



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

DIEGO ARAÚJO CUNHA COSTA

ANÁLISE DE VIABILIDADE E PROCEDIMENTO DE PROJETO DE
INSTALAÇÃO DE PAINÉIS SOLARES

CAMPINA GRANDE - PB

2022

DIEGO ARAÚJO CUNHA COSTA

**ANÁLISE DE VIABILIDADE E PROCEDIMENTO DE PROJETO DE
INSTALAÇÃO DE PAINÉIS SOLARES**

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da
Universidade Federal de Campina Grande como
parte dos requisitos necessários para a obtenção do
grau de Engenheiro Eletricista.*

ORIENTADOR:

Prof. Pablo Bezerra Vilar

CAMPINA GRANDE - PB

2022

DIEGO ARAÚJO CUNHA COSTA

**ANÁLISE DE VIABILIDADE E PROCEDIMENTO DE PROJETO DE
INSTALAÇÃO DE PAINÉIS SOLARES**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da
Universidade Federal de Campina Grande como
parte dos requisitos necessários para a obtenção do
grau de Engenheiro Eletricista.

ORIENTADOR: Prof. Pablo Bezerra Vilar

Aprovado em ____ de _____ de 2022

BANCA EXAMINADORA

Prof. Pablo Bezerra Vilar

Universidade Federal de Campina Grande

Orientador

Bruno Barbosa Albert

Universidade Federal de Campina Grande

Avaliador

AGRADECIMENTOS

Toda a aventura até a finalização deste trabalho de conclusão de curso contou com o auxílio de diversas pessoas.

A todos os meus amigos que estiveram ao meu lado por toda a graduação ou parte dela, Diego, Álvaro, Lucas, Renato e entre outros que deixo aqui meus sinceros agradecimentos por tornarem todo o processo mais satisfatório.

Ao meu grande amigo Moisés que sempre esteve ao meu lado como um irmão.

A minha namorada Heloísa que me deu um suporte incalculável e esteve comigo sempre me dando forças.

Aos meus amigos que me acompanham no meu trabalho paralelo a universidade que me apoiam sempre.

Ao meu orientador Pablo Bezerra Villar que me ajudou no desenvolvimento deste trabalho e toda a inspiração que proporcionou durante as disciplinas de graduação.

Por fim agradeço a todos os funcionários da Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica que contribuíram na minha graduação.

RESUMO

A utilização da energia solar para geração de energia elétrica vem crescendo muito ao longo dos últimos anos por ser uma fonte de energia limpa e renovável. A instalação do projeto fotovoltaico tem um grande custo inicial, sendo necessária uma análise econômica para atrair ainda mais investidores ao setor. O objetivo deste trabalho foi expor a viabilidade econômica na implantação de um sistema fotovoltaico, onde foi analisado diante dos custos de projeto o tempo de retorno para que o investidor recupere o valor investido. No decorrer deste trabalho foram explicadas as variáveis consideradas importantes para a análise, como irradiação solar, custo de projeto e tempo de retorno. A viabilidade do projeto é comprovada e demonstrada ao final do estudo.

PALAVRAS-CHAVE: Painel Fotovoltaico, Viabilidade Econômica, Energia Solar, Projeto.

ABSTRACT

The use of solar energy for electricity generation has been growing a lot over the last few years as it is a clean and renewable energy source. The installation of the photovoltaic project has a large initial cost, requiring an economic analysis to attract even more investors to the sector. The objective of this work was to expose the economic viability in the implementation of a photovoltaic system, where the Payback time for the investor to recover the invested amount was analyzed in the face of the project costs. During this work, the variables considered important for the analysis were explained, such as solar irradiation, project cost and payback time. The feasibility of the project is proven and demonstrated at the end of the study.

KEYWORDS: Photovoltaic Panel, Economic Feasibility, Solar Energy, Project.

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1 – Perfil de incidência da radiação solar num determinado local.</i>	11
<i>Figura 2 – Mapeamento da Irradiação Solar no Nordeste Brasileiro.</i>	11
<i>Figura 3 – Circuito equivalente de uma célula fotovoltaica.</i>	12
<i>Figura 4 – Curva $I \times V$ característica de uma célula fotovoltaica.</i>	14
<i>Figura 5 – Curva de potência versus tensão</i>	14
<i>Figura 6 – Circuito série/paralelo dos módulos fotovoltaicos.</i>	15
<i>Figura 7 – Curva característica $I \times V$ para diferentes níveis de radiação solar.</i>	16
<i>Figura 8 – Efeito da temperatura da célula na curva característica $I \times V$.</i>	17
<i>Figura 9 – Gráfico de comparação dos preços dos módulos e sua eficiência.</i>	20
<i>Figura 10 – Painel solar JINKO JKM450-60HL4-V.</i>	22
<i>Figura 11 – Inversor GROWATT MIN5000TL-X.</i>	22
<i>Figura 12 – Gráfico de Payback.</i>	24

LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 1 – Análise de preços na instalação de um projeto fotovoltaico.</i>	20
<i>Tabela 2 – Tempo de Retorno do Capital Investido.</i>	22

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	9
1.1 Objetivos gerais	9
1.1 Objetivos específicos	10
CAPÍTULO 2 – ANÁLISE DE ENERGIA SOLAR	10
2.1 Radiação Solar	10
CAPÍTULO 3 – CÉLULAS FOTOVOLTAICAS	12
3.1 Circuito elétrico equivalente	13
3.2 Influências nos parâmetros elétricos de um módulo	16
3.2.1 Intensidade de luz solar	16
3.2.1 Temperatura de operação	17
CAPÍTULO 4 – DIMENSIONAMENTO	18
4.1 Fatura de energia	18
4.2 Fator de correção	19
4.3 Inversor	19
4.3 Dimensionamento da geração fotovoltaica	20
CAPÍTULO 5 – FATOR COMERCIAL E SUA VIABILIDADE	20
5.1 Viabilidade econômica	22
5.1 Payback	24
CAPÍTULO 6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	26
BIBLIOGRAFIA	28

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

A tecnologia de aproveitamento de energia solar apresenta uma crescente evolução desde 1800, quando o efeito fotoelétrico foi descoberto. Desde então, o avanço científico visou aproveitar a energia proveniente do sol (MIRANDA, 2014).

A necessidade de alternativas de energias de fontes renováveis tornou-se um fator de grande interesse devido ao retorno proporcionado. A preocupação com necessidades futuras de energia trouxe a procura de uma ou mais maneiras de atender esta demanda. As energias renováveis se mostram boas alternativas capazes de sustentar as necessidades de uma sociedade com uma demanda contínua de energia elétrica.

No ambiente residencial a energia solar se torna um investimento com retorno financeiro observável. A energia produzida em um determinado tempo não teria mais que ser contratada, apenas gerada. Ao longo de um período, a economia nos custos de energia elétrica podem exceder o consumo da locação (FADIGAS, 2012).

As células solares são usadas para converter a radiação eletromagnética do sol em energia elétrica, podendo ser utilizado para alimentação de residências, comércios, indústrias entre outros.

A instalação de painéis solares é na maioria das vezes realizada nos telhados, em um processo realizado em um curto período de tempo.

Para avaliar a viabilidade econômica da instalação de painéis solares é necessário levar em consideração os custos iniciais, custos operacionais, projeção de receita e opções de financiamento. Na instalação do painel solar os custos iniciais incluíram o custo do produto, custo de instalação e custo de inspeção e certificação. O custo do produto inclui as placas, as estruturas de montagem, o inversor que irá converter a energia DC em AC, e o sistema de ligação à rede que permitirá a conexão com a malha energética. Deve-se incluir também o custo do profissional responsável por seguir todas as normas exigidas (FADIGAS, 2012).

1.1 Objetivos gerais

O objetivo geral deste Trabalho de Conclusão de Curso foi propor um estudo avaliativo de viabilidade de instalação de painéis solares, visando seus custos e efetividade do sistema implementado, analisando todas as variáveis compostas no sistema e estudos práticos sobre o assunto.

1.1 Objetivos específicos

- Analisar o efeito fotoelétrico e sua geração de energia elétrica nas placas solares;
- Caracterizar o dimensionamento do sistema fotovoltaico;
- Realizar o estudo de viabilidade de uma residência;

CAPÍTULO 2 – ANÁLISE DE ENERGIA SOLAR

A radiação solar é a energia emitida pelo sol na forma de radiação. Uma grandeza empregada para quantificar a radiação solar é a irradiância, expressa na unidade W/m^2 .

Os raios solares, ao cruzarem a atmosfera terrestre, sofrem o efeito da difusão. Dessa forma, uma pequena parte é desviada e refletida (radiação difusa) e a outra continua sua trajetória em linha reta (radiação direta).

A captação da radiação direta pode ser melhorada pela forma como os módulos solares são instalados. Para locais no hemisfério sul, a melhor maneira é orientá-los para o norte geográfico, para locais no hemisfério norte, para o sul geográfico.

2.1 Radiação Solar

Os níveis de radiação solar em um plano horizontal na superfície do planeta Terra podem ser diferentes dependendo da estação do ano, pois a inclinação terrestre afeta

diretamente a incidência solar. A variação pode decorrer também com a região de estudo, devido às diferenças de latitude, altitude e condições climáticas. A Figura 1 mostra o perfil de incidência da radiação solar num determinado local em dias consecutivos (FADIGAS, 2012).

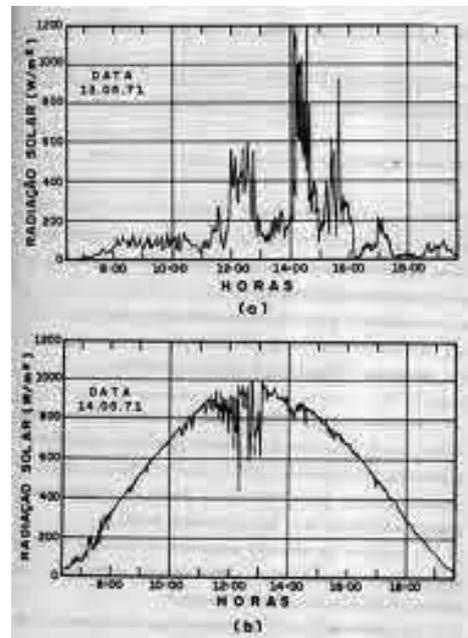


Figura 1 – Perfil de incidência da radiação solar num determinado local.
Fonte: Grimone (2020).

Na Figura 2 são apresentados os níveis de irradiação solar em kWh/m² no Nordeste, foi utilizado o valor médio de irradiação de 5,35 kWh/m² na base de cálculos da situação disposta ao final deste trabalho, valor selecionado levando em consideração a média direta de valores da região.

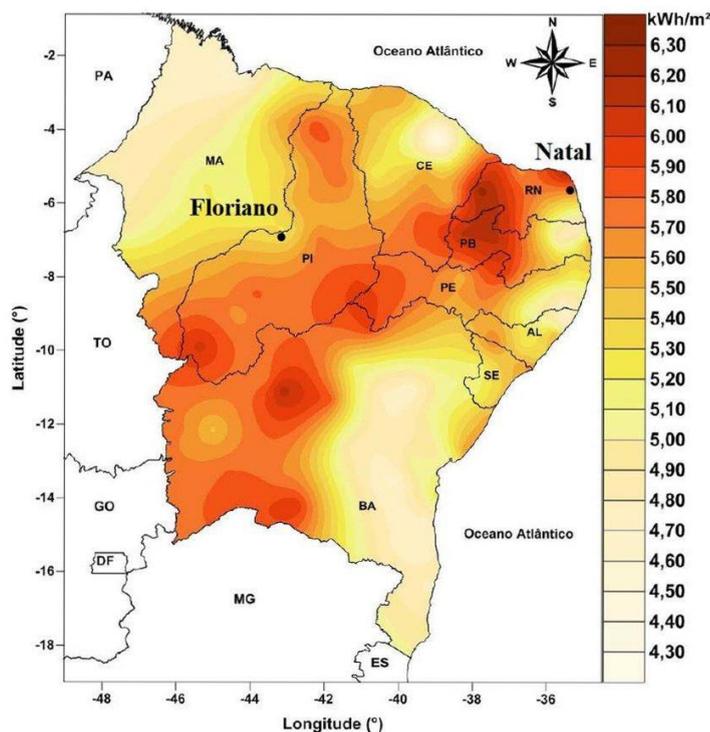


Figura 2 – Mapeamento da Irradiação Solar no Nordeste Brasileiro.
Fonte: Moraes (2019).

CAPÍTULO 3 – CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

O efeito fotovoltaico se trata da conversão da energia luminosa em energia elétrica obtida através da energia solar fotovoltaica, onde foi constatado que certos materiais produzem uma corrente elétrica quando expostos à luz (FADIGAS, 2012).

Os materiais responsáveis para a ocorrência do efeito de conversão são os semicondutores, que têm a característica de possuir uma banda de valência totalmente preenchida por elétrons e uma banda de condução vazia a temperaturas muito baixas. Quando exposta à luz solar, as camadas de material absorvem os fótons. Isso causa a projeção de uma camada para a outra, gerando uma corrente elétrica. O material semiconductor utilizado nas células é o silício. Quando o fóton é absorvido pelo silício é então gerada a corrente elétrica. Quanto mais fótons são absorvidos pela célula solar, maior a corrente gerada (FADIGAS, 2012).

3.1 Circuito elétrico equivalente

O circuito equivalente que descreve o funcionamento de uma célula fotovoltaica quando está submetida à radiação da luz solar é mostrado na Figura 3.

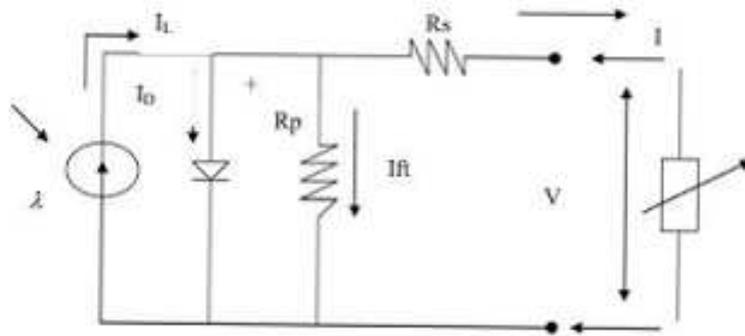


Figura 3 – Circuito equivalente de uma célula fotovoltaica.
Fonte: Santos e Migliano (2020)

Os parâmetros mostrados na Figura 3 representam:

I_L – corrente gerada pela incidência da radiação solar

I_D, I_o – corrente de saturação do diodo

I_{ft} – corrente de fuga para terra

I – corrente nos terminais de saída

R_p – resistência shunt

R_s – resistência série

λ – parâmetro de correção de curva

Em condições de radiação e temperatura fixa temos que o modelo de tensão e corrente é dado pela Equação 1.

$$I = I_L - I_D - I_{ft} = I_L - I_o \left\{ \exp \left[\frac{V + IR_s}{a} \right] - 1 \right\} - \frac{(V + IR_s)}{R_p} \quad (1)$$

A resistência série representa a resistência à passagem de corrente e depende das impurezas da matéria, espessura da junção e resistência de contato. Em uma célula ideal $R_s = 0$ (nenhuma perda interna) e $R_p = \infty$ (nenhuma corrente para terra) (FADIGAS, 2012).

Quando uma célula está posicionada em direção ao Sol, é possível medir a tensão em seus terminais. Se não há carga ligada aos terminais o circuito está em aberto, não há corrente e a sua tensão medida é a tensão de circuito aberto (FADIGAS, 2012). Sendo representada na Equação 2.

$$V_{ca} = V + I \cdot R_p \quad (2)$$

Outro parâmetro importante para descrever a eficiência de uma célula é a corrente de curto-circuito (I_{cc}), medida colocando-se os terminais da célula em curto-circuito e realizando a mediação através de um amperímetro analisando assim a corrente quando a célula for submetida à radiação solar total (FADIGAS, 2012).

A curva característica de uma célula fotovoltaica é representada por corrente versus tensão (I-V). A Figura 4 representa uma curva I versus V característica de uma célula fotovoltaica.

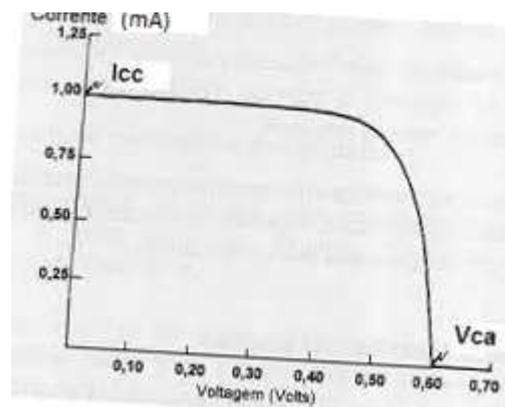


Figura 4 – Curva IxV característica de uma célula fotovoltaica.

Fonte: Fadigas (2012)

Na célula da Figura 4 temos que a corrente é aproximadamente constante até o 0,50 volts, e a partir desse ponto, a corrente do diodo (I_D) torna-se importante. Na condição de

circuito aberto em aproximadamente 0,60 volts, toda a corrente de iluminação está passando através do diodo e da resistência em paralelo R_p (FADIGAS, 2012).

A potência nos terminais da célula é produzida pelo produto da corrente versus tensão em cada ponto da curva. A Figura 5 apresenta a curva de potência de uma célula em função da tensão nos seus terminais. Há uma potência presente quando a tensão e corrente são nulas (I_{cc} e V_{ca}) (FADIGAS, 2012).

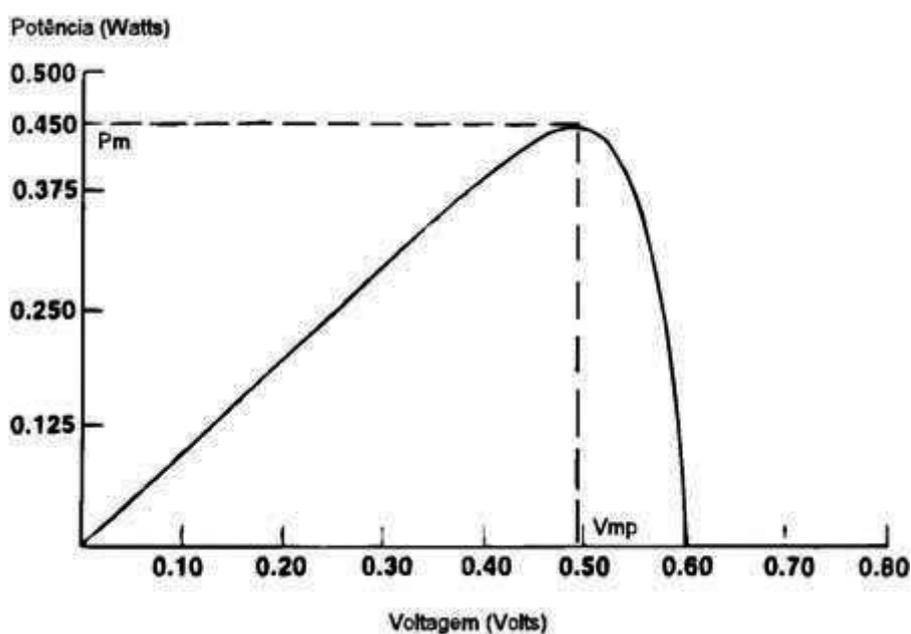


Figura 5 – Curva de potência versus tensão
Fonte: Núcleo ATS (2019).

Devido à baixa tensão nos terminais de uma célula fotovoltaica, aproximadamente 0,6 volts, o valor pode variar a depender do material da célula. Sua corrente também é baixa na ordem de 10^{-3} amperes. Para que seja atingido um valor de potência maior é necessário realizar a associação em série, paralelo ou ambos no mesmo sistema, formando assim os módulos do sistema. No mercado existem módulos de diferentes potências, tais como 48 Wp, 56 Wp, entre outros. A Figura 6 mostra um esquema série e paralelo de células fotovoltaicas em ligação (FADIGAS, 2012).

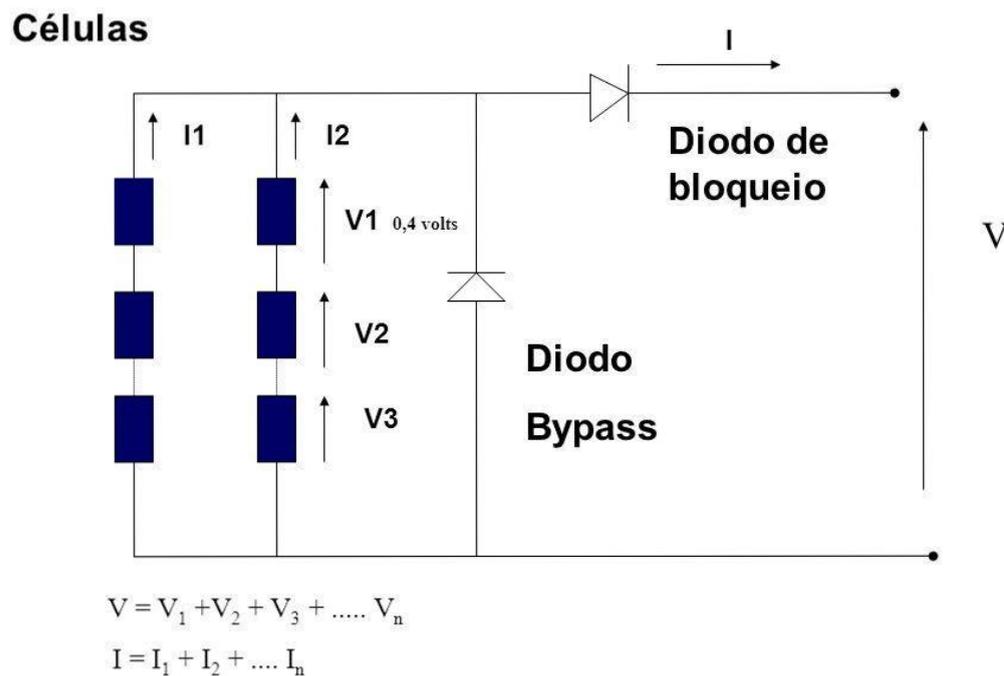


Figura 6 – Circuito série/paralelo dos módulos fotovoltaicos.
Fonte: Fadigas (2012).

3.2 Influências nos parâmetros elétricos de um módulo

Os principais fatores que influenciam na faixa de operação de um módulo fotovoltaico são a intensidade de luz solar e a temperatura de operação. A seguir, esses parâmetros serão discutidos em mais detalhes.

3.2.1 Intensidade de luz solar

A intensidade da radiação da luz solar varia de acordo com o instante devido a rotação do planeta Terra e sua translação ao redor do Sol. Ao nível do mar, ao meio dia com céu sem apresentar nuvens a intensidade da radiação solar atinge um valor de aproximadamente $1000\text{W}/\text{m}^2$. A corrente máxima também é apresentada no ponto de máxima incidência solar. Em dias nublados a corrente produzida é de menor proporção. A Figura 7 representa a curva

característica I versus V de um módulo fotovoltaico para diferentes intensidades de radiação solar (FADIGAS, 2012).

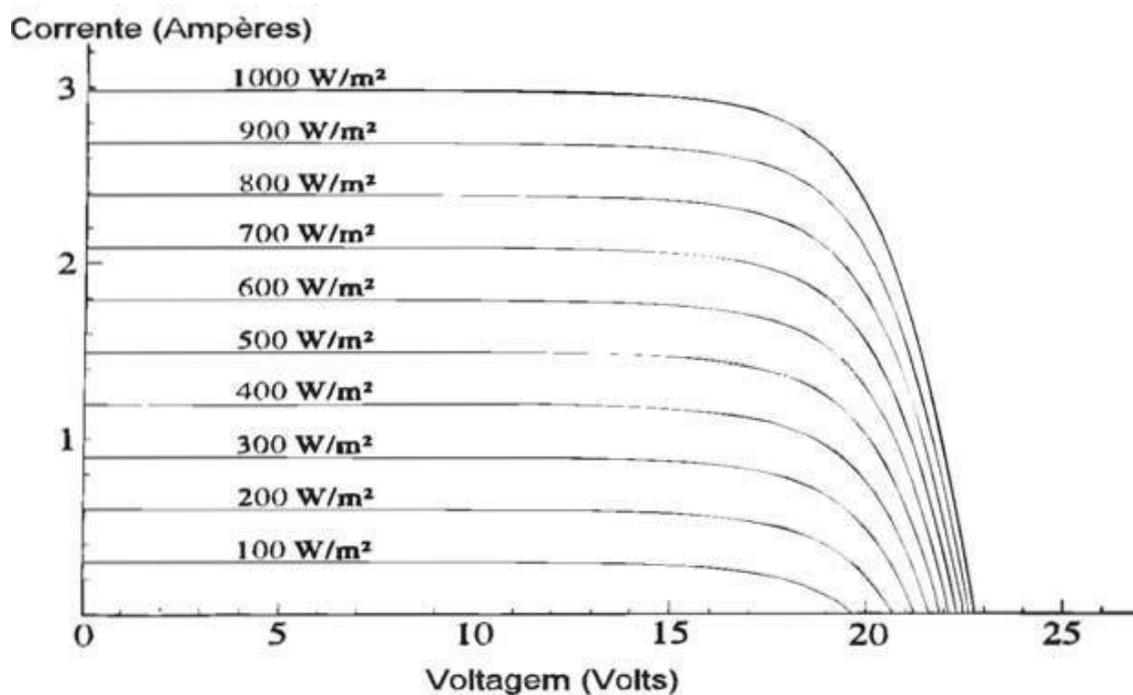


Figura 7 – Curva característica I x V para diferentes níveis de radiação solar.
Fonte: Fadigas (2012).

3.2.1 Temperatura de operação

As células fotovoltaicas sofrem variações de temperatura de acordo com a incidência de raios solares e devido também a temperatura ambiente. O aumento de temperatura causa o aumento da corrente de curto-circuito I_{cc} enquanto a tensão de circuito aberto V_{ca} diminui, o que afeta a entrega de potência dos módulos (FADIGAS, 2012).

É possível visualizar na Figura 8 que a tensão diminui com o aumento da temperatura e que a corrente quase não sofre variação.

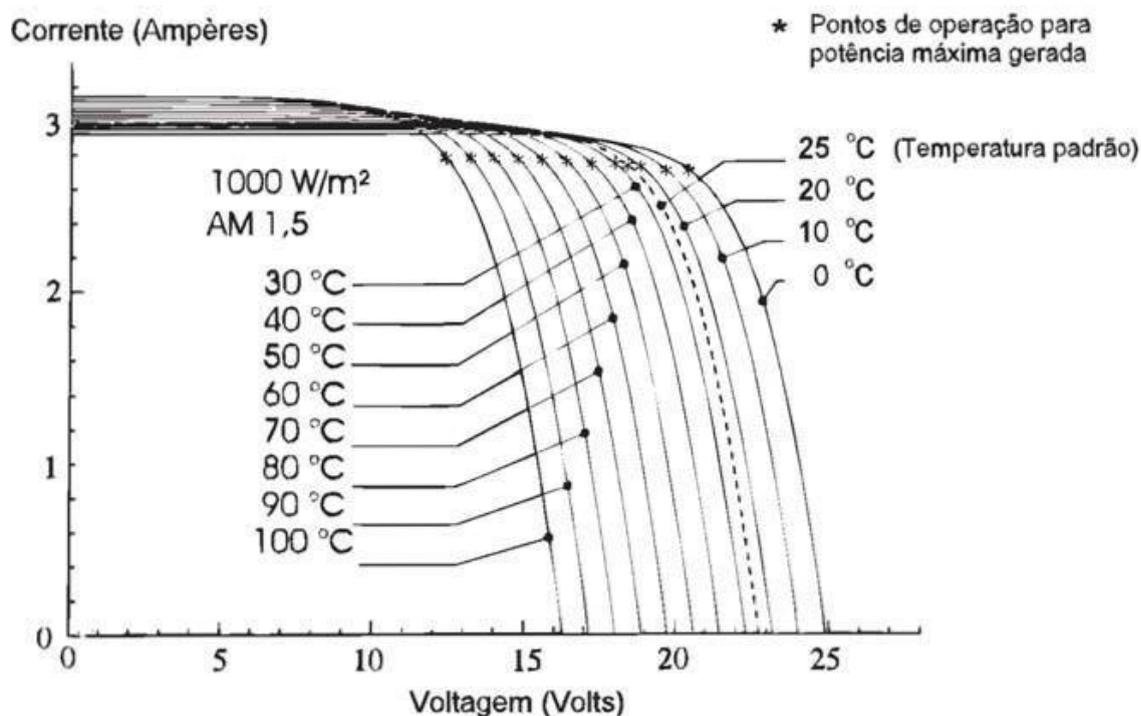


Figura 8 – Efeito da temperatura da célula na curva característica I x V.
Fonte: Fadigas (2012)

CAPÍTULO 4 – DIMENSIONAMENTO

O dimensionamento de energia solar define a análise do local de instalação do sistema fotovoltaico, ou seja, consiste no planejamento da instalação. Por meio do dimensionamento se identifica qual é o consumo mensal de energia elétrica do local e as especificações dos componentes que irão compor o sistema de energia solar. Com isso, é possível garantir o melhor aproveitamento do espaço disponível com máxima eficiência na instalação.

4.1 Fatura de energia

É preciso determinar um período de apuração, qual o consumo de energia, alíquotas de imposto, informações sobre o cliente, tensão de fornecimento e entre outros.

A fatura de energia elétrica vem com informações que a concessionária disponibiliza, o histórico de consumo também pode ser observado na mesma. Dados como endereço, tipo de fornecimento (monofásico, bifásico ou trifásico) e custo de disponibilidade serão de suma importância na instalação do sistema fotovoltaico (Academia do Sol, 2021).

4.2 Fator de correção

A energia real convertida pelas placas solares leva em consideração alguns índices de rendimento, quando analisados temos as perdas do nosso sistema. Esses fatores são importantes pois a partir deles é que teremos o fator de correção. Abaixo são listados os fatores relevantes para os cálculos (Academia do Sol, 2021):

- Perdas por temperatura - 7,0% até 18,0%
- Perdas Elétricas - 1,0% até 2,0%
- Cabeamento CC - 0,5% até 1,0%
- Cabeamento CA - 0,5% até 1,0%
- Acúmulo de sujeira - 1,0% até 8,0%
- Inversor - 2,5% até 5,0%

4.3 Inversor

Componente responsável por converter a corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA). Também chamado de conversor CC-CA. Uma de suas exigências de funcionamento é garantir a segurança do sistema e realizar a medição de energia produzida pelos painéis fotovoltaicos. O conversor mais utilizado é o “grid tie” pois conecta o sistema fotovoltaico à rede elétrica (Academia do Sol, 2021).

A potência em kWp do inversor, que é necessária para a instalação, depende da potência (Watts) do sistema que se deseja. Caso seja instalado um sistema de 5.0 kW sem a pretensão de aumento no número de painéis, aumentando assim a capacidade de geração do

sistema, deve-se utilizar um inversor de 5.0 kW. Em caso de aumento da potência instalada em um futuro programado deve-se utilizar um inversor de potência maior que a instalada (Academia do Sol, 2021).

4.3 Dimensionamento da geração fotovoltaica

O projeto para determinar a capacidade dos módulos instalados consiste em determinar a inclinação do arranjo e a determinação do número de módulos. Os parâmetros essenciais para o dimensionamento são:

- cálculo do consumo para a carga exigida
- radiação solar na superfície do painel
- perdas causadas por componentes adicionais

A determinação da energia gerada no painel solar pode ser especificada na Equação 3;

$$GT = \sum_{t=0}^n I_o \cdot A \cdot \eta \quad (3)$$

n - número de dias no ano

I_o - radiação média diária do mês (kWh/m².dia)

A - Área total de painéis fotovoltaicos

η - eficiência do painel solar

A metodologia apresentada serve para dimensionar sistemas de porte pequeno. Onde é possível determinar com base nos parâmetros o melhor sistema para a demanda necessitada (MIRANDA, 2014).

CAPÍTULO 5 – FATOR COMERCIAL E SUA VIABILIDADE

O custo de energia gerada pelos módulos fotovoltaicos deriva do custo de aquisição do kit, da estrutura de sustentação, terra e fundações (para módulos instalados no solo), custo com cabeamento, inversores, mão-de-obra entre outros (LIMA, 2016).

O custo para realizar uma instalação fotovoltaica pode ser considerado elevado ao ser comparado com outras fontes de energia convencionais, o custo de manutenção e operação é baixo devido ao sistema não possuir partes móveis. Embora o custo de um sistema de geração fotovoltaico seja elevado, o crescimento em investimentos por parte do governo e das empresas envolvidas na produção dos equipamentos vem crescendo exponencialmente, tornando assim um atrativo quando se decide por realizar um investimento em energia solar. Os avanços na tecnologia dos módulos exercem um aumento na eficiência da conversão de energia solar em energia elétrica, com o aumento de oferta e aprimoramento da produção de módulos é notório a diminuição nos preços dos kits fotovoltaicos. Na Figura 9 é mostrada a evolução dos módulos em relação a sua eficiência no período de 1978 até 1992 (FADIGAS, 2012).

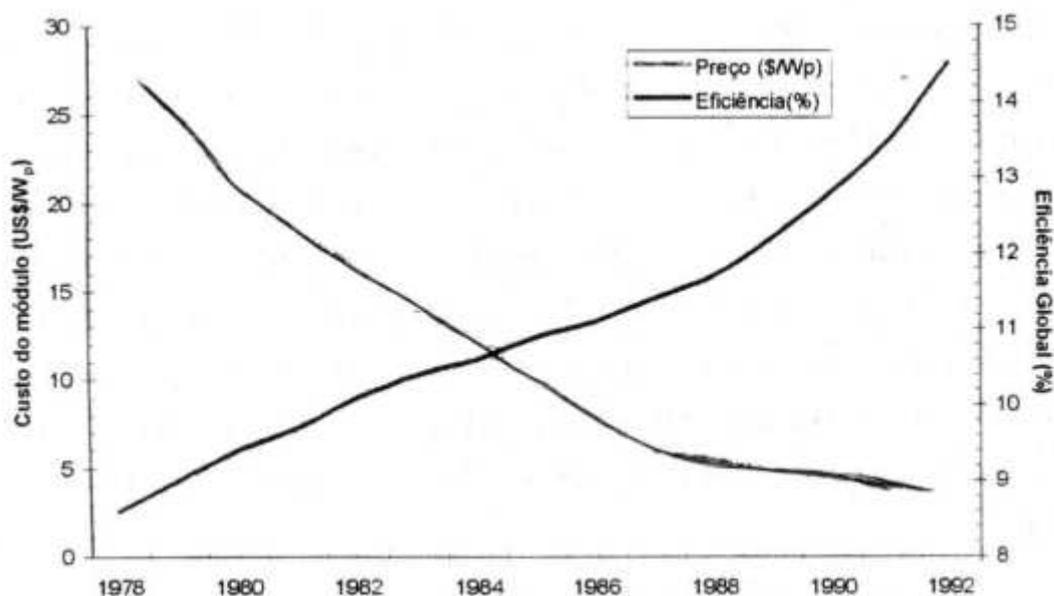


Figura 9 – Gráfico de comparação dos preços dos módulos e sua eficiência.
Fonte: Fadigas (2012).

O preço unitário de um módulo fotovoltaico utilizados em sistemas na grandeza de (kW) está na faixa de R\$ 2,50 /Wp, os módulos são vendidos em kits contendo as placas solares e um inversor. O custo é bastante atrativo para instalações em residências, para

bombeamento e aquecimento de água e para torres que utilizam suporte elétrico (MIRANDA, 2014).

5.1 Viabilidade econômica

Neste tópico serão apresentados os indicadores no estudo da viabilidade econômica, analisando os cálculos das variáveis e especificando um caso exemplo para modelar uma representação da teoria para a prática.

Para a realização do estudo de viabilidade econômica será utilizado a tarifa aplicada pela concessionária de Campina Grande - PB. Será utilizado o valor de *Payback* para demonstrar a viabilidade de um projeto de instalação fotovoltaica.

A análise de viabilidade econômica permite ao investidor a tomada da melhor decisão, considerando o retorno real e a obtenção de lucro. O mercado de energia solar pode ser considerado a melhor opção para a demanda futura de energia, considerando a sua disponibilidade, acessibilidade, capacidade e eficiência comparada a outras fontes de energia renovável (FONTELES, 2019).

Neste estudo de viabilidade econômica foi considerado a taxa de reajuste da tarifa de energia elétrica, que é ajustada a partir do índice RTA (Revisão Tarifário Anual) e depende do IGPM (Índice Global de Preço de Mercado), possibilitando realizar uma estimativa de reajuste de 10% ao ano. Para questões de análise, foi considerado o decaimento de produção de energia do sistema fotovoltaico em 0.8 % ao ano, segundo o *datasheet* das placas (MIRANDA, 2014).

Foi adotado como estudo uma residência em Campina Grande - PB, com um consumo médio de 350 kWh mensal, que nos fornece uma tarifa da concessionária Energisa (2022) de 0,51693 kWh. Contendo 10 placas solares de 450 Wp o sistema pode gerar até 4,5 kWp.

Na Tabela 1. é mostrado o custo total dos componentes e da instalação do sistema fotovoltaico, os valores serão utilizados para calcular a viabilidade econômica.

Tabela 1 – Análise de preços na instalação de um projeto fotovoltaico.

Fabricante	Modelo	Produto	Potência Total	Custo
JINKO	JKM450-60HL 4-V	Painel Fotovoltaico	4500 Wp	R\$ 13.753,50
GROWATT	MIN5000TL-X	Inversor	5000 W	R\$ 3.199,00
EMPRESA A	-	Equipamento de Instalação	-	R\$ 1.200,00
EMPRESA A	-	Mão de Obra	-	R\$ 1.600,00
EMPRESA A	-	Projeto	-	R\$ 2.000,00
			Total	R\$ 21.752,50

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

Os painéis utilizados são da marca JINKO, dispostos na Figura 10. Tendo uma potência no ponto máximo de 450 W e uma eficiência de 20,85%, segundo o *datasheet*. Suas dimensões são de 1903 mm × 1134 mm × 30 mm.

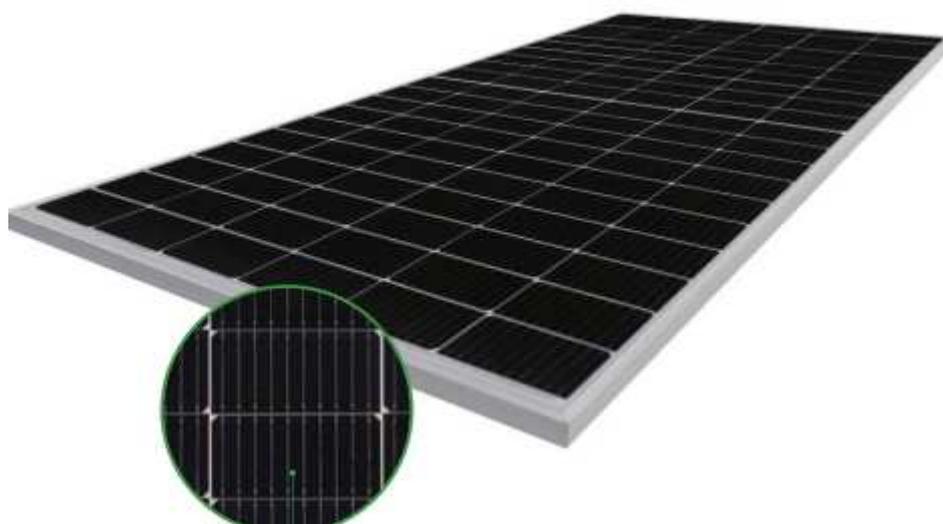


Figura 10 – Painel solar JINKO JKM450-60HL4-V.
Fonte: JINKO Solar (2022).

Para o inversor foi escolhida a marca GROWATT, mostrado na Figura 11. Tendo uma potência nominal de 5 kW e uma eficiência de 98,4%.



Figura 11 – Inversor GROWATT MIN5000TL-X.
Fonte: Aldo (2022).

5.1 *Payback*

O período necessário para obter o retorno do investimento feito para a instalação é chamado de *payback*. É um recurso para análise geral, não levando em consideração a correção monetária, financiamento ou riscos relacionados. Se trata do valor onde o lucro líquido é comparado com o valor aplicado. É muito utilizado pelo seu fácil entendimento, podendo ser realizado de forma rápida (MIRANDA,2014).

Na Tabela 2 foi calculado o *Payback* do investimento no caso proposto. No cálculo não foi considerada a taxa de correção monetária.

Para o cálculo de geração esperada foi utilizado a Equação 4. Baseando-se nesses valores foi calculado a depreciação do painel solar ao longo do período, sendo essa de 0,55% ao ano, de acordo com o datasheet. Foram também consideradas as perdas elétricas em 18%, causando a diminuição dos valores de geração aproveitados como receita (MIRANDA,2014).

A Equação 4 representa o modelo de payback utilizado;

$$Payback = \sum_{t=0}^n FC_n = I_o \quad (4)$$

n - número de anos

I_o - investimento inicial

FC_n - fluxo de caixa

A Tabela 2 mostra o payback da instalação proposta para análise de viabilidade.

Tabela 2 – Tempo de Retorno do Capital Investido.

<i>Payback</i>					
Ano	Geração com depreciação (kWh/ano)	Geração com perdas (kWh/ano)	Tarifa de energia elétrica (kWh)	Remuneração	Retorno
1	8665,91	7106,05	0,5169	R\$ 3.673,33	-R\$ 21.752,50
2	8618,25	7066,96	0,5686	R\$ 4.018,44	-R\$ 18.079,17
3	8570,85	7028,09	0,6255	R\$ 4.395,97	-R\$ 14.060,73
4	8099,45	6641,55	0,6880	R\$ 4.569,61	-R\$ 9.664,76
5	8054,90	6605,02	0,7568	R\$ 4.998,93	-R\$ 5.095,15
6	8010,60	6568,69	0,8325	R\$ 5.468,57	-R\$ 96,23
7	7966,54	6532,57	0,9158	R\$ 5.982,35	R\$ 5.372,35
8	7922,73	6496,64	1,0074	R\$ 6.544,39	R\$ 11.354,70
9	7879,15	6460,91	1,1081	R\$ 7.159,23	R\$ 17.899,08
10	7835,82	6425,37	1,2189	R\$ 7.831,84	R\$ 25.058,32
11	7792,72	6390,03	1,3408	R\$ 8.567,65	R\$ 32.890,16
12	7749,86	6354,89	1,4749	R\$ 9.372,58	R\$ 41.457,81
13	7707,24	6319,93	1,6223	R\$ 10.253,13	R\$ 50.830,39
14	7664,85	6285,17	1,7846	R\$ 11.216,41	R\$ 61.083,52
15	7622,69	6250,61	1,9630	R\$ 12.270,19	R\$ 72.299,93

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

A Figura 12 apresenta o gráfico demonstrativo de *Payback*, em que é possível visualizar o ponto de mudança onde o investidor tem o valor investido retornado, sem levar em conta a inflação, sendo o mesmo ponto onde seus investimentos vão gerar apenas lucros.

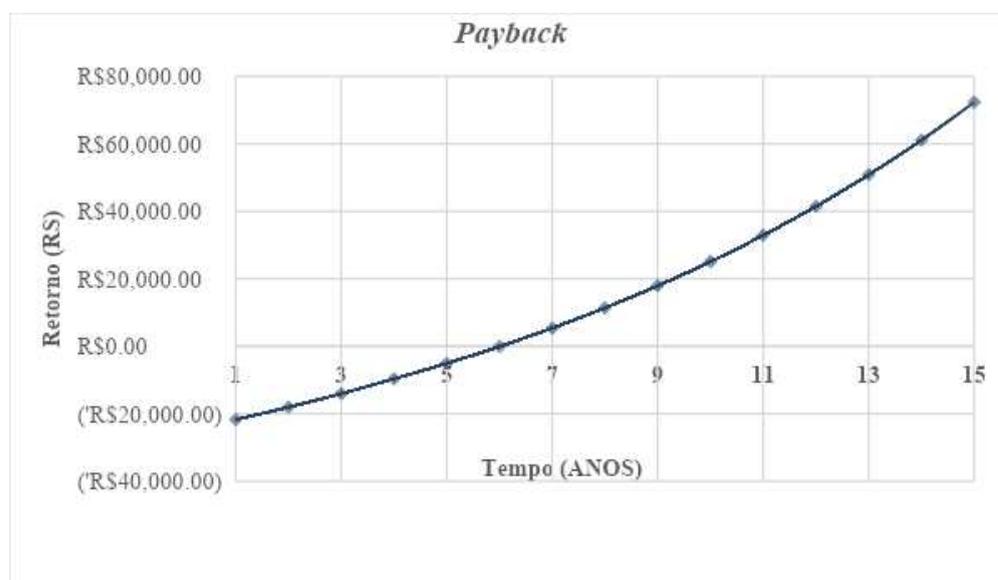


Figura 12 – Gráfico de Payback.
Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

No caso de estudo foi possível verificar que o retorno do valor investido se obtém entre 6 e 7 anos.

CAPÍTULO 6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Analisando a viabilidade econômica desenvolvida neste trabalho é possível considerar que a instalação de um projeto fotovoltaico é um ótimo investimento, considerando as taxas para um consumidor de baixo a elevado consumo de energia elétrica mensal, é possível perceber as vantagens na taxa de retorno, quanto maior o consumo menor será o tempo de *Payback* do investimento. Considerando a vida útil de uma placa que se estende até 25 anos, atingindo após este período uma eficiência de 80%, e o investimento realizado, o projeto mostrou-se com resultados positivos devido ao fato da recuperação do valor investido ser dado em quase um terço do tempo de vida útil das placas.

Como foi mostrado através da análise de Payback, para consumidores de sistemas fotovoltaicos, o retorno do investimento realizado é dado antes da meia vida do projeto. Isto por si só já demonstra a viabilidade econômica de um projeto de tal magnitude.

Ainda que a geração fotovoltaica conectada à rede elétrica esteja em constante crescimento no Brasil, mesmo que ainda em seu início, os estudos deste trabalho podem constatar a viabilidade de um projeto com painéis solares, o que trará grandes investimentos para o setor e o interesse por parte de grandes investimentos para melhorar ainda mais o setor de energia solar.

BIBLIOGRAFIA

Academia do Sol. O Guia: Energia Solar Por Completo. 51p. 2021. Disponível em: <[O Guia: Energia Solar Por Completo | Academia do Sol | download \(b-ok.lat\)](#)>. Acesso em: 15 de fev. de 2022.

BOXWELL, M. Solar Electricity Handbook: a simple, Practical Guide to Solar Energy - How to Design and Install Photovoltaic Solar Electric Systems. Greenstream Publishing. Ed 6. 197p. 2012. Disponível em: <[Solar electricity handbook: a simple, practical guide to solar energy - how to design and install photovoltaic solar electric systems \(2012 edition\) | Michael Boxwell | download \(b-ok.lat\)](#)>. Acesso em: 15 de fev. de 2022.

CHIRAS, D. Solar Electricity Basics: Powering Your Home or Office with Solar Energy. New Society Publishers. Ed 2. 224p. 2019. Disponível em: <[Solar Electricity Basics: Powering Your Home or Office with Solar Energy \(Revised and Updated 2nd Edition\) | Dan Chiras | download \(b-ok.lat\)](#)>. Acesso em: 16 de fev. de 2022.

ELDIN, S.A.; SHARAF; ABD-ELHADY, M.S.; KANDIL, H.A. Feasibility of solar tracking systems for PV panels in hot and cold regions. Renewable Energy. V85. p 228–233. 2016.

ENERGISA. Tipos de Tarifas. 2022. Disponível em: <<https://www.energisa.com.br/Paginas/informacoes/taxas-prazos-e-normas/tipos-tarifas.aspx>> Acesso em: 04 de mar. de 2022.

FADIGAS, E. A. F. A. Energia Solar Fotovoltaica: Fundamentos, Conversão e Viabilidade técnico-econômica. GEPEA — Grupo de Energia Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. p 22-92. 2012. Disponível em: <[Energia Solar Fotovoltaica: Fundamentos, Conversão e Viabilidade técnico-econômica | Eliane Aparecida Faria Amaral Fadigas | download \(b-ok.lat\)](#)>. Acesso em: 17 de fev. de 2022.

FONTELES, A. T. Viabilidade Econômica na Utilização de Painéis Solares Fotovoltaicos em uma Empresa do Agronegócio de Itaporã/MS. 29p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Contábeis), Universidade Federal da Grande Dourados, 2019.

LIMA, Tércio. MOREIRA, Maurício. Viabilidade Econômica da Instalação de Painéis Fotovoltaicos em Residências da Cidade de Caratinga/MG. 45p. Trabalho de Conclusão de Curso Superior de Engenharia Civil - Curso de Engenharia Civil. Faculdades Integradas de Caratinga, Rede DOCTUM, Caratinga, 2016.

MIRANDA, A. B. C. M. Análise de Viabilidade Econômica de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede. 98p. Projeto de Graduação. Rio de Janeiro: UFRJ / Escola Politécnica, 2014.

SOUZA, R. Os Sistemas de Energia Solar Fotovoltaica. BlueSol. 114p. 2016. Disponível em: <[Os Sistemas de Energia Solar Fotovoltaica | BlueSol | download \(b-ok.lat\)](#)>. Acesso em: 15 de fev. de 2022.

TIWARI, G. N.; TIWARI, A.; SHYAM. Handbook of Solar Energy: Theory, Analysis and Applications. Springer Singapore. Ed 1. 774p. 2016. Disponível em: <[Handbook of Solar Energy: Theory, Analysis and Applications | G. N. Tiwari, Arvind Tiwari, Shyam \(auth.\) | download \(b-ok.lat\)](#)>. Acesso em: 15 de fev. de 2022.

VILLALVA, M. G. Energia Solar Fotovoltaica — Conceitos e Aplicações - Sistemas Isolados e Conectados à Rede. Editora Saraiva. VI Ed 2. 228p. 2015. Disponível em: <[Energia Solar Fotovoltaica – Conceitos e Aplicações - Sistemas Isolados e Conectados à Rede | Marcelo Gradella Villalva | download \(b-ok.lat\)](#)>. Acesso em: 15 de fev. de 2022.

GRIMONE, J. A. Energia Solar Fotovoltaica — Notas de Aula - 2020. Disponível em: <<http://paineira.usp.br/sisea/wp-content/uploads/2020/02/Energia-Solar-Fotovoltaica-pme3561.pdf>>. Acesso em: 22 de mar. de 2022.

MORAIS, F.; MORAES, A.; BARBOSA, F. Technical-economic analysis of the first mini-generation photovoltaic system of Piauí, Brazil. **IEEE Latin America Transactions**, v. 17, p. 1706–1714, 2019.

SANTOS, J. C.; MIGLIANO, A. Estudo Do Sombreamento E Intempéries Para Melhor Aproveitamento E Eficiência Energética Dos Painéis Fotovoltaico. **Diálogos Interdisciplinares**, v. 9, p. 50-59, 2020.

NÚCLEO ATS. Projetos Fotovoltaicos. 2019. Disponível em: <[Projeto Fotovoltaico - Núcleo ATS Transformadores \(nucleoats.ind.br\)](#)> Acesso em: 22 de mar. de 2022.

JINKO SOLAR. Tiger Pro 60HC 440-460 Watt. 2022. Disponível em: <[JKM440-460M-60HL4-\(V\)-F1-PT.ai \(aldo.com.br\)](#)> Acesso em: 22 de mar. de 2022.

ALDO. Inversor Solar Fotovoltaico On Grid Growatt (57555-2). 2022. Disponível em: <[INVERSOR SOLAR FOTOVOLTAICO ON GRID GROWATT MIN5000TL-X 5KW MONOFASICO 220V 2MPPT MONITORAMENTO | Aldo Solar](#)> Acesso em: 22 de mar. de 2022.