



Artigo

Projeto de um sistema solar fotovoltaico conectado à rede elétrica residencial na zona urbana de Almino Afonso - RN

Marcos A. de Oliveira ^[1], Renato de S. A. Filho ^[3], Adriano A. F. Moura ^[3], Daniel C. C. Crisóstomo ^[4]

^[1] Universidade Federal Rural do Semiárido; marcos_marcos1996@hotmail.com

^[2] Universidade Federal Rural do Semiárido; renato.filho@alunos.ufersa.edu.br

^[3] Universidade Federal Rural do Semi-Árido; adrianoaron@ufersa.edu.br

^[4] Universidade Federal Rural do Semiárido; daniel.crisostomo@ufersa.edu.br

Recebido: 14/09/2022;

Aceito: 21/12/2022;

Publicado: 23/12/2022.

Resumo. Devido ao crescente consumo mundial de energia e aos impactos das mudanças climáticas, faz-se necessário a busca por novas fontes de energia, na qual se destacam os sistemas solares fotovoltaicos que permitem gerar energia elétrica limpa e sustentável. Este trabalho apresenta um dimensionamento de projeto residencial fotovoltaico conectado à rede elétrica, sendo feita uma análise da viabilidade econômica do projeto por meio de uma simulação da energia produzida em comparação à consumida. Obteve-se, portanto, um sistema composto por 24 painéis fotovoltaicos, com potência nominal de 9,60 (kWp), que produz excedentes para a concessionária e permite o retorno do investimento em 60 meses. Com os resultados, foi possível demonstrar a viabilidade econômica do projeto e os potenciais do uso mais amplo da energia solar para o interior do Nordeste do Brasil.

Palavras-chave: dimensionamento; viabilidade; energia limpa.

Abstract: Due to the world's energy consumption, the search for alternative means for the generation of electricity in a clean and sustainable way was made. It is in this scenario that photovoltaic solar energy has its prominence in the market, being a technology with low cost to invest in implementation if we compare with other generating sources, in addition providing a return on investment. This work presents a dimensioning of a photovoltaic residential project connected to the electrical network, the system consists of 24 photovoltaic panels with rated power of 9.60 (kWp). An analysis of the economic viability of the project is also made through a simulation of energy produced x consumed. With the results it was possible to ascertain the behavior of the system if it really is economically viable even with its medium-term return on investment time of approximately 60 months.

Key-words: Photovoltaic system. Clean Energy. Viability.

1. INTRODUÇÃO

A crescente preocupação com as mudanças climáticas, aliada à crescente necessidade de energia e crises energéticas ao redor do mundo, tem incentivado, cada vez mais, a adoção da energia solar através de sistemas fotovoltaicos. Nessa perspectiva, compreende-se que esses sistemas agem como uma alternativa econômica e sustentável para obtenção de energia elétrica, tanto em grande e em média escala, por empresas, quanto em micro e pequena escala, por pequenos empreendedores e cidadãos com alto consumo de energia (DASSI, 2015).

Nesse contexto, o Brasil destaca-se nesse cenário devido seu grande potencial, e estar localizado, em sua maior parte, na zona tropical de maior incidência de luz solar. Além disso, aumento de preços da energia elétrica, tradicionalmente hídrica, vem sendo atingido por níveis baixos dos reservatórios, segundo ANEEL 2021 (Agência Nacional de Energia Elétrica). Portanto, essa situação reflete na produção das usinas termelétricas, cujo custo é muito superior, bem como levando a um crescimento anual médio de 300% da energia solar no país (ABSOLAR, 2019).

Além da redução dos custos associados à tarifa elétrica, os sistemas fotovoltaicos têm baixíssima necessidade de manutenção. Ao passo que permitem uma descentralização da rede, evitam problemas relacionados à escassez em grandes usinas (Shayani, Oliveira, Camargo, 2006). Sob esse vies, em 2023, é

estimado que haverá mais 160 mil instalações de sistemas fotovoltaicos operando no país (RELLA, 2017), o que corresponderá a 32% da sua matriz energética, em 2040 (ABSOLAR, 2019).

Nessa perspectiva, a produção de energia solar fotovoltaica dá-se através da conversão direta da radiação solar em eletricidade através do chamado efeito fotoelétrico ou fotovoltaico em células, chamadas células fotovoltaicas ou células solares (IMHOFF, 2007). As células fotovoltaicas mais usadas, atualmente, são células de silício do tipo monocristalino, na qual os cristais de silício são criados através de um cristal semente introduzido em silício fundido no processo denominado Czochralski (MACHADO, MIRANDA, 2015).

Segundo dados do CETEM (2007), as células de silício monocristalino têm eficácia média de 12 a 15% na conversão de energia solar, com o máximo de 25% observado em laboratório, com células disponíveis no mercado com eficiência próxima a 22,7%. Essas células são organizadas em painéis que ficam instaladas entre si e de forma conectada para gerar eletricidade (ELÉTRICA, 2018).

Esses painéis em geral, contam com uma string box, que serve como componente de proteção sendo conectado à cabos que conectam as placas solares ao inversor, proporcionando controle contra sobretensão e sobrecorrente permitindo o seccionamento do circuito (VINTURINI, 2019). Esses painéis são então conectados a um inversor que transforma a corrente contínua (CC) criada por esses painéis em corrente alternada (CA) para ser utilizada nos equipamentos ou sincronizada com a corrente da rede elétrica (PINHO & GALDINO, 2014).

Outrossim, o sistema on-grid, ou seja, conectado à rede elétrica, o qual permite receber eletricidade da rede gerando, quando necessário, ou doar, quando sobressalente, crédito descontado da tarifa de energia final. Assim, os sistemas *off-grid* são independentes da rede, para isso contam ainda com uma bateria ou sistema de armazenamento de eletricidade para momentos sem eletricidade (ALVES, 2018; SILVA, 2019).

O sistema on-grid, em geral, é preferível por ser mais barato e eficiente, devido não precisarem de sistemas de armazenamento intermediários, enquanto os sistemas *off-grid* são indicados para locais isolados ou onde o sistema de fornecimento de eletricidade pela rede é instável (SOUZA, 2018).

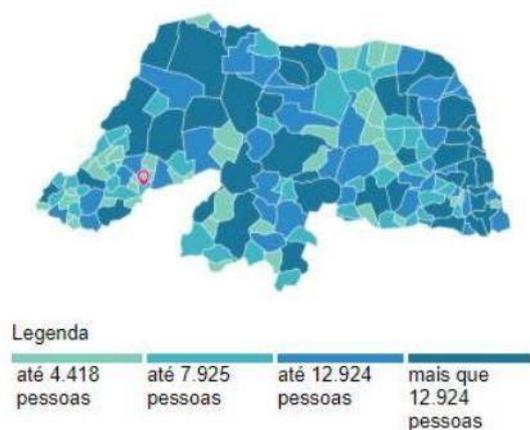
Vale pontuar, ainda, que ambos os sistemas devem cumprir as determinações da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) para, assim, serem executados com segurança e uma boa qualidade da energia. Reforçando essa perspectiva, a Resolução Normativa ANEEL Nº 482/12 determina que o consumidor brasileiro pode optar por gerar sua própria energia elétrica, decorrente de fontes renováveis ou por cogeração qualificada.

Além disso, essa resolução orienta que é possível compartilhar os excedentes com a rede de distribuição de sua região, e que isso refletirá em uma compensação financeira na forma de descontos na fatura elétrica. Tal processo é nomeado como micro ou minigeração distribuída e contribuem para economia financeira, sustentabilidade ambiental da energia e melhoria social, através da autonomia e descentralização da rede (ANEEL, 2016).

Assim, esse trabalho objetivou realizar o dimensionamento de um projeto solar fotovoltaico do tipo *on-grid* residencial de um consumidor da cidade de Almino Afonso – RN, visando a redução de gastos mensais, e avaliar as possibilidades e limitações que a implementação que esses sistemas têm para a realidade do interior do nordeste brasileiro, tendo em vista seus impactos econômicos, ambientais e sociais.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado na cidade de Almino Afonso, situada no interior do Rio Grande do Norte (Figura 1). Conforme os dados do IBGE 2021, o município possui uma área territorial 128.038 km² e uma população estimada de 4.685 habitantes. As placas solares foram instaladas na zona urbana em uma propriedade constituída por uma residência e chácara (Figura 1).



(a)



(b)

FIGURA 1. (a) Localização do município de Almino Afonso no Rio Grande do Norte [IBGE, 2021];
(b) Localidade onde foi realizado o estudo (autoria própria).

Para o planejamento da viabilidade do projeto, levou-se em conta a irradiação solar média da localidade para o ano de 2021, expressa na Tabela 1, e o consumo de eletricidade da residência, discriminada na Tabela 2, considerando o consumo mês a mês entre maio de 2021 e abril de 2022.

TABELA 1. Irradiação Solar Diária em (Wh/m²dia) para o município de Almino Afonso [Adaptado de INPE, 2021].

<i>Anual</i>	<i>Jan</i>	<i>Fev</i>	<i>Mar</i>	<i>Abr</i>	<i>Maio</i>	<i>Jun</i>	<i>Jul</i>	<i>Ago</i>	<i>Set</i>	<i>Out</i>	<i>Nov</i>	<i>Dez</i>
6.005	6.147	6.065	6.124	5.882	5.406	5.070	5.368	6.057	6.503	6.627	6.651	6.163

TABELA 2. Consumo mensal de eletricidade na propriedade (autoria própria elaborada a partir da fatura de energia emitida pela COSERN).

<i>Chacará</i>		<i>Casa</i>	
<i>Mês</i>	<i>Consumo kWh</i>	<i>Mês</i>	<i>Consumo kWh</i>
Maio 2021	321,0	Maio 2021	579,0
Jun 2021	258,0	Jun 2021	498,0
Jul 2021	533,0	Jul 2021	457,0
Ago 2021	301,0	Ago 2021	497,0
Set 2021	505,0	Set 2021	534,0
Out 2021	704,0	Out 2021	600,0
Nov 2021	501,0	Nov 2021	1.137,0
Dez 2021	646,0	Dez 2021	1.554,0
Jan 2022	548,0	Jan 2022	1.309,0
Fev 2022	291,0	Fev 2022	664,0
Mar 2022	449,0	Mar 2022	360,0
Abr 2022	390	Abr 2022	356,0
Média	453,91	Média	712,08

A partir destes dois dados, uma irradiação horizontal anual média de aproximadamente 6,005 (kWh/m². dia) e o consumo médio mensal da chácara, bem como a casa do proprietário de 453,91 e 712,08 (kWh), respectivamente, podem-se realizar o dimensionamento do sistema solar fotovoltaico conectado à rede elétrica, que tem a finalidade de suprir, de forma total ou parcialmente, a demanda de energia.

Utilizando-se do indicado, por Oliveira e Crossara (2018), a realização dos cálculos para determinar o número de painéis necessário do sistema parte do valor do consumo médio e do tipo de ligação da rede de distribuição de acordo com a equação:

$$Ec = Emd - DB \quad (1)$$

Sendo:

Ec = Energia de compensação

Emd = Energia Média de Consumo

DB = Tipo de Distribuição

Já para se obter a energia de compensação diária, utiliza-se da seguinte equação:

$$Ecd = \frac{Ec}{30} \quad (2)$$

Sendo:

Ecd = Energia de compensação diária

Ec = Energia de compensação

Portanto, a partir da irradiação média e do valor da Energia de compensação diária (*Ecd*), encontra-se o valor necessário da potência que precisa ser gerada, como mostra equação abaixo:

$$W = \frac{Ecd}{Rad * 0,8} \quad (3)$$

Sendo:

$W = \text{Potência total dos painéis}$

$Rad = \text{Radiação nível médio}$

$0,8 = \text{Fator de Segurança}$

De acordo com Ribeiro (2016), o fator de segurança leva em consideração as perdas relacionadas aos painéis fotovoltaicos, as não funcionam constantemente em valor ideal devido às próprias flutuações da radiação solar em contato com a atmosfera. Esse valor costuma ser situado entre 0,7 a 0,8.

Com o valor da potência dos painéis determinado, é obtida a quantidade de painéis necessários para a realização do projeto pela equação a seguir:

$$N^{\circ}P = \frac{W}{Pp} \quad (4)$$

Sendo:

$N^{\circ}P = \text{Número de painéis necessários}$

$W = \text{Potência total dos painéis}$

Por fim, a equação 3 é realinhada (com Ecd em evidência) para estudar a geração a cada mês e disposta em gráficos para comparar a geração pelo consumo mensal. Nessa etapa, pode-se determinar a potência da usina e o número de painéis necessários para que a produção de energia exceda o consumo nos principais meses, conforme a equação:

$$Ecd = W * Rad * 0,8 * 30 \quad (5)$$

Sendo:

$Ecd = \text{Geração de energia}$

$W = \text{Potência total dos painéis}$

$Rad = \text{Radiação nível médio}$

$0,8 = \text{Fator de Segurança}$

Tendo-se determinado o número e potência das placas, resta completar o sistema com a escolha do inversor e da *string box*. Dessa forma, o inversor deve ser dimensionado em relação a potência das placas, de modo que o inversor tenha potência máxima de 20% acima da potência total dos painéis e, mínima, de 20% a menos do valor da potência.

Com relação ao a *string box*, precisa contar com dimensionamento do DPS do lado CC, com tensão maior do que a tensão máxima do sistema fotovoltaico (V). Vale destacar, ainda, que a corrente de descarga (kA) vem embutida no aparelho escolhido. Enquanto que para o dimensionamento da chave seccionadora é necessário atender os seguintes critérios:

$$U_{ch} > V_{FVMAX} \quad (6)$$

$$I_{ch} > I_{arranjo} \quad (7)$$

$$NP > NC \quad (8)$$

Sendo:

$U_{ch} = \text{Tensão máxima da chave seccionada}$

$V_{FVMAX} = \text{Tensão máxima do sistema fotovoltaico}$

$I_{ch} = \text{Corrente da chave seccionada}$

$I_{arranjo} = \text{Corrente do arranjo}$

$NP = \text{Número de polo}$

$NC = \text{Número de contato}$

Já o DPS, no lado CA, necessita ter tensão maior do que a tensão de saída do inversor, e a escolha de classe determina a corrente de descarga (kA), enquanto a corrente nominal do disjuntor deve ser maior que a corrente total, conforme equação:

$$I = \frac{P}{V} \quad (9)$$

Sendo:

I = corrente total para o disjuntor (A)

P = Potência de saída do inversor

V = Tensão de fornecimento

Ressalta-se, ainda, que de acordo com Manual de Engenharias de Sistemas Fotovoltaicos (CEPEL 2014), a equação necessária para obter a seção mínima do condutor é como a que se segue:

$$S = \frac{p \times (D \times I)}{V} \quad (10)$$

Sendo:

S = Seção mínima do condutor em mm^2

p = Resistividade do material

D = Distância total do condutor

I = Corrente que passa pelo condutor

V = Queda de tensão tolerada no cabeamento

Assim, pode-se determinar a instalação do projeto e ter a projeção da energia gerada, permitindo o cálculo da fatura de energia e a análise da economia gerada, podendo estimar o período para obtenção do retorno do investimento. Dessa forma, o consumidor utiliza um tipo ligação trifásica, e realiza a multiplicação da tarifa de energia pelo ICMS de 25%, direcionado a ser aplicado nas faturas de consumidores comerciais, bem como levar em consoante a energia gerada em um determinado período, segundo a seguinte equação:

$$R\$ = (E_{gp} \times Tarifa \times ICMS) \quad (11)$$

Sendo:

E_{gp} = Energia gerada por um determinado período

Tarifa = Tarifa de energia

ICMS = 25%

Com isso, determina-se o payback - termo que identifica o tempo de retorno de um investimento - nesse caso o do sistema solar fotovoltaico dimensionado. Com base nos parâmetros da seguinte equação, pode-se determinar o kit voltaico a ser escolhido, tendo em vista o tempo para retorno do investimento:

$$\text{payback} = \frac{\text{Valor de investimento}}{\text{Energia gerada}} * Tarifa \quad (12)$$

Quanto a parte jurídica-normativa, para atender a realização do projeto, é necessário produzir os seguintes documentos, de acordo com PINA 2022:

- Formulário preenchido determinando uma solicitação de acesso para microgeração distribuída com potencial igual ou menor a 10 kW e também superior a esse valor;
- Memorial descritivo para microgeração fotovoltaica;
- Diagrama unifilar do sistema fotovoltaico.

De acordo com Ribeiro (2016), o diagrama unifilar é uma representação gráfica que indica todos os aspectos referentes a parte do circuito elétrico conjuntamente à planta arquitetônica, a localização dos pontos que compõem o sistema e de cada equipamento do circuito, bem como o caminhamento físico para, assim, ser aprovado pela concessionária de energia elétrica. Esse documento, em conjunto com os demais anteriormente referidos, deve ser anexado no portal da concessionária.

E, para além de tudo isso, foi realizada uma inspeção no local, a fim de verificar a estrutura para fixação das placas e possíveis obstáculos atuais e/ou futuros que possam causar sombreamento. A partir da análise de todos esses fatores, foi realizada uma pesquisa de mercado, em busca dos melhores materiais para compor a usina de microgeração *on-grid* (placas fotovoltaicas, inversor e *string box*), prezando pelo melhor custo benefício.

3. RESULTADOS

De acordo com a metodologia que foi descrita, obteve-se os resultados necessários para o decorrer do trabalho, sendo mostrado a seguir:

3.1. Estimativa de consumo e produção de energia elétrica

A partir do indicado anteriormente, o consumo médio da chácara e da casa do proprietário é de 453,91 e 712,08 (kWh), respectivamente, sendo a soma das médias aproximadamente igual à 1.165,99 (kWh). Assim, pode-se realizar o dimensionamento pelo método das somas das médias, determinando o cálculo da energia de compensação do sistema, como descrito na equação:

$$\begin{aligned} E_c &= E_{md} - DB \\ E_c &= 1.165,99 - 100 \\ E_c &= 1.065,99 \text{ Wh} \end{aligned} \quad (13)$$

Em seguida, foi determinado o valor equivalente aos 30 dias:

$$\begin{aligned} E_{cd} &= \frac{E_c}{30} \\ E_{cd} &= \frac{1.065,99}{30} \\ E_{cd} &= 35,53 \text{ Wh/dia} \end{aligned} \quad (14)$$

Conforme dados do INPE, a radiação solar média diária do município de Almino Afonso-RN é de aproximadamente 6,005 (kWh/m². dia). Logo, pode-se obter a potência dos painéis fotovoltaicos:

$$\begin{aligned} W &= \frac{E_{cd}}{Rad * 0,8} \\ W &= \frac{35,53}{6,005 * 0,8} \\ W &= 7,39 \text{ kWp} \end{aligned} \quad (14)$$

Consequente, a energia produzida é demonstrada na tabela:

TABELA 3. Valores calculados para o consumo e energia produzida com base na potência e radiação solar para o sistema fotovoltaico (autoria própria).

<i>Mês</i>	<i>Potência Instalada (kWp)</i>	<i>Radiação Solar (kWh/m²)</i>	<i>Consumo Mensal (kWh)</i>	<i>Energia Produzida (kWh)</i>
Maio 2021	7,39	5,406	900	958,81
Jun 2021	7,39	5,070	756	899,22
Jul 2021	7,39	5,368	990	952,07
Ago 2021	7,39	6,057	798	1.074,27
Set 2021	7,39	6,503	1.039	1.153,37
Out 2021	7,39	6,627	1.304	1.175,36
Nov 2021	7,39	6,651	1.638	1.179,62
Dez 2021	7,39	6,163	2.200	1.093,07
Jan 2022	7,39	6,147	1.857	1.090,23
Fev 2022	7,39	6,065	955	1.075,69
Mar 2022	7,39	6,124	809	1.086,15
Abr 2022	7,39	5,882	746	1.043,23
Anual	7,39	6,005	13.992	12.781,09

Porém, em análise conjunta ao proprietário, determinou-se que esses valores não supriam o consumo de energia elétrica do estabelecimento, de modo a compensar o sistema. Entretanto, o proprietário pretende expandir o consumo de energia da residência. Com isso, os dados utilizados vêm de um ano que não pode ser tomado como paramétrico, conforme ilustrado no gráfico:

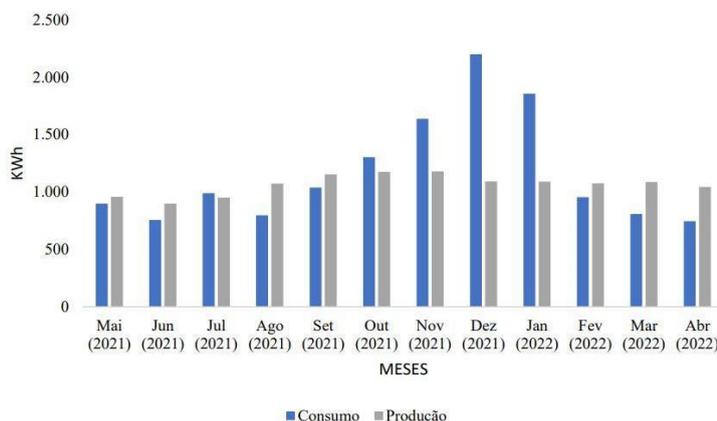


FIGURA 2. Gráfico de consumo e produção estimado do sistema fotovoltaico planejado (autoria própria).

O gráfico demonstra a não viabilidade dessa usina com essa potência, uma vez que traz um déficit anual de 1.210,91 (kWh) negativos de energia produzida em relação à consumida. Por isso, optou-se por elevar o valor utilizado na estimativa, buscando-se kits de usinas fotovoltaicas disponíveis no mercado que atendam a nova referência de valores adequados à demanda de energia simulada.

Desses, foi escolhido o kit fotovoltaico de um gerador solar 9,60 (kWp), com painéis solar da marca trina e um inversor solar FIME ABB, com características para ser instalado no solo. Cujo componentes estão discriminados na tabela a seguir:

TABELA 4. Componentes do Kit Solar Fotovoltaico escolhido [Adaptado do NeoSolar, 2021].

EQUIPAMENTOS
8 STAUBLI CONECTOR MC4 320016P0001-UR PV-KBT4/6II-UR ACOPLADOR FEMEA
8 STAUBLI CONECTOR MC4 32.0017P0001-UR PV-KST4/6II-UR ACOPLADOR MACHO
1 INVERSOR SOLAR FIMER ABB 3N81990FS00A PVI-10.0TL-OUTD-FS 10.0KW TRIFÁSICO
100 CABO SOLAR NEXAANS 59056 ENERGYFLEX AFITOX 0,6/1KV 1500V DC PRETO
100 CABO SOLAR NEXAANS 40553 ENERGYFLEX AFITOX 0,6/1KV 1500V DC VERMELHO
1 MONITORAMENTO FIMER 3N160020000A VSN300 WIFI LOGGER CARD
24 PAINÉIS SOLAR PLACA FOTOVOLTAICA TRINA TSM0-DE15MII 400W TALLMAX 144 CEL. MONO PERC HALF CELL 19,7% EFICIENCIA
1 ABRAÇADEIRA ABB SKT200-180X-100BR ABRAÇADEIRA 200 X 3.6MM NYLON UV PACOTE COM 100 UND
1 STRING BOX ABB 1SLM400220A0000BRA QUADRO 4 ENTRADAS 2 SAIDAS 100OV (2MPPT)
6 ESTRUTURA SOLAR ROMAGNOLE 411839 RS-232 4 PAINEIS SOLO TERRESTRE INCLINAÇÃO 5 A 30 GRAUS 4,20M
6 ESTRUTURA SOLAR ROMAGNOLE 411738 RS-232 4 ACESSÓRIOS TERRESTRE 4 PAINÉIS

Com esse novo kit escolhido, foi realizada uma nova simulação para verificar a potência e energia produzida, como se segue na tabela:

TABELA 5. Valores ajustados para o consumo e energia produzida com base na potência e radiação solar para o sistema fotovoltaico com compensação (autoria própria).

<i>Mês</i>	<i>Potência Instalada (kWp)</i>	<i>Radiação Solar (kWh/m²)</i>	<i>Consumo Mensal (kWh)</i>	<i>Energia Produzida (kWh)</i>
Maio 2021	9,60	5,406	900	1.245,54
Jun 2021	9,60	5,070	756	1.168,12
Jul 2021	9,60	5,368	990	1.236,78
Ago 2021	9,60	6,057	798	1.395,53
Set 2021	9,60	6,503	1.039	1.498,29
Out 2021	9,60	6,627	1.304	1.526,86
Nov 2021	9,60	6,651	1.638	1.532,39
Dez 2021	9,60	6,163	2.200	1.419,95
Jan 2022	9,60	6,147	1.857	1.416,26
Fev 2022	9,60	6,065	955	1.397,37
Mar 2022	9,60	6,124	809	1.410,96
Abr 2022	9,60	5,882	746	1.355,21
Anual	9,60	6,005	13.992	16.603,26

Feito isso, os resultados obtidos com a potência de 9,60 (kWp) para essa nova usina solar, foram comparadas com o consumo mensal, como indicados no gráfico abaixo:

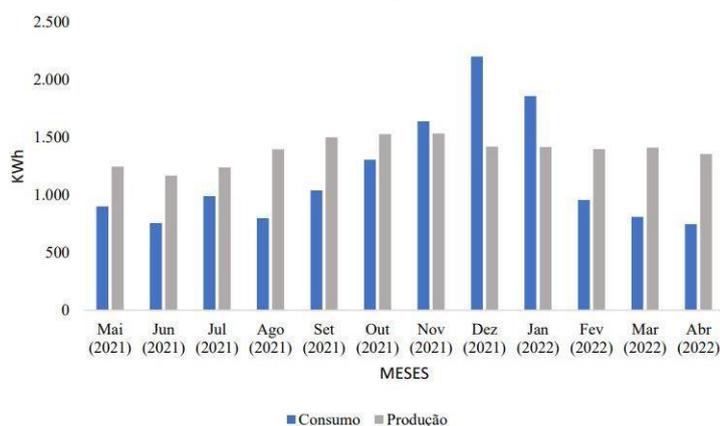


FIGURA 3. Gráfico de consumo e produção estimado do sistema fotovoltaico planejado (autoria própria).

Sendo assim, portanto, fica claro que esse novo sistema é extremamente favorável ao proprietário, uma vez que supre o consumo de quase todos os meses, ao passo que em outros até gera excedente que pode ser passado à rede para obtenção de crédito, o que determina um saldo anual de aproximadamente 2.611,26 (kWh) de energia produzida em relação ao consumo. Isso trará tanto benefícios econômicos, como ambientais, além de demonstrar como esse tipo de sistema é totalmente viável para localidades análogas.

Tendo estabelecida a potência (9,60 kWp) e a demanda de produção e consumo a ser estabelecida, pode-se calcular a quantidade de painéis necessários, conforme etapas:

$$\begin{aligned}
 N^{\circ}P &= \frac{W}{P_p} \\
 N^{\circ}P &= \frac{9.600 \text{ Wp}}{400 \text{ W}} \\
 N^{\circ}P &= 24
 \end{aligned}
 \tag{15}$$

Assim, a quantidade de painéis fotovoltaicos necessários para suprir a demanda elétrica é de 24 painéis de 400 (Wp) e a potência instalada de 9,60 (kWp).

3.2. Diagrama unifilar

Com o projeto calculado, foi realizado o dimensionamento do diagrama unifilar, de acordo com a regularização apropriada da COSERN, ficando explícito o detalhamento dos equipamentos do sistema solar fotovoltaico na Figura 4.

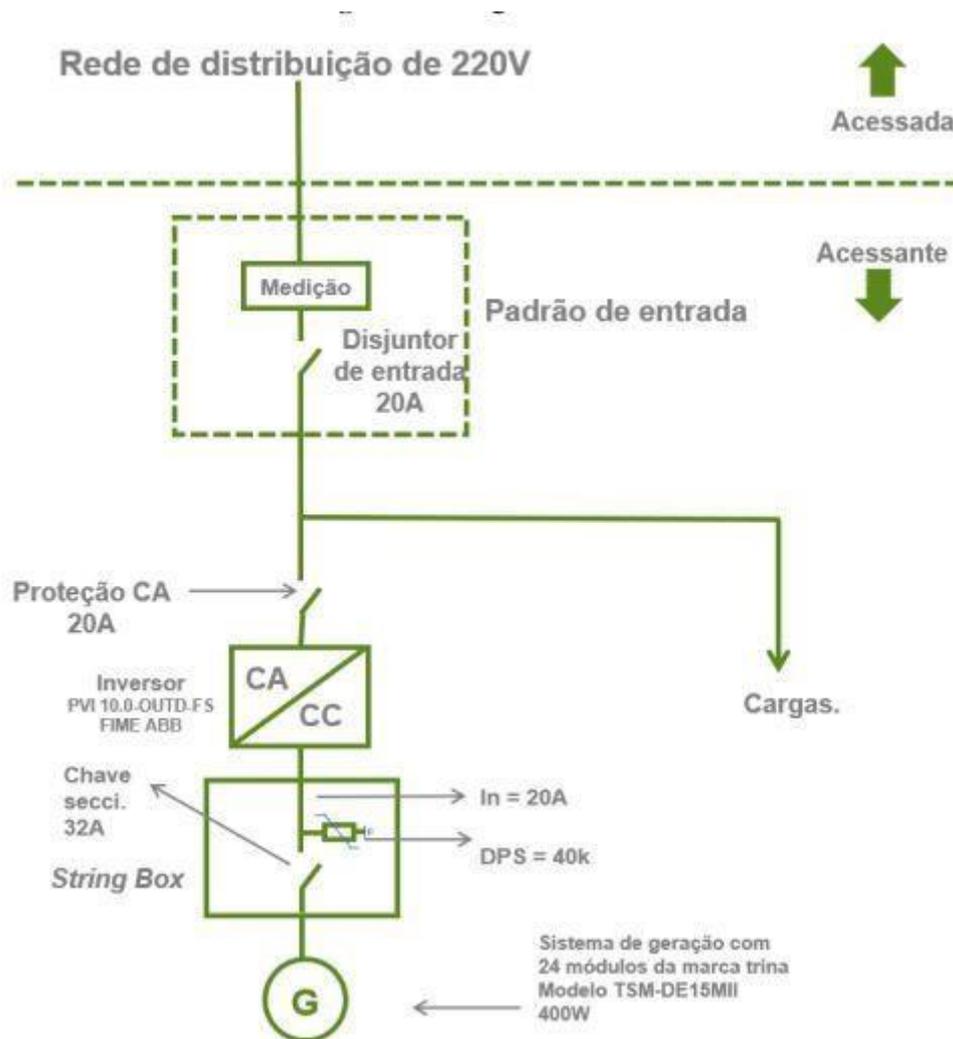


FIGURA 4. Diagrama unifilar do sistema a ser instalado (autoria própria).

Durante sua produção percebeu-se a necessidade do proprietário solicitar junto com a concessionária a alteração de carga do consumidor, uma vez que a usina não poderá possuir uma carga maior em relação a carga instalada. O processo para essa solicitação dá-se pelo site da COSERN e a sugestão foi de 10 (kW).

3.3. Retorno do investimento

Calcular o *payback* é de suma importância para todo investimento desse tipo, pois ele demonstra o tempo para que o dinheiro investido na construção do sistema fotovoltaico se traduza em saldo monetário positivo. Para isso, foi realizada uma simulação para estimar a produção financeira do sistema ao longo de 25 anos e compará-lo ao saldo negativo do investimento inicial para assim determinar em quanto tempo o proprietário obterá lucro pela instalação.

Consoante a isso, foi considerado um reajuste de 10% nas tarifas de energia elétrica ao longo dos 25 anos, como forma de estimativa em relação à inflação determinada pelo índice do acúmulo do IPCA nos últimos 12 meses, equivalente ao mês de dezembro de 2021, como consultado no IPCA 2022. Logo, os resultados dessa simulação encontram-se discriminados na Tabela 6, e são demonstrados de maneira mais clara no gráfico da Figura 5. Ambos demonstram que o ponto em que o sistema fotovoltaico se torna autossustentável economicamente e passa a gerar saldos positivos é a partir do sexto ano.

TABELA 6. Retorno do investimento (autoria própria).

<i>Gerador</i>	<i>Tarifa</i>	<i>Reajuste</i>	<i>Investi. Inicial</i>
----------------	---------------	-----------------	-------------------------

<i>tarifário ao longo do tempo (25 anos)</i>			
1.344 kWh/mês	0,49195	10%	42.779,90

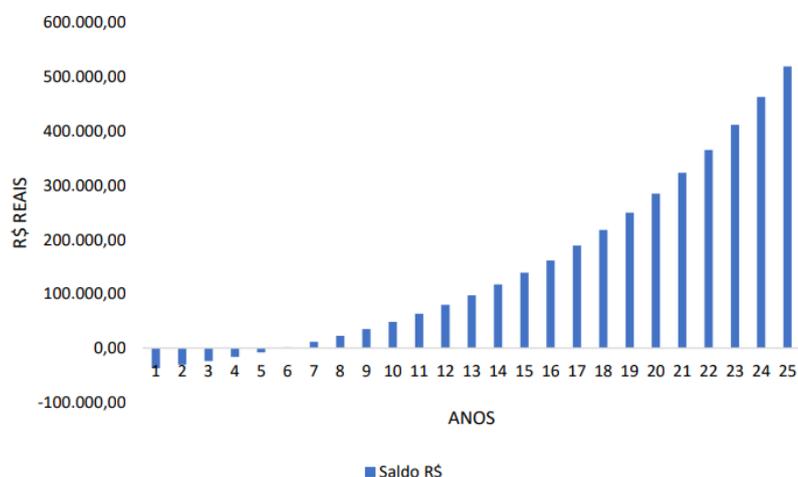


FIGURA 5. Retorno de investimento ao longo de 25 anos (autoria própria).

Além disso, levou-se em consideração as tarifas relacionadas ao valor final da fatura de energia elétrica para se chegar a uma estimativa média base. Tais tarifas são a taxa de distribuição, a taxa de iluminação pública e as bandeiras tarifárias, que indicam os níveis dos reservatórios das hidrelétricas, sendo a bandeira verde o nível adequado, no qual não há acresção à conta e as bandeiras amarela, vermelha e escassez hídrica, as que adicionam custo extra a produção de energia, visto o baixo nível de água nos reservatórios que é compensado pela energia das termelétricas, mais cara.

Esses valores, para os últimos 12 meses, foram levados em consideração para se obter o valor mínimo a ser pago em cada mês, com a instalação do sistema fotovoltaico. Esses valores são expressos na Tabela 7 e organizados no Figura 6 para melhor visualização:

TABELA 7. Comportamento das taxas cobradas em reais (autoria própria).

<i>Mês</i>	<i>Bandeira Verde</i>	<i>Bandeira Amarela</i>	<i>Bandeira Vermelha</i>	<i>Bandeira Escassez Hídrica</i>	<i>Ilu. Pública</i>
Maio 2021	0	6,23	15,5	0	12,88
Jun 2021	0	0	31,46	0	2,58
Jul 2021	0	0	45,02	0	2,58
Ago 2021	0	0	62,80	0	2,58
Set 2021	0	0	0	77,99	12,88
Out 2021	0	0	0	109,15	12,88
Nov 2021	0	64,79	0	143,98	30,87
Dez 2021	0	0	0	287,74	30,87
Jan 2022	0	0	0	242,04	30,87
Fev 2022	0	0	0	116,56	2,58
Mar 2022	0	0	0	64,04	2,58
Abr 2022	0	0	0	63,89	2,58

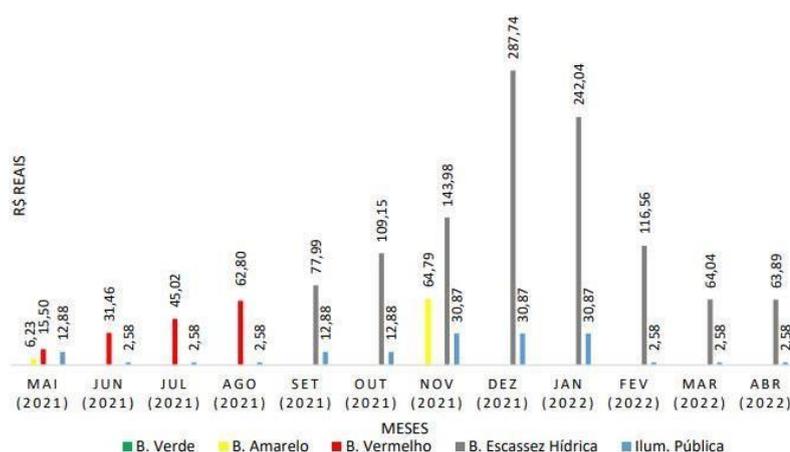


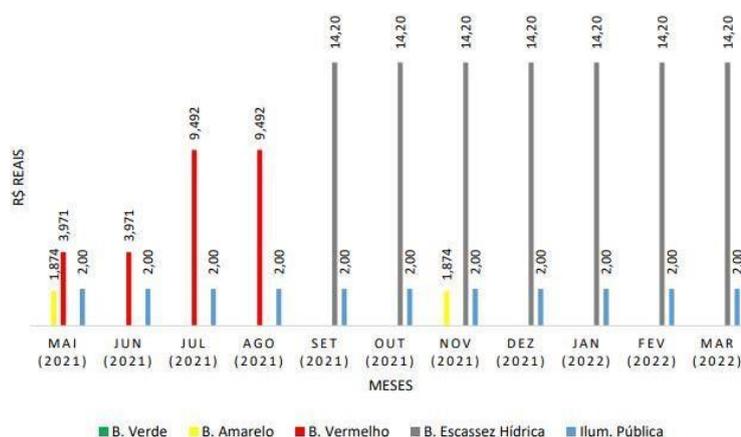
FIGURA 6. Comportamento das taxas cobradas em reais (autoria própria).

Com base nesses dados, foi construída a Tabela 8 simulando os preços as tarifas e taxas supracitadas em função dos 100 (kWh)¹, de modo a visualizar a taxa mínima cobrada pela concessionária de energia elétrica após os sistema solar fotovoltaico ter sido instalado. Tais dados ficam visualizados na forma de gráfico na Figura 7 e demonstram claramente a redução dos valores comparados com o consumo de energia sem o sistema solar fotovoltaico, de modo que será cobrado apenas a taxa mínima relacionada à distribuição e iluminação pública.

TABELA 8. Análise da taxa mínima a ser cobrada em função dos 100 (kWh) (autoria própria).

<i>Mês</i>	<i>Bandeira Verde</i>	<i>Bandeira Amarela</i>	<i>Bandeira Vermelha</i>	<i>Bandeira Escassez Hídrica</i>	<i>Ilu. Pública</i>
Maio 2021	0	1,874	3,971	0	2,00
Jun 2021	0	0	3,971	0	2,00
Jul 2021	0	0	9,492	0	2,00
Ago 2021	0	0	9,492	0	2,00
Set 2021	0	0	0	14,20	2,00
Out 2021	0	0	0	14,20	2,00
Nov 2021	0	1,874	0	14,20	2,00
Dez 2021	0	0	0	14,20	2,00
Jan 2022	0	0	0	14,20	2,00
Fev 2022	0	0	0	14,20	2,00
Mar 2022	0	0	0	14,20	2,00
Abr 2022	0	0	0	14,20	2,00

¹ Refere-se ao custo de disponibilidade do sistema elétrico, em valor de moeda corrente equivalente ao sistema trifásico, dado pela resolução normativa ANEEL nº 1.000, de 7 de dezembro de 2021.



Fonte: De Autoria Própria, 2022.

FIGURA 7. Análise da Taxa Mínima em Reais a ser cobrada em Função dos 100 (kWh) (autoria própria).

3.4. Local de instalação

Para a escolha do local da instalação, pôde-se optar entre a instalação no telhado ou no solo, no entanto, optou-se pelo ultimo, tendo em vista o menor preço de instalação e por proporcionar um espaço físico mais adequado para acomodar os módulos do sistema fotovoltaico.

De acordo com o Canal Solar (2020), as sombras podem causar preocupações ao sistema solar fotovoltaico, pois interferem no rendimento dos painéis e podem causar prejuízos aos clientes na geração de energia elétrica. Em casos específicos, podem causar pontos de aquecimento (hotspots) quando as sombras incidem de modo direto sobre local determinadas células de um módulo solar fotovoltaico. Para determinar, então, a instalação foi utilizado, o software *sketchup* para visualizar o comportamento da incidência solar ao longo de 12 meses no local das placas fotovoltaicas, exemplificado pelas imagens a seguir:

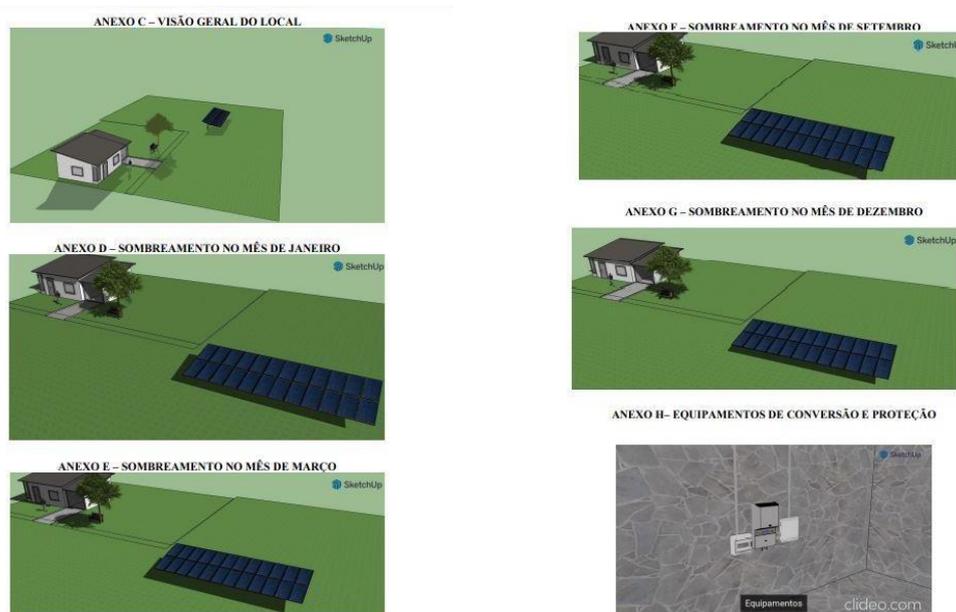


FIGURA 8. Projeções de sombra e equipamentos realizados utilizando o software *sketchup* (autoria própria).

4. CONCLUSÃO

Foi possível identificar que o sistema irá produzir energia para o proprietário de forma viável, econômica e segura. Seu perfil é consideravelmente ideal para a instalação em razão do seu alto consumo de energia elétrica e área física disponível para instalação dos módulos no solo. Esse resultado proporcionará melhorias no âmbito econômico e irá gerar lucros a partir de um período de aproximadamente 60 meses a partir do investimento inicial custeado em R\$ 42.779, 90 em equipamentos.

Tornou-se perceptível, também, que a energia solar fotovoltaica é de forma sustentável e renovável, além de ser muito viável para todo território nacional, pois a sua fácil instalação e inovações constantes tornam-na uma tecnologia cada vez mais eficiente e barata, aliados aos altos índices de radiação solar do território nacional. Esse reflexo positivo trará para o cidadão um alto consumo, tornando-se uma alternativa cada vez mais rentável, principalmente por produzir mais energia durante a época de estiagem quando os níveis de reservatórios hídricos estão mais baixos aumentando as tarifas sobre eletricidade da rede.

Porém, apesar de poder compensar todo o consumo elétrico da rede, o proprietário não ficará livre de faturas de energia elétrica, uma vez que será necessário pagar a pelo custo de disponibilidade cobrada pela concessionária (taxa de distribuição da rede e iluminação pública).

REFERÊNCIAS

- [1] DASSI, Jonatan Antonio et al. Análise da viabilidade econômico-financeira energia solar fotovoltaica em uma Instituição de Ensino Superior do Sul do Brasil. In: **Anais do congresso Brasileiro de Custos-ABC**. 2015.
- [2] ZILLES, Roberto. Energia solar fotovoltaica. **USP, São Paulo**, 2012.
- [3] ABSOLAR. **Energia solar fotovoltaica: Panorama, Oportunidades e Desafios**. Disponível em: <http://www.greenrio.com.br/arquivos/Eduardo-Miklos_-_ABSOLAR.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2021.
- [4] IBGE, CIDADES. **IBGE**, 2021. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rn/almino-afonso/panorama>>. Acesso: 28 fev. 2022.
- [5] INPE. Medidas do Total Diário da Irradiação Global Horizontal para o Estado do Rio Grande do Norte. Disponível em: <http://labren.ccst.inpe.br/atlas2_tables/RN_go.html>. Acesso em: 28 fev. 2022.
- [6] OLIVEIRA, Matheus Campos, CROSSARA., Vinicius de Oliveira. Dimensionamento de um sistema on-grid fotovoltaico no setor de panificação no Brasil. 2018.
- [7] CEPEL. Manual de Engenharias de Sistemas Fotovoltaicos. Disponível em: <<http://www.cressesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual-de-engenharias-FV-2014.pdf/>>. Acesso em: 5 mar. 2022.
- [8] PEREIRA RIBEIRO. Raylla. Estudo de caso: Dimensionamento de um sistema fotovoltaico Residencial. Disponível em: <<file:///C:/Users/marco/Downloads/Tcc-Raylla-1.pdf>>. Acesso em: 7 mar. 2022.
- [9] NeoSolar. Gerador Solar 9,60 kWp – Solo – Trina – ABB – Trif380V, 2021. Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/loja/gerador-solar-9-60kwp-trina-abb-solo-trif-380vhtml>>. Acesso em: 9 Mar. 2022.
- [10] CORTES, Andrea. Qual o Valor do IPCA Hoje e Acumulado de 2022 de 2022? Disponível em: <<https://www.remissaonline.com.br/blog/ipca-hoje/#:~:text=IPCA%202022%20acumulado%20e%20dos,caiu%20para%208%2C73%25.>>. Acesso em: 10 Mar. 2022.
- [11] DIS-NOR-031: Conexão de Microgeradores ao Sistema de Distribuição.
- [12] COSERN. Alteração de Carga, 2022. Disponível em: <<https://servicos.neonergiacosern.com.br/comercial-industrial/Pages/principais-opcoes-para-instalacao-do-padrao-de-entrada.aspx>>. Acesso em: 23 abr. 2022.