 2017). Assim conforme o gráfico da Fig.15 o *payback* para este projeto se dará em aproximadamente 9 anos, com um retorno de investimento de R\$ 28.275,54 após os 25 anos. Para realizar os cálculos de *payback* e o fluxo de caixa do projeto foram considerados os parâmetros econômicos apresentados na Tab. 6.

Figura 15: Gráfico de Payback.



Fonte: Do Autor (2022)

Tabela 6: Parâmetros econômicos considerados.

Descrição	Valor
Tarifa (R\$/kWh)	0.54293
Escassez (RS/kWh)	0.12855
TUSD (R\$/kWh)	0.44670
TE (R\$/kWh)	0.09623
Custo de disponibilidade (kWh)	100.0

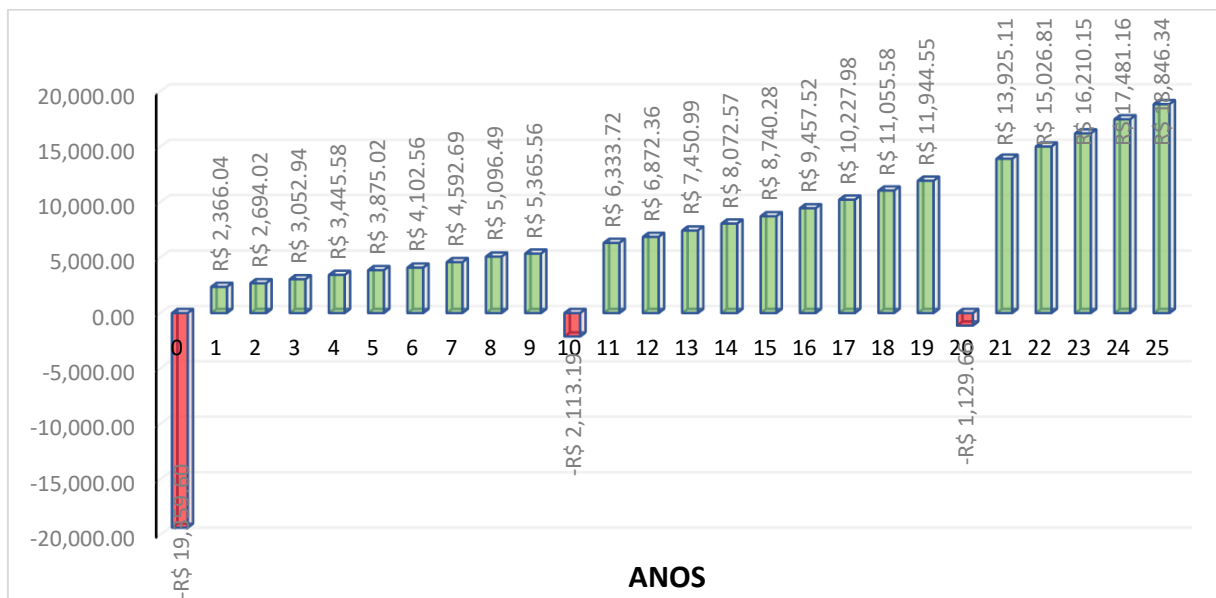
Média de reajuste da tarifa de energia a.a	7.6%
Média IPCA (a.a)	5.9%
TMA – Taxa Mínima de Atratividade (a.a)	10.0%
Manutenção (a.a)	1.0%
Aumento anual de consumo (%)	2.0%
Descaimento anual da geração (%)	0.8%
Ano de instalação	2022
Percentual adicional de instalação	30%

Fonte: Do Autor (2022)

Considerou-se a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) padrão para sistemas fotovoltaicos de 10% ao ano. Com isso o valor da Taxa Interna de Retorno (TIR) calculada foi de 20,37% a.a. Em posse deste valor é possível observar a comprovação da viabilidade econômica do projeto, uma vez que a TIR é superior à TMA.

O fluxo de caixa foi obtido subtraindo-se o valor do investimento inicial pela economia do primeiro ano. Assim os fluxos positivos representam o valor que deixará de ser pago com a aquisição do sistema, já os fluxos negativos estão relacionados com o investimento inicial e as possíveis manutenções. Além disso, considerou-se a troca de inversor no 10<sup>o</sup> e 20<sup>o</sup> ano.

Figura 16: Fluxo de caixa.



Fonte: Do Autor (2022)

A Tab. 6 apresenta os principais resultados obtidos com a análise para determinar a viabilidade técnica e econômica do projeto.

Tabela 6: Resultados análise econômica.

Capacidade Instalada CC	4,2 kW
Área ocupada	15 m <sup>2</sup>
Investimento	R\$ 19.359,60
Relação R\$/kWp	4.609,43
TMA	10%
TIR	20,37%
Payback	9 anos
Retorno em 25 anos	R\$ 28.275,54

Fonte: Do Autor (2022)

## 5 CONCLUSÃO

O objetivo inicial deste trabalho foi dimensionar um sistema fotovoltaico residencial conectado à rede como alternativa de geração de energia renovável, capaz de suprir toda a demanda energética dos moradores da residência, localizada no sul de Santa Catarina.

Durante o desenvolvimento do projeto foi possível observar a importância de realizar o estudo de sombreamento do sistema, para identificar as perdas energéticas e a forma como podem afetar a produtividade do sistema.

O sistema proposto apresentou uma capacidade instalada de 4,2 kWp distribuída em 8 módulos de 535 W cada. Para realizar a simulação utilizou-se o software SAM, onde inicialmente foram cadastrados todos os dados de entrada do sistema dimensionado, e assim foi possível definir uma estimativa da geração mensal de energia para os próximos 25 anos. A capacidade de geração para o primeiro ano foi 5.511,78 kWh, considerando as perdas por depreciação dos módulos que é de 0,8% ao ano e as perdas por sombreamento, a economia foi de R\$ 2.366,04 para o ano inicial.

Um aspecto importante de se mencionar deve-se ao fato de que a consideração adequada das premissas econômicas, tais quais as perdas de geração do sistema fotovoltaico, troca dos inversores e o reajuste dos parâmetros econômicos ao longo dos anos, garante uma maior precisão da economia prevista, e eventualmente suaviza a curva do retorno financeiro.

Por fim, através da análise de viabilidade econômica constatou-se que o investimento inicial será de R\$ 19.359,60 para aquisição e instalação do sistema, com um retorno de investimento de aproximadamente 9 anos. Os resultados obtidos permitem comprovar a eficiência e a viabilidade econômica do projeto, considerado o



retorno ao investimento e uma TIR de 20,37% que é superior a taxa mínima de atratividade.

O retorno do investimento financeiro aplicado a curto prazo em um sistema fotovoltaico pode ser uma opção menos atrativa do que outras aplicações financeiras, no entanto possui uma rentabilidade superior em relação a investimentos na poupança ou ao tesouro Selic, por exemplo. Além disso, a aplicação dessa tecnologia não deve ser mensurada apenas pelo aspecto técnico e econômico, uma vez que há outros benefícios intrínsecos ao se implementar um sistema fotovoltaico, como a busca por um desenvolvimento sustentável sem consumo de resíduos e gases poluentes que impactam o aquecimento global e efeito estufa.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Thiago Campos; et al. **Análise de viabilidade da instalação de sistemas fotovoltaicos para geração de energia elétrica no nordeste brasileiro com o uso da metodologia PMBOK.** 2017. Disponível em: <[https://abepro.org.br/biblioteca/TN\\_WIC\\_238\\_383\\_33513.pdf](https://abepro.org.br/biblioteca/TN_WIC_238_383_33513.pdf)>. Acesso em: 12 maio 2022.

ANEEL. **Procedimentos de distribuição de energia elétrica no sistema elétrico nacional.** PRODIST, 2017. Disponível em: <[https://www2.aneel.gov.br/cedoc/aren2021956\\_prodist\\_modulo\\_3\\_v8.pdf](https://www2.aneel.gov.br/cedoc/aren2021956_prodist_modulo_3_v8.pdf)>. Acesso em: 12 maio 2022.

BEZERRA, Francisco Dinizl. **Caderno Setorial ETENE.** 2021. Disponível em: <[https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/834/1/2021\\_CDS\\_174.pdf](https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/834/1/2021_CDS_174.pdf)>. Acesso em: 18 abril 2022.

COOPER, Ellison; et al. **Aplicação de painéis solares fotovoltaicos como fonte geradora complementar de energia elétrica em residências.** 2013. 86 f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Elétrica, UFPR, 2013. Disponível em: <<http://www.eletrica.ufpr.br/p/arquivostccs/259.pdf>>. Acesso em: 18 abril 2022.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Matriz Energética e Elétrica.** 2021. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>>. Acesso em: 20 abril 2022.

FERREIRA, Ricardo Duque Estrada. **Metodologia de aplicação eficiente de energia solar em residências.** 2016. 126f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Elétrica, UFRJ, Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <<http://repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10016363.pdf>>. Acesso em: 20 abril 2022.



INTELBRAS. **Produtos e Soluções**. 2022. Disponível em: < <https://www.intelbras.com/pt-br/modulo-fotovoltaico-monocristalino-half-cell-535-w-emse-535m-hc> >. Acesso em: 27 setembro 2022.

INTELBRAS. **Produtos e Soluções**. 2022. Disponível em: < <https://www.intelbras.com/pt-br/inversor-solar-on-grid-monofasico-36-kw-egt-3600-pro> >. Acesso em: 27 setembro 2022.

MELO, Felipe Cesar. **Análise de viabilidade técnica e econômica de um projeto fotovoltaico**. 2020. 91f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Elétrica, UFSC, Florianópolis, 2020. Disponível em: < <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/204336/TCC.pdf?sequence=1&isAllowed=y> >. Acesso em: 20 abril 2022.

NTEEL Solar – Núcleo Tecnológico de Energia Elétrica. **Projeto de pesquisa e desenvolvimento**. 2022. Disponível em: < <https://nteelsolar.ufsc.br/page/2/> >. Acesso em: 23 setembro 2022.

OLIVEIRA, Luiz Henrique de. **Dimensionamento de um sistema fotovoltaico residencial conectado à rede de energia elétrica**. 2018. 62f. Monografia (Bacharel) – Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018. Disponível em: < <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/23228/1/DimensionamentoSistemaFotovoltaico.pdf> >. Acesso em: 20 abril 2022.

PEREIRA, Enio Bueno; et al. **Atlas Brasileiro de energia solar**. 2. ed. São José dos Campos: INEP, 2017. 88 p. ISBN 978-85-17-00089-8.

PINHO, J ; GALDINO M. A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. 2. ed. Rio de Janeiro: CEPEL, CRESESB, 2014. 2004.

RUTHER, Ricardo. **Edifícios solares fotovoltaicos**. 1. ed. Florianópolis: LABSOLAR, 2004. 144 p. ISBN 85-87583-04-2.