



CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



Universidade Federal
de Campina Grande

AMAURY MARTINS CUNHA



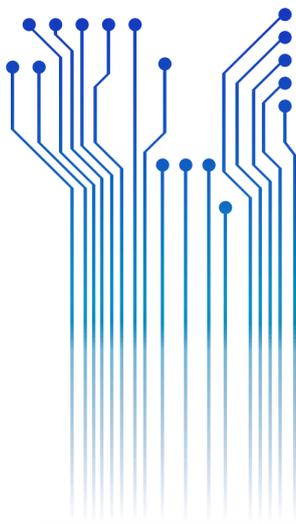
Centro de Engenharia
Elétrica e Informática

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ANÁLISE DA VIABILIDADE DE GERAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO: estudo
de caso residencial



Departamento de
Engenharia Elétrica



Campina Grande
2019

AMAURY MARTINS CUNHA

ANÁLISE DA VIABILIDADE DE GERAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO: ESTUDO DE CASO
RESIDENCIAL

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Coordenação de Curso de Engenharia Elétrica
da Universidade Federal de Campina Grande
como parte dos requisitos necessários para a
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Processamento de Energia

Orientador:
Professor Leimar de Oliveira, M. Sc.

Campina Grande
2019

AMAURY MARTINS CUNHA

ANÁLISE DA VIABILIDADE DE GERAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO: ESTUDO DE CASO
RESIDENCIAL

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Coordenação de Curso de Engenharia Elétrica
da Universidade Federal de Campina Grande
como parte dos requisitos necessários para a
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Processamento de Energia

Aprovado em / /

Professor Avaliador
Universidade Federal de Campina Grande
Avaliador

Leimar de Oliveira, M. Sc.
Universidade Federal de Campina Grande
Orientador, UFCG

Dedico este trabalho a meus pais, que
pacientemente acreditaram em mim e não
pouparam esforços para que eu cumprisse esta
missão.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, em primeiro lugar, por me conduzir durante esta caminhada e me mostrar que cada obstáculo é na verdade, uma oportunidade de aprimorar a mim mesmo.

Agradeço também aos meus pais, Robert e Tâmara, por todos os esforços que realizaram, para que eu pudesse chegar a este momento, estando sempre ao meu lado em todos os momentos.

Agradeço também ao meu orientador, prof. Leimar, que me aceitou como seu orientando, e me forneceu todo o apoio para que eu concluísse este trabalho.

Enfim, agradeço a todos que de alguma forma, passaram pela minha vida e contribuíram para a construção de quem sou hoje.

“O que faz andar o barco não é a vela enfunada, mas o vento que não se vê.”

Platão

RESUMO

Durante muitos anos a humanidade concentrou suas atenções em fontes de energia provenientes de combustíveis fósseis, que possuem grande impacto ambiental. Como forma de reduzir a emissão de gases poluentes na atmosfera e de aproveitar melhor as fontes de energia disponíveis na natureza, a energia fotovoltaica surgiu a poucas décadas e hoje aparece como uma possibilidade para a geração de energia elétrica. Este trabalho busca realizar um estudo sobre a energia solar. Para tanto foram realizadas pesquisas a respeito dos conhecimentos básicos que envolvem o assunto, bem como aprofundar o conhecimento técnico em projetos de instalação de módulos fotovoltaicos. Para o estudo foi escolhido uma residência no município de Teresina-PI e para tornar o projeto o mais confiável possível foram levados em consideração aspectos como: perdas do sistema, inflação, área disponível, inclinação dos painéis e radiação solar na residência. Por fim, uma análise econômica foi realizada para definir se o projeto é viável ou não. Para isso foram utilizadas técnicas de economia como o *Payback* e o Valor Presente Líquido (VPL).

Palavras-chave: Painéis Fotovoltaicos, Dimensionamento de Sistemas, Viabilidade Econômica.

ABSTRACT

For many years mankind has focused its attention on energy sources from fossil fuels that have great environmental impact. As a way to reduce the emission of pollutant gases in the atmosphere and to make better use of the available energy sources in nature, photovoltaic energy emerged a few decades ago and today appears as a possibility for the generation of electricity. This work seeks to conduct a study on solar energy. In order to do so, the research was carried out respecting the basic knowledge that involves the subject, as well as to deepen the technical knowledge in projects of installation of photovoltaic modules. For the study was chosen a residence in the municipality of Teresina-PI and to make the project as reliable as possible were taken into consideration aspects such as: system losses, inflation, available area, panel slope and solar radiation at the residence. Finally, an economic analysis was carried out to determine if the project is viable or not. For this, we used economy techniques such as Payback and Net Present Value (NPV).

Keywords: Photovoltaic Panels, Systems Design, Economic Feasibility.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Projeção da capacidade instalada e custos de energia solar para as próximas décadas.....	15
Figura 2 - Países que possuem mais energia solar instalada	15
Figura 3 - Imagem de Alexandre Becquerel.....	18
Figura 4 - Coletores fotovoltaicos em estação espacial internacional.....	19
Figura 5 - Matriz elétrica brasileira	20
Figura 6 – Corrente elétrica em função da diferença de potencial aplicada em uma célula fotovoltaica, sob condições-padrão de ensaio	22
Figura 7 - Influência da temperatura no módulo solar na curva I-V	23
Figura 8 - Representação de um sistema fotovoltaico conectado à rede (SFCCR).....	24
Figura 9 - Representação de um sistema isolado.....	25
Figura 10 - Símbolo do módulo fotovoltaico	25
Figura 11 - Placa de silício monocristalino e policristalino	26
Figura 12 - Módulos fotovoltaicos utilizando silício amorfo.....	27
Figura 13 – Inversor string do fabricante fronius	29
Figura 14 – Vista superior da localização do projeto	34
Figura 15 - Gráfico da irradiação solar no plano inclinado, Teresina-PI.....	36
Figura 16 - Imagem ilustrativa para o dimensionamento do telhado do projeto.....	37
Figura 17 – Imagem da residência.....	37
Figura 18 - Fatura de energia referente a jan/2019	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação entre os modelos de células fotovoltaicas	28
Tabela 2 - Irradiação solar no plano inclinado, Teresina-PI.....	35
Tabela 3 - Ângulo de inclinação recomendado	36
Tabela 4 – Estimativas de perdas do sistema	38
Tabela 5 - Especificações técnicas do módulo CSI CS6P-255P sob condições padrões de teste	41
Tabela 6 - Especificações do inversor CSI-3K-TL. Parâmetros de entrada.....	42
Tabela 7 - Especificações do inversor CSI-3K-TL. Parâmetros de saída	42
Tabela 8 - Especificações técnicas da string box Ecosolys	43
Tabela 9 - Fluxo de caixa do projeto	45
Tabela 10 - Análise do retorno financeiro método payback.....	46
Tabela 11 - Análise do retorno financeiro pelo método do VPL	47
Tabela 12 - Custo do projeto fotovoltaico	53

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
UFV	Usina Fotovoltaica
NBR	Norma Brasileira
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito
MME	Ministério de Minas e Energia
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i> (Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço)
IRENA	<i>International Renewable Energy Agency</i> (Agência Internacional para Energias Renováveis)
WADE	<i>Wade World Alliance for Decentralized Energy</i> (Aliança Mundial pela Energia Descentralizada)
HSP	Horas de Sol Pico
VPL	Valor Presente Líquido
V	Volt
A	Ampere
MW	Megawatt
kWh	Quilowatt-hora
GWh	Gigawatt-hora
Isc	Corrente de Curto Circuito
Voc	Tensão de Circuito Aberto
Wp	Watt-pico
B	Boro
P	Fósforo
Se	Selênio
Te	Telúrio
Si	Silício

SiO	Monóxido de Silício
CO ₂	Dióxido de Carbono
m-Si	Silício Monocristalino
p-Si	Silício Policristalino
a-Si	Silício Amorfo
CdTe	Telureto de Cádmio
CIS	Disseleneto de Cobre
CIGS	Índio e Gálio
UFVs	Usinas Fotovoltaicas
GPS	<i>Global Positioning System</i> (Sistema de Posicionamento Global)
DPS	Dispositivo de Proteção Contra Surto
ProGD	Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica

SUMÁRIO

1	Introdução	14
1.1	Objetivo	16
1.2	Motivação	16
1.3	Estrutura do trabalho.....	17
2	Referencial Teórico.....	18
2.1	Histórico da Energia Fotovoltaica	18
2.2	O Recurso Solar	19
2.3	Matriz Energética no Brasil	20
2.4	Geração distribuída	21
2.5	Características Elétricas	21
2.5.1	Curva I-V.....	21
2.5.2	Rendimento do Pannel Solar.....	22
2.6	Classificação dos Sistemas Fotovoltaicos.....	24
2.6.1	Sistema Conectado à Rede	25
2.6.2	Sistema Isolado	25
2.7	Módulos Fotovoltaicos	25
2.7.1	Silício Cristalino.....	26
2.7.2	Silício Amorfo Hidrogenado.....	27
2.7.3	Telureto de Cádmio (CdTe)	27
2.7.4	Disseleneto de Cobre, Índio e Gálio (CIS e CIGS).....	28
2.8	Inversores.....	28
2.9	Políticas Públicas	29
2.9.1	Resolução Normativa N° 678/2015 da ANEEL.....	29
2.9.2	Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD).....	29
2.10	Avaliação Financeira	30
2.10.1	<i>Payback</i>	30
2.10.2	Valor Presente Líquido (VPL).....	31
3	Materiais e Metodologia	33

3.1	Estrutura Metodológica.....	33
3.2	Descrição do Projeto	34
3.3	Dimensionamento	35
3.3.1	Inclinação, Posicionamento e Horas de Sol Pico (HSP).....	35
3.3.2	Rendimento do Sistema (η).....	38
3.3.3	Consumo Médio	39
3.3.4	Potência Total dos Painéis (W_p).....	40
3.3.5	Escolha do Módulo Fotovoltaico e Número de Módulos	41
3.3.6	Escolha do Inversor	42
3.3.7	Dispositivos de Proteção	42
3.3.8	Condutores CC	43
4	Análise dos Resultados.....	44
4.1	Payback.....	45
4.2	Valor Presente Líquido (VPL).....	46
5	Conclusões	49
	Referências	51
	APÊNDICE A - Orçamento do Projeto.....	53
	ANEXO A- Manual Canadian CSI-CS6P-255P.....	54
	ANEXO B - Manual Canadian Inversor CSI-3K-TL.....	56
	ANEXO C - Manual <i>String Box</i> EcoSolys.....	58

1 INTRODUÇÃO

Uma parcela considerável da produção de energia elétrica no mundo é proveniente de fontes poluentes e que causam grande impacto ambiental. Cada vez mais o mundo tem se conscientizado para este problema, uma vez que a produção de energia está intimamente relacionada com a destruição do meio ambiente e a escassez das fontes de energia não renováveis.

Paralelamente a este contexto, a demanda energética mundial tem aumentado cada vez mais, devido principalmente ao crescimento populacional e ao avanço tecnológico. Assim sendo, torna-se necessário a exploração de outras fontes de energia, que possam suprir essa demanda e atender as novas necessidades da população, como é o caso das fontes renováveis, que compõem fontes como a eólica, a solar e a biomassa.

No caso do Brasil, a inesperada escassez dos rios, que são responsáveis pela produção da energia das usinas hidroelétricas, obriga o governo a acionar as usinas termoelétricas, para cobrir a carência na produção de eletricidade. O problema é que o custo da energia proveniente das termoelétricas é bastante oneroso. Esse quadro fez o governo intensificar nos últimos anos, principalmente devido ao aumento da tarifa de energia elétrica, a produção de energias renováveis, sobretudo, eólica e solar.

A preocupação com o meio ambiente, os incentivos governamentais, o avanço da tecnologia de aproveitamento e a queda nos custos de produção vem tornando a energia solar cada vez mais competitiva no Brasil e no mundo. Silva (2015), destaca que dentre os tipos de energias renováveis utilizados no país, em virtude do alto potencial solar energético do Brasil, a geração fotovoltaica é uma das opções a se considerar para superar os desafios dos próximos anos do setor elétrico brasileiro, principalmente pelas vantagens que o sistema fotovoltaico oferece.

O alto custo de investimento da energia solar inviabilizou o seu crescimento nos primeiros anos. No entanto, o advento de novas tecnologias e o aperfeiçoamento do rendimento do sistema fotovoltaico, fez com que o custo diminuísse, tornando cada vez mais, um meio de produção de energia mais competitivo no mercado e uma realidade nos dias atuais.

A seguir, segundo dados de 2014 da EPE – Empresa de Pesquisa Energética, a Figura 1 mostra um panorama para as próximas décadas da capacidade instalada de energia solar, bem como o custo para sua instalação.

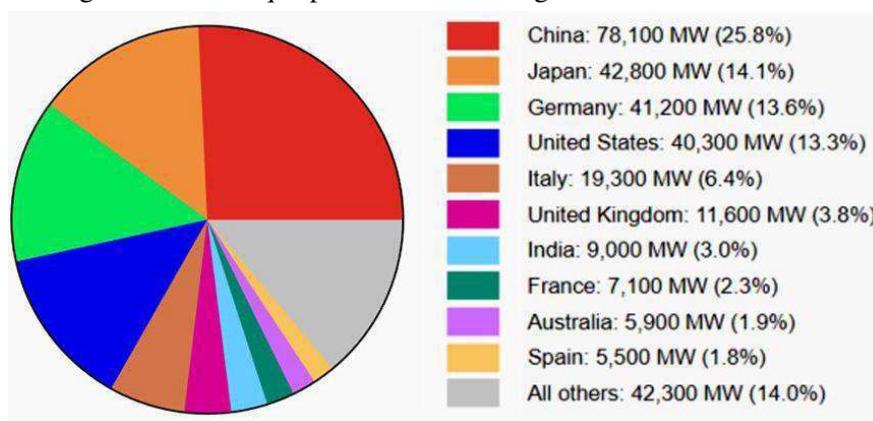
Figura 1 - Projeção da capacidade instalada e custos de energia solar para as próximas décadas



Fonte: EPE – Empresa de Pesquisa Energética (2014)

De acordo com dados aferidos em 2017, a produção de energia fotovoltaica é liderada pela China, com 78 MWS de capacidade instalada. Em segundo lugar, o Japão, com 42,8 MW, seguido da Alemanha, com 41,2 MW e Estados Unidos, com 40,3 MW. A Figura 2 mostra que no Brasil, a produção de energia solar ainda é reduzida e por isso não aparece na lista.

Figura 2 - Países que possuem mais energia solar instalada



Fonte: Portal solar

O Brasil ainda possui um baixo índice comparado aos países citados, de acordo com o relatório da ANEEL, o Brasil possui hoje, em média, cerca de 15 MW de potência instalada. A região mais bem servida de incidência solar no Brasil é a região nordeste, o que a torna privilegiada em comparação com as demais regiões do país.

O presente trabalho tem como objetivo analisar a viabilidade da geração de energia solar fotovoltaica para atender a uma residência, na cidade de Teresina-PI, na região nordeste do país.

1.1 OBJETIVO

Diante do panorama descrito e em virtude das vantagens de se instalar um sistema de energia fotovoltaico, este trabalho tem como objetivo dimensionar e analisar a viabilidade econômica de geração por meio de painéis fotovoltaicos em uma residência localizada na cidade de Teresina-PI.

1.2 MOTIVAÇÃO

O advento de novas fontes de energia pode causar dúvida ao consumidor, uma vez que se trata de um alto investimento de uma tecnologia inovadora que esta apenas iniciando no mercado. Naturalmente, algumas incertezas fazem parte deste meio, como o valor futuro da tarifa de energia e as flutuações no valor do investimento na instalação dessa tecnologia. Essas incertezas somadas a falta de informação da população a cerca do panorama do setor elétrico brasileiro e as políticas públicas atuais são pontos importantes na decisão de um consumidor comum.

Para aceitar o risco do investimento é necessário realizar um estudo prévio da viabilidade econômica do mesmo. Dessa maneira, fazendo uso das ferramentas financeiras é possível reduzir a margem de erro e os riscos ao investidor.

Outro ponto de significativa importância e que deve ser bastante analisado pelo o projetista diz respeito ao fabricante que irá escolher para o fornecimento dos equipamentos, a área disponível e a configuração do tipo de sistema fotovoltaico.

No tocante à configuração do sistema, existem diversas alternativas, onde as principais são: sistema isolado, sistema conectado à rede sem armazenamento de

energia ou sistema conectado à rede com armazenamento de energia (sistema híbrido ou misto).

Dessa maneira, a motivação para este trabalho é expor ao cliente a viabilidade de geração distribuída via a instalação de um sistema solar em sua residência, apresentando o estudo prévio do seu caso e levando em conta as particularidades do cliente. Ao final, analisar os resultados obtidos a fim de que possamos avaliar os aspectos mais relevantes da instalação de um sistema solar fotovoltaico.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho apresenta a seguinte distribuição dos conteúdos:

O Capítulo 1 é introdutório e apresenta uma contextualização do tema, abordando diversos aspectos técnicos, econômicos, nacionais e internacionais, apresenta a motivação, define os objetivos e apresenta a estrutura do trabalho.

No Capítulo 2 é realizado um estudo dos conceitos básicos no que diz respeito ao panorama mundial, a história da energia solar, principais tecnologias e componentes que compõem um sistema fotovoltaico.

No Capítulo 3 é realizado o dimensionamento do sistema fotovoltaico de uma residência.

No Capítulo 4 será verificada a viabilidade econômica do projeto e por fim, no capítulo 5 serão abordadas as conclusões e considerações finais.

O Capítulo 5 é conclusivo e apresenta os principais resultados do trabalho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O presente Capítulo busca introduzir conceitos básicos e pertinentes para que em seguida seja possível desenvolver o objetivo principal: realizar o estudo da viabilidade de geração de uma instalação de um sistema solar fotovoltaico.

2.1 HISTÓRICO DA ENERGIA FOTOVOLTAICA

Quem primeiro observou o efeito fotoelétrico foi o físico francês Alexandre Becquerel em 1839, que ao realizar experimentos envolvendo placas metálicas mergulhadas em uma solução ácida específica produzia uma corrente elétrica ao ser exposta a luz do sol.

Figura 3 - Imagem de Alexandre Becquerel



Fonte: Mendonça (2016)

Com os estudos em semicondutores progredindo, em 1954 foi produzida a primeira célula fotovoltaica de silício. Não tardou muito para que o governo americano se interessasse pela nova tecnologia que casou perfeitamente com as necessidades do programa espacial.

Figura 4 - Coletores fotovoltaicos em estação espacial internacional



Fonte: Mundo da educação

Hoje existem diversos materiais semicondutores que podem ser utilizados na fabricação de módulos solares, como por exemplo, Boro (B), Fósforo (P), Selênio (Se), Telúrio (Te), entre outros.

Já na década de 70, com a crise do petróleo e a consequente elevação dos custos sobre os combustíveis fósseis, o mundo logo viu que era necessário buscar outras fontes de energia, o que tornou a energia solar uma opção para atender as necessidades da sociedade. No entanto, os custos ainda eram elevados, o que tornou os investimentos no ramo solar limitados apenas para grandes empresas, a produção anual não passava de 1 MW.

Poucos anos depois o Japão e a Alemanha passaram a realizar grandes investimentos no setor, principalmente devido ao acordo de reduzir a emissão de CO_2 na atmosfera.

2.2 O RECURSO SOLAR

Todas as fontes de energia do planeta Terra tem a mesma origem em comum, o Sol. A radiação solar que chega até aqui mantém à vida no planeta da forma como a conhecemos. As reações nucleares que ocorrem no interior do Sol são responsáveis pela energia produzida, de acordo com PINHO (2014), a temperatura no núcleo do Sol pode

chegar a 15 milhões de kelvin e é onde a energia de fato é produzida e transferida para as camadas superiores através de radiação.

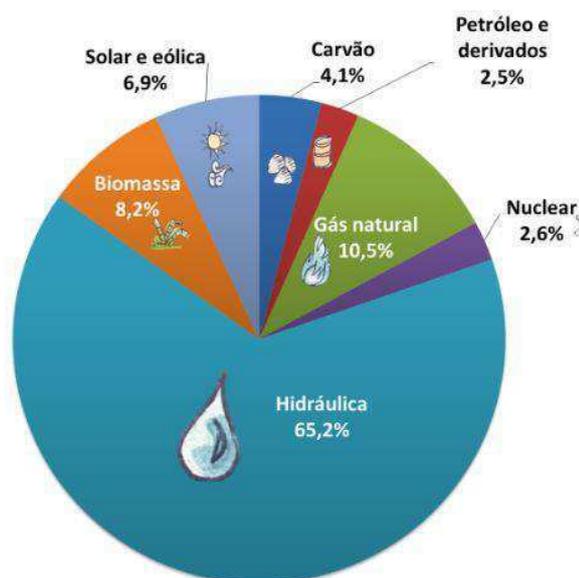
Na camada mais externa do Sol, a energia é liberada devido a reações termonucleares, onde quatro prótons são fundidos em um núcleo de hélio. Após essas reações a energia emitida é irradiada em todas as direções através de partículas energéticas conhecidas como fótons. Tais partículas viajam o espaço a uma velocidade de 300.000 km/s. De acordo com a NASA, estima-se que o Sol tenha reserva de hidrogênio suficiente para manter as reações nucleares por mais cinco bilhões de anos.

De acordo com CRESEB (1999), a cada segundo aproximadamente de 6×10^{11} kg de gás hidrogênio são convertidos em gás hélio e a cada ano, nosso planeta recebe $1,5 \times 10^{18}$ kWh de energia solar, o que é o suficiente para abastecer o nosso planeta durante dez mil anos.

2.3 MATRIZ ENERGÉTICA NO BRASIL

Matriz energética de um país representa o conjunto de fontes de energia ofertado no país para captar, distribuir e utilizar energia. É uma representação quantidade de recursos energéticos oferecidos por um país ou por uma região. O Brasil é o quinto maior país do mundo em extensão territorial e esta entre os dez maiores consumidores de energia do globo terrestre.

Figura 5 - Matriz elétrica brasileira



Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (2017)

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética, a matriz elétrica brasileira possui uma capacidade instalada de 144.504,258 MW, que estão distribuídas da seguinte forma: hidrelétrica 65,2%, gás natural 10,5%, biomassa 8,2%, solar e eólica 6,9%, carvão 4,1%, nuclear 2,6% e petróleo e derivados 2,5%.

É notável que grande parte da energia elétrica gerada no Brasil vem das usinas hidrelétricas. A energia eólica também vem crescendo bastante, contribuindo para que a matriz elétrica continue sendo, em sua maior parte, renovável.

2.4 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Utilizando o conceito da WADE (*Wade World Alliance for Decentralized Energy*), geração distribuída é a geração de energia elétrica feita perto do local do consumo, independente da sua dimensão, tecnologia ou da fonte primária de energia. Suas principais vantagens dizem respeito à redução de perdas nas linhas de transmissão e a possibilidade de cogeração de energia.

A energia solar pode ser aproveitada tanto através de sistemas centralizados como distribuídos. Um dos países pioneiros na sua utilização distribuída foi a Alemanha, seguido dos Estados Unidos. Ambos executaram projetos governamentais de incentivo a instalação de painéis solares em residências e, conforme o projeto foi se mostrando eficiente, os investimentos continuaram em larga escala.

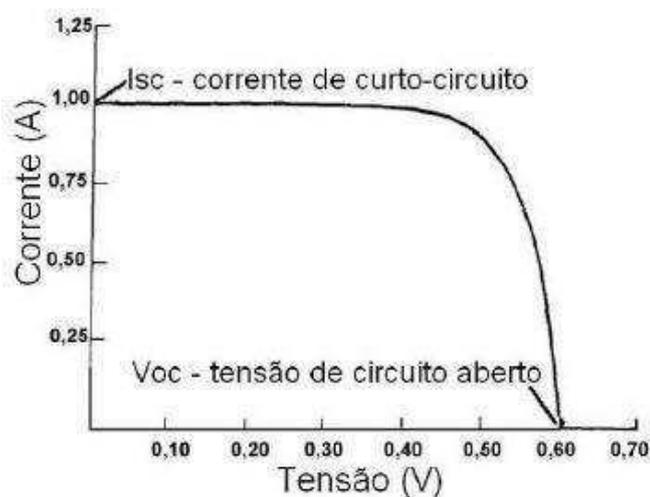
A energia excedente pode tanto ser armazenada em baterias, como pode ser injetada na rede elétrica já existente. O primeiro modelo é muito útil principalmente em regiões remotas onde a concessionária de energia ainda não tenha muito acesso, daí se faz necessário produzir sua própria energia independente do sistema de distribuição. O segundo modelo, onde o excedente de energia é automaticamente exportado para a rede elétrica, dispensando assim, o armazenamento de energia em baterias, isso por si só já reduz o custo de instalação do projeto em aproximadamente 30%, sem levar em conta que as baterias possuem uma vida útil de apenas dois anos em média.

2.5 CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS

2.5.1 CURVA I-V

As células fotovoltaicas possuem uma curva características que pode ser determinada analisando os diversos valores de corrente e tensão no módulo. Os principais parâmetros são: corrente elétrica de curto circuito (I_{sc}), tensão de circuito aberto (V_{oc}). A curva resultante é amplamente conhecida como Curva I-V.

Figura 6 – Corrente elétrica em função da diferença de potencial aplicada em uma célula fotovoltaica, sob condições-padrão de ensaio



Fonte: Cresesb (2005)

O ponto de operação do módulo pode variar por toda a curva traçada acima a depender da carga conectada. O ponto I_{sc} representa a corrente máxima que um módulo fotovoltaico pode fornecer. Para medir o ponto I_{sc} , basta curto circuitar os terminais do módulo e medir a corrente que flui com um amperímetro. Já o ponto V_{oc} , representa a máxima tensão entre os terminais de um módulo. É encontrada medindo a tensão nos terminais de um módulo fotovoltaico sem que este esteja alimentando uma carga, ou seja, esteja operando em circuito aberto.

2.5.2 RENDIMENTO DO PAINEL SOLAR

Assim como em todo equipamento, alguns fatores podem reduzir o rendimento do painel solar. Estes podem atuar internamente ou externamente ao módulo.

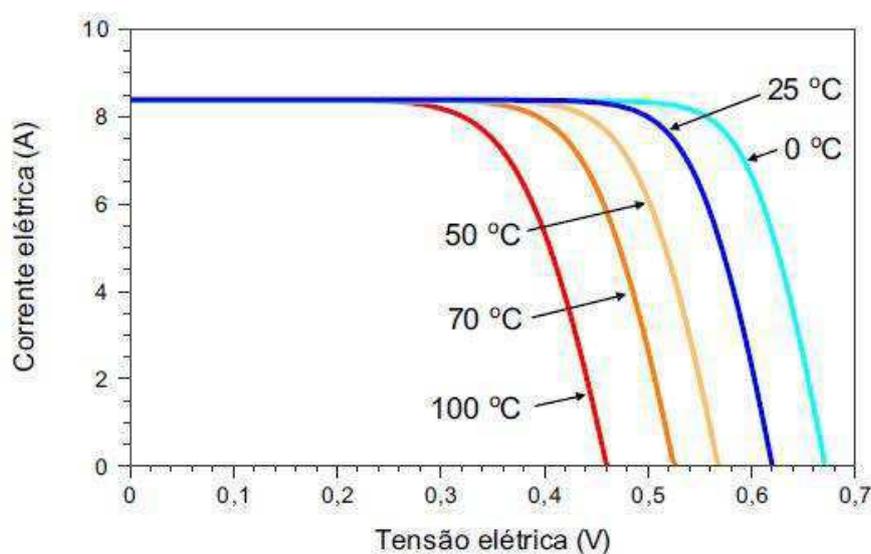
No que diz respeito aos fatores interno a placa, tem-se principalmente a atuação indesejável do reflexo do silício, tendo em vista que se trata de um material brilhante. Esse fator é prejudicial, pois atua como um espelho refletindo de volta cerca de 30% da luz incidente na placa, diminuindo a quantidade de fótons absorvidos. Para reduzir esse

efeito, aplica-se na fabricação do módulo, uma fina camada de monóxido de silício (SiO) na superfície da placa, o que reduz a reflexão para 10%. É possível aplicar uma segunda camada, o que reduz o reflexo para apenas 4%.

Um segundo fator que reduz a captação dos fótons é o contato elétrico entre as células, provocando um aumento da resistência elétrica. Logo, tiras de contato são conectadas em paralelo com toda a célula, para reduzir esse efeito.

Alguns fatores internos afetam as características de funcionamento da placa, como por exemplo, a temperatura do ambiente, que ao se elevar, aumenta a resistência da placa e, conseqüentemente, as perdas. Isso se deve ao fato de que, a tensão na placa reduz drasticamente conforme o aumento da temperatura, mas sua corrente não acompanha esse aumento. O Gráfico a seguir mostra a influência da temperatura sobre o painel solar.

Figura 7 - Influência da temperatura no módulo solar na curva I-V



Fonte: Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos (2014)

Naturalmente, fatores como poluição e sombreamento também exercem significativa influência no rendimento da placa, pois diminuem a captação dos fótons.

2.6 CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

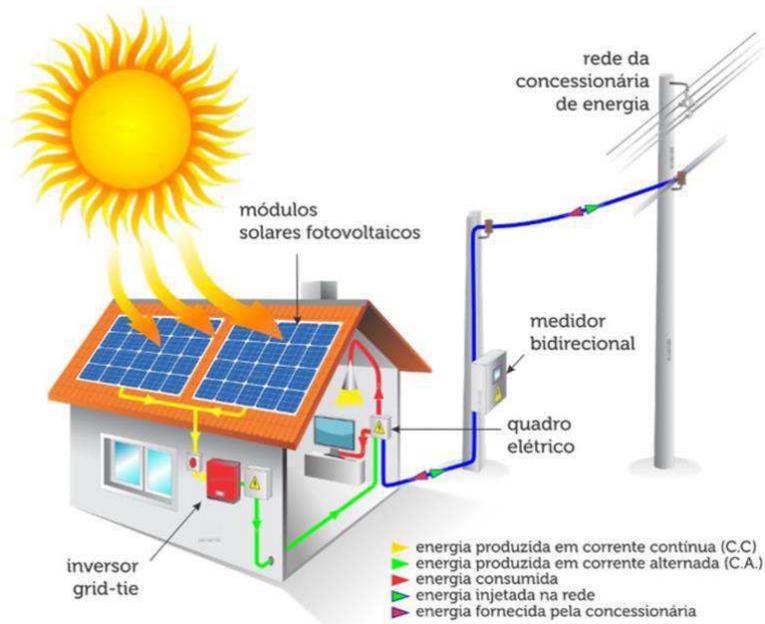
Como já mencionamos anteriormente, existem diversas configurações de sistemas fotovoltaicos, sendo as principais: sistemas conectados à rede e sistemas isolados.

2.6.1 SISTEMA CONECTADO À REDE

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede são formados, essencialmente, por módulos fotovoltaicos, inversor e um medidor bidirecional. Nesse caso, a energia gerada é injetada na rede, dispensando o uso de baterias e, conseqüentemente, reduzindo os custos do projeto. O medidor bidirecional realiza a medição da energia gerada versus a energia consumida, permitindo ainda, que o excedente na geração possa ser convertido em crédito de consumo em meses posteriores.

Esse modelo de sistema é muito adequado para residências, estabelecimentos ou consumidores de centros urbanos em geral. Vale ressaltar que o presente trabalho será projetado no modelo conectado à rede.

Figura 8 - Representação de um sistema fotovoltaico conectado à rede (SFCR)



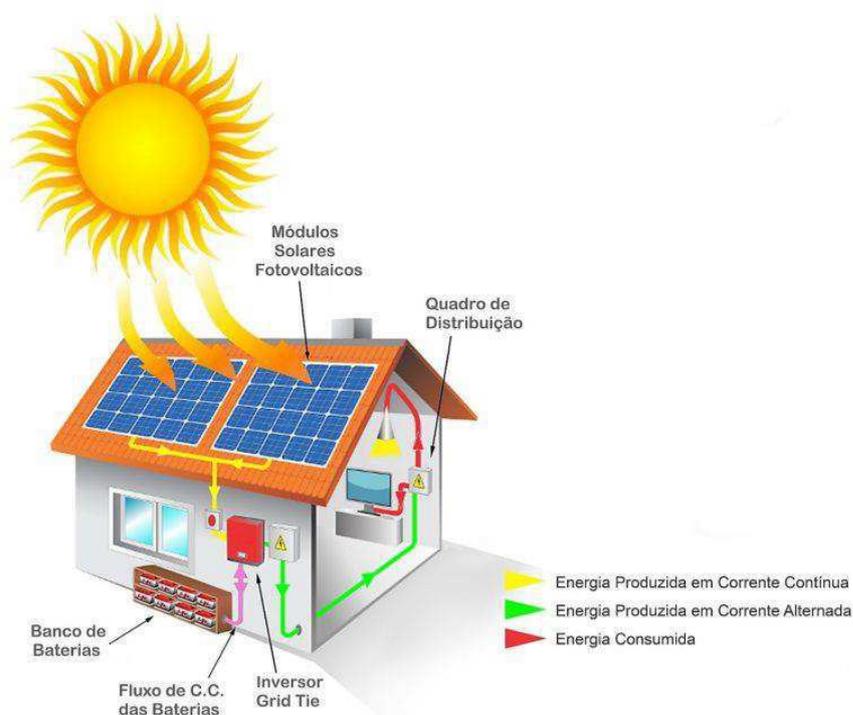
Fonte: Grid Solaris

2.6.2 SISTEMA ISOLADO

Como o próprio nome propõe, o sistema isolado não está conectado à rede e, portanto, necessita armazenar a energia produzida. Para isso, utiliza-se principalmente um banco de baterias. As baterias também funcionam como uma referência de tensão contínua, para os inversores formadores da rede do sistema isolado.

No sistema isolado se faz necessário a utilização do controlador de carga. Este equipamento é responsável por monitorar a bateria, evitando que ela possa ultrapassar os limites de segurança na sua carga ou descarga.

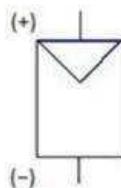
Figura 9 - Representação de um sistema isolado



Fonte: Grid Solaris

2.7 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Figura 10 - Símbolo do módulo fotovoltaico



Fonte: Solar Brasil

A Figura 10 representa o símbolo de um módulo fotovoltaico. As células fotovoltaicas são materiais sólidos capazes de converter a radiação solar em energia elétrica por intermédio do efeito fotovoltaico. As células fotovoltaicas são utilizadas em conjunto (36, 60 ou 72 células fotovoltaicas ligadas em série) formando o módulo fotovoltaico.

As principais tecnologias comercialmente disponíveis de painéis solares são descritas a seguir.

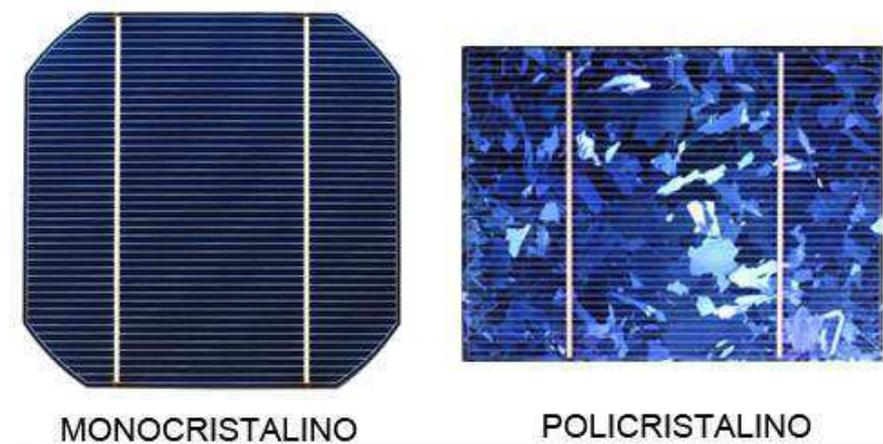
2.7.1 SILÍCIO CRISTALINO

O silício é o segundo material mais abundante na superfície do planeta (Ruther, 2004). Graças a sua abundância e a sua confiabilidade ele representa mais de 80% dos módulos fotovoltaicos disponíveis no mercado.

O silício monocristalino (m-Si) possui um transporte eficiente dos elétrons o que o torna mais eficiente. Possui uma ordem de pureza de 99,99% e é produzido em altas temperaturas (1440°C) o que torna o seu processo de fabricação mais oneroso.

Já o silício policristalino (p-Si), apresentar menor eficiência de conversão e um custo menor de produção, devido a seu processo de fabricação exigir temperaturas menores do que o processo de fabricação do monocristalino.

Figura 11 - Placa de silício monocristalino e policristalino



Fonte: Solar Energia

2.7.2 SILÍCIO AMORFO HIDROGENADO

Por não possuir estrutura cristalina, o silício amorfo possui vários defeitos em suas ligações, mas suas falhas são corrigidas a partir de um processo químico de hidrogenação, o que permite que os elétrons se movimentem mais livremente.

Ele é produzido em temperaturas relativamente baixas (cerca de 300°C), em processo de plasma, o que o torna um material mais flexível, leve, e versátil. Devido a essas qualidades o silício amorfo (a-Si) tem sido muito aproveitado em estruturas arquitetônicas.

Uma desvantagem que os painéis de silício amorfo apresentam, diz respeito a sua instabilidade frente a exposição solar, haja visto que sua potência elétrica decai em até 20% antes de estabilizar.

Figura 12 - Módulos fotovoltaicos utilizando silício amorfo



Fonte: Ruther (2004)

2.7.3 TELURETO DE CÁDMIO (CdTe)

É outra tecnologia de filmes finos. Portanto muito utilizado em projetos arquitetônicos. Não necessitam de muitos contatos metálicos em sua estrutura e possuem um custo de produção relativamente baixo

2.7.4 DISSELENETO DE COBRE, ÍNDIO E GÁLIO (CIS E CIGS)

Assim como os outros modelos de filmes finos, os painéis de CIS e CIGS possuem alto rendimento e baixo custo, porém são escassos na natureza e seu processo de fabricação é muito poluente.

A seguir temos uma tabela que compara a eficiência das principais tecnologias de módulos fotovoltaicos.

Tabela 1 - Comparação entre os modelos de células fotovoltaicas

Material	Eficiência		
	Máxima Teórica	Em Laboratório	Produção em Série
Silício Mono	24,7%	18%	14%
Silício Poli	19,8%	15%	13%
Silício Amorfo	15%	10,5%	7,5%
CIGS	18,8%	14%	10%
CdTe	16,4%	10%	9%

Fonte - Souza (2017)

2.8 INVERSORES

Um inversor é um dispositivo eletrônico que fornece energia elétrica em corrente alternada (CA) a partir de uma fonte de energia elétrica em corrente contínua (CC). A energia CC pode ser proveniente, por exemplo, de baterias, de células a combustível ou de módulos fotovoltaicos (PINHO, 2014).

Atualmente, existem três tipos de inversores: centrais, *strings* e microinversores. O primeiro grupo de inversores atende a potências de grande porte, normalmente são utilizados em usinas fotovoltaicas (UFVs). O segundo grupo é destinado a atender instalações de pequeno porte, como, por exemplo, residências ou estabelecimentos comerciais. São amplamente usados no Brasil. Por fim, o terceiro grupo de inversores foram projetos para atender cada módulo individualmente, isto simplifica o *desing* do projeto e economiza cabos. No momento, os microinversores ainda possuem um preço superior ao modelo *string*, mas a tendência do mercado é que eles se tornem mais baratos com o tempo.

Figura 13 – Inversor string do fabricante Fronius



Fonte: Mercado Livre

2.9 POLÍTICAS PÚBLICAS

Pode-se afirmar que são o conjunto de programas, ações e decisões tomadas pelo governo, com a participação, direta ou indireta, de entes públicos ou privados, que visam assegurar direitos de cidadania para um determinado grupo ou segmento social. Em outras palavras, visam garantir os direitos da Constituição.

2.9.1 RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 678/2015 DA ANEEL

Em 2015 a ANEEL implementou a Resolução Normativa 678, que teve como objetivo diminuir os custos e o tempo de espera para instalação de sistema fotovoltaico. O procedimento de registro de um sistema solar pelas companhias de energia, que antes durava 90 dias, foi reduzido para 35 dias.

Outra alteração diz respeito no período disponível de crédito de energia, antes de 2015, o consumidor tinha o seu excedente com validade de 36 meses, esse prazo foi ampliado para 60 meses.

2.9.2 PROGRAMA DE DESENVOLVIMENTO DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA DE ENERGIA ELÉTRICA (PROGD)

Com o intuito de ampliar e incentivar ainda mais o crescimento e investimento no uso de energias renováveis no Brasil, o Ministério de Minas e Energia (MME) lançou também em 2015 um programa que visa investir até 100 bilhões de reais na área de energias renováveis, até 2030.

2.10 ANÁLISE FINANCEIRA

A análise financeira caracteriza-se por um estudo da viabilidade e capacidade que um determinado projeto tem de gerar lucros. Utiliza-se de um conjunto de métodos para avaliar e diagnosticar um projeto. A análise financeira também ajuda na tomada de decisões para resolver possíveis problemas. Levando em conta que cada projeto possui suas especificações e para que o mesmo seja bem sucedido o maior número de detalhes características possíveis deve ser levado em consideração.

A área da administração e economia está sempre relacionada com o a engenharia. Um projeto pode ser bem sucedido do ponto de vista da execução, no que diz respeito á engenharia, mas pode ser sido mal calculado de tal forma que o custo real saiu bem mais elevado do que o esperado, pois o estudo econômico não foi realizado corretamente.

Para que um determinado projeto seja bem sucedido, deve ser eficiente e eficaz, e antes de tudo, as metas e os objetivos devem ser estabelecidos. Afinal, antes de tudo, precisamos saber aonde queremos chegar e como vamos fazer para alcançar esse objetivo.

Neste estudo, as técnicas econômicas utilizadas para analisar a viabilidade do projeto serão o *payback* e o valor presente líquido (VPL).

2.10.1 PAYBACK

O método do *payback* é uma forma simples, fácil e direta, que estima o prazo necessário para se recuperar o investimento realizado (BRUNI e FAMÁ, 2007). No mesmo sentido, Gitman (2010) afirma que o *payback* é o tempo necessário para que a empresa recupere o investimento inicial em um projeto, calculado a partir das entradas de caixa.

Para Samanez (2007), esse método possui algumas limitações. Como, por exemplo, não considerar o valor do dinheiro no tempo e considerar o fluxo de caixa somente durante o período de *payback* e não posterior.

É uma importante ferramenta no processo de tomada de decisões de um investimento, e como o mercado financeiro está sujeito a constantes oscilações, é necessário se ter uma previsão do tempo de retorno de um investimento.

Em suma, o método do *payback* tem como finalidade calcular o período necessário para obter-se o retorno do capital investido, de acordo com os fluxos de caixa gerados. Para Souza (2004), este método possui destaque devido a sua simplicidade e ampla utilização no mercado financeiro.

$Payback = n$, onde

$$\sum_{t=0}^n FC_n = I_o$$

n – Número de anos;

I_o – Investimento inicial;

R – Receita (valor anual);

FC_n – Fluxo de caixa do ano referência (R_n);

Os resultados obtidos devem ser analisados da seguinte forma: se o período do *payback* for menor do que o período máximo aceitável para a recuperação do investimento, o projeto é viável. Caso o período do *payback* for maior do que o período máximo aceitável, o projeto não é viável.

2.10.2 VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL)

O método do Valor Presente Líquido (VPL) tem como finalidade, em tempos de valor presente, demonstrar o impacto dos elementos futuros associados a um projeto ou uma alternativa de investimento, ou seja, mede o valor presente dos fluxos de caixa gerados pelo projeto ao longo de sua vida útil (SAMANEZ, 2005). Como o próprio nome sugere, o Valor Presente Líquido, resulta da adição de todos os fluxos de caixa na data zero ou data base.

O VPL é um método de análise de investimento que ocorre através da decisão associada em estimar os fluxos de caixas futuros, ou seja, um método para calcular a atratividade de um investimento. Pode-se calcular o VPL de acordo com a equação a seguinte equação.

$$VPL = -I + (VP_1) + (VP_2) + (VP_3) + \dots + (VP_n)$$

VPL = Valor presente líquido;

I = Investimento total;

VP₁ = Valor presente de todo o fluxo de caixa ao longo da vida útil do projeto;

Podemos definir o valor presente líquido de um investimento como a soma dos valores descontados do fluxo de caixa. É considerada uma das técnicas mais confiáveis o mercado financeiro, devido a sua característica de levar em conta o valor do dinheiro no tempo.

Para Samanez (2005), o método do VPL tem a finalidade de demonstrar o impacto dos elementos futuros associados a um projeto ou uma alternativa de investimento, ou seja, mede o valor presente dos fluxos de caixa gerados pelo projeto ao longo da sua vida útil.

$$VPL = -FC_0 + \sum_{k=1}^N \frac{FC_k}{(1+i)^k}$$

Onde,

k = períodos do horizonte de planejamento;

FC₀ = Investimento inicial;

FC_k = Fluxos de caixa referente a cada ano no horizonte de planejamento;

Após realizar os cálculos, definimos que: se o VPL for positivo, o projeto é viável, se for negativo, deve-se rejeitar o projeto.

3 MATERIAIS E METODOLOGIA

Neste trabalho será adotada uma metodologia quantitativa e qualitativa que de acordo com Zanella (2009) podem ser utilizadas em conjunto. Ademais, será apresentado também um estudo da viabilidade de geração de um sistema fotovoltaico para atender uma residência no município de Teresina-PI.

Para tanto, será levado em conta a área disponível, a radiação solar e os equipamentos do projeto.

3.1 ESTRUTURA METODOLÓGICA

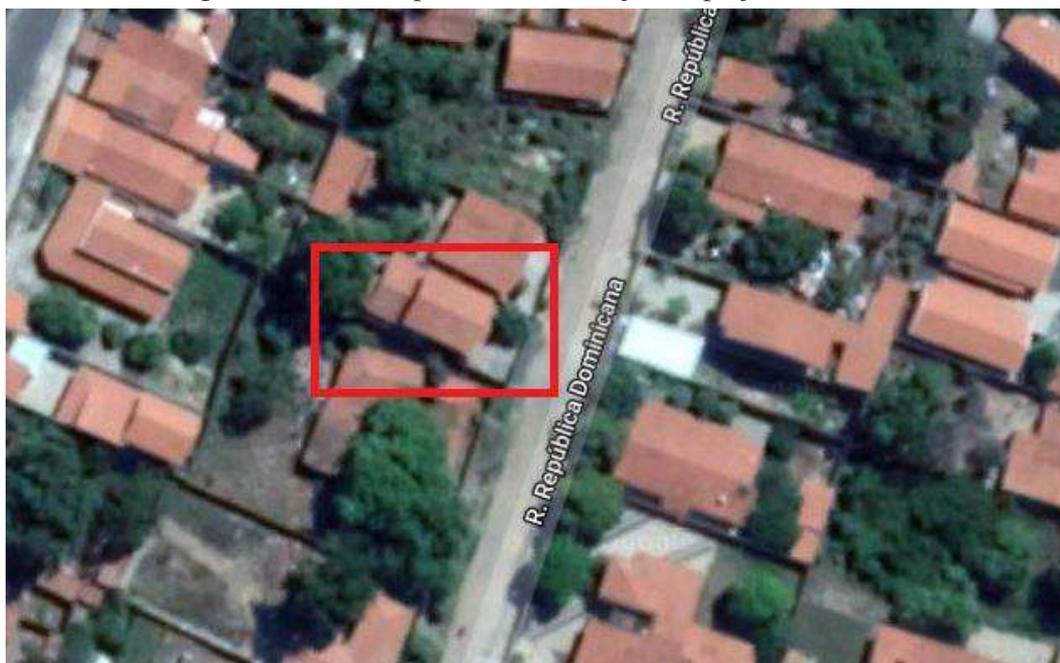
- a) **Localização:** primeiramente é necessário definir o local que será escolhido para o estudo. Como já foi mencionado anteriormente, iremos realizar o estudo em uma residência.
- b) **Radiação Solar:** é muito importante realizar uma análise confiável da radiação solar diária ao longo de todo o ano na região escolhida, pois a partir destes valores que vamos dimensionar as placas solares.
- c) **Posicionamento geográfico dos módulos fotovoltaicos:** Via de regra, os painéis solares serão instalados no telhado da residência, no entanto, as casas ou comércios, de modo geral, não são planejadas em função da melhor posição possível para receber os raios solares. Antes de instalar os painéis é preciso analisar bem a sua posição e sua inclinação a fim de que possa trabalhar com máxima eficiência possível.
- d) **Análise da tarifa de consumo:** Para projetar a potência desejada do projeto, é necessário ter em mãos o valor do consumo médio em kWh de pelo menos os últimos 12 meses. Pode-se conseguir isso facilmente através de uma tarifa de energia.
- e) **Parâmetros:** Nesta fase, deve-se definir a potência dos painéis, a quantidade de módulos, o modelo do inversor, a potência total do sistema e o custo do projeto.

- f) **Análise Financeira:** Nesta etapa, com posse dos dados anteriores, deve-se realizar um estudo da viabilidade de geração com base no *payback* e VPL.

3.2 DESCRIÇÃO DO PROJETO

A princípio, foi observado o local do projeto, o os seus possíveis pontos de sombreamento e sua área disponível. Como podemos observar na Figura 14, a residência possui um pavimento o que a afasta do sombreamento das árvores e dispõem também de um telhado suficientemente amplo para a instalação dos painéis solares.

Figura 14 – Vista superior da localização do projeto



Fonte: Próprio autor

O ponto de instalação dos painéis será de acordo com os níveis de insolação e a posição geográfica do telhado, para que se tenha o máximo de aproveitamento do sistema. Serão levantados os custos do projeto e uma análise financeira para que se tenha conhecimento da sua viabilidade econômica. Todas as etapas do projeto devem estar de acordo com as normas de segurança vigentes.

3.3 DIMENSIONAMENTO

3.3.1 INCLINAÇÃO, POSICIONAMENTO E HORAS DE SOL PICO (HSP)

Como já foi mencionado, para que o projeto funcione com máxima eficiência possível, os painéis devem ser instalados em uma posição que evite o sombreamento e em uma inclinação adequada para receber o máximo de radiação solar durante o dia.

Utilizando o serviço de GPS do Google Maps, facilmente obtemos a localização geográfica exata da residência. Os dados obtidos são: Latitude 5.108104°Sul e Longitude 42.785132°Oeste.

A localização geográfica será útil para obter os níveis de radiação solar sobre o telhado da residência. Este dado é fornecido gratuitamente pelo software do SunData, que está disponível no site do CRESESB (Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito).

A Tabela 2 mostra a média dos dados de radiação solar sobre a região escolhida ao longo de todo o ano e a Figura 15 apresenta os valores graficamente.

Tabela 2 - Irradiação solar no plano inclinado, Teresina-PI

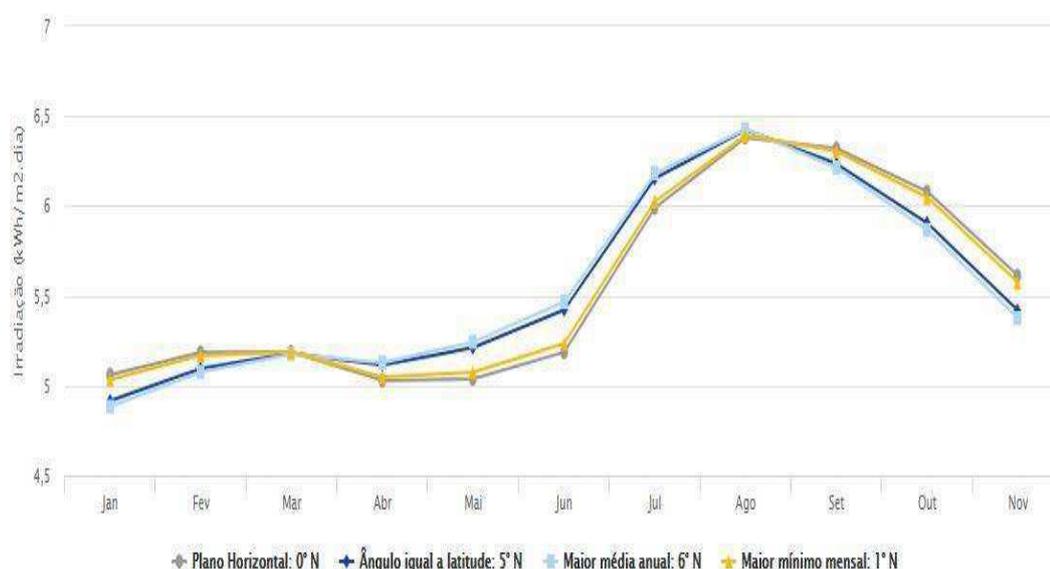
Ângulo	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]						
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.
Plano Horizontal	5,05	5,18	5,19	5,03	5,05	5,18	5,19
Ângulo igual a latitude	4,91	5,10	5,18	5,11	4,91	5,10	5,18
Maior média annual	4,88	5,08	5,17	5,13	4,88	5,08	5,17
Maior mínimo mensal	5,03	5,17	5,19	5,05	5,03	5,17	5,19

Continuação

Ângulo	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]					
	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Média
Plano Horizontal	5,03	5,05	5,18	5,19	5,03	5,54
Ângulo igual a latitude	5,11	4,91	5,10	5,18	5,11	5,56
Maior média annual	5,13	4,88	5,08	5,17	5,13	5,56
Maior mínimo mensal	5,05	5,03	5,17	5,19	5,05	5,55

Fonte: Cresesb (2019)

Figura 15 - Gráfico da irradiação solar no plano inclinado, Teresina-PI



Fonte: Cresesb (2019)

O valor de radiação solar média (HSP) é de 5,54 kWh/m² ·dia com um painel instalado a 0°N e será de grande importância no dimensionamento do projeto. Com posse desses dados e com o auxílio da Tabela 3, que foi retirada a partir de (Villalva e Gazoli, 2012), determina-se o ângulo de inclinação que os painéis devem ter de acordo com a Latitude da localização.

Tabela 3 - Ângulo de inclinação recomendado

Latitude geográfica do local	Ângulo de inclinação recomendado
0° a 10°	$\alpha = 10^\circ$
11° a 20°	$\alpha = \text{Latitude}$
21° a 30°	$\alpha = \text{Latitude} + 5^\circ$
31° a 40°	$\alpha = \text{Latitude} + 10^\circ$
41° ou mais	$\alpha = \text{Latitude} + 15^\circ$

Fonte: Villalva e Gazoli (2012)

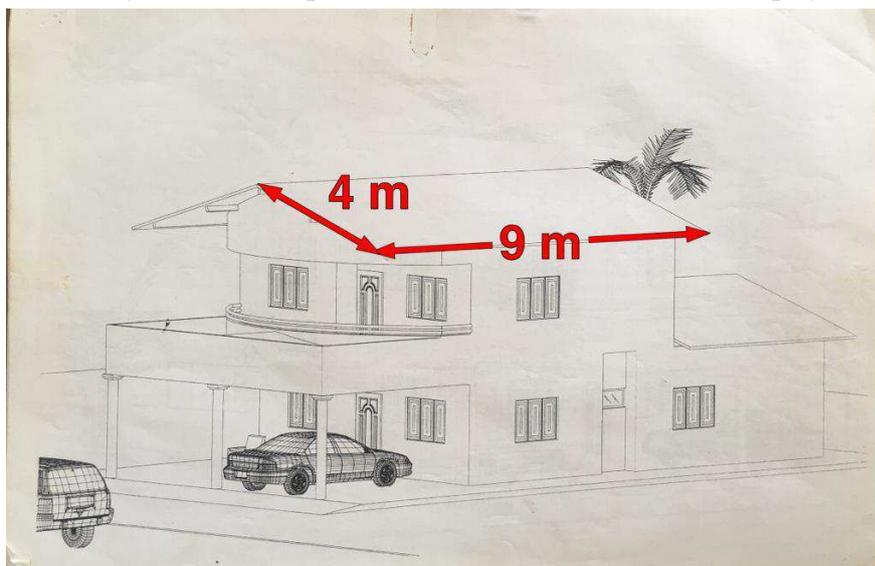
Da tabela acima é possível deduzir que para Latitudes entre 0° a 10°, que é o caso de Teresina, o ângulo de inclinação deve ser $\alpha = 10^\circ$.

Para que se tenha o máximo de aproveitamento possível, os painéis devem estar orientados na direção do norte geográfico, pois estando nessa posição irão receber radiação solar durante todo o período de sol. Com o auxílio de uma bússola podemos encontrar a posição do norte geográfico facilmente. Vale ressaltar que a bússola aponta para o norte magnético, o que não necessariamente quer dizer que seja o mesmo ângulo do norte geográfico. O ângulo de desvio entre os dois nortes varia conforme o tempo e a posição, e pode ser determinado a partir da leitura da própria bússola.

Após encontrar a direção correta do norte geográfico com o auxílio do Google Maps concluímos que para que se tenha um maior aproveitamento da radiação solar devemos instalar os painéis solares no lado direito do telhado.

Observando o corte lateral da residência é possível calcular a área disponível no telhado, como mostram as Figura 16 e 17.

Figura 16 - Imagem ilustrativa para o dimensionamento do telhado do projeto



Fonte: próprio autor

Figura 17 – Imagem da residência



Fonte: próprio autor

Calculando a área do telhado (lado direito) onde serão instalados os painéis tem-se que:

$$A = 4 \text{ m} \times 9 \text{ m} = 36 \text{ m}^2$$

3.3.2 RENDIMENTO DO SISTEMA (η)

O rendimento do sistema está assoado a diversos fatores, dentre as principais tem-se as perdas por temperatura (7,0% - 18%), que ocorrem principalmente nos painéis solares, onde, por estarem expostos a radiação solar intensa, naturalmente aquecem, ocasionando perdas por efeito Joule. Tem se perdas devido à incompatibilidade elétrica (1,0% - 2,0%), que também é algo previsto e natural, pois mesmo as placas possuindo o mesmo processo de fabricação, nunca serão perfeitamente iguais, o que acarreta em pequenas perdas nas suas conexões. Outra causa de perdas é devido ao acúmulo de sujeira (1,0% - 8,0%), causadas normalmente pelo acúmulo de poeira ou folhas. Perdas no cabeamento CC (0,5% - 1,0%) e cabeamento CA (0,5% - 1,0%), que ocorrem também devido ao efeito Joule. Por fim, ocorrem as perdas do inversor (2,5% - 5,0%).

Levando em conta que o projeto irá atender uma residência, portanto irá utilizar poucos cabos, que o proprietário irá realizar a limpeza dos painéis a cada 5 ou 6 meses e levando em consideração as perdas devido ao aquecimento a estimativa de perdas será da seguinte maneira:

Tabela 4 – Estimativas de perdas do sistema

Perdas por temperatura	16,0%
Incompatibilidade elétrica	1,5%
Acúmulo de sujeira	2,0%
Cabeamento CC	1,0%
Cabeamento CA	1,0%
Inversor	4,0%

Fonte: Próprio autor

Para encontrar o rendimento total do sistema deve-se subtrair o percentual de cada perda isoladamente e em seguida multiplicar todos os fatores de perdas.

$$100\% - 16\% = 84\%$$

$$100\% - 1,5\% = 98,5\%$$

$$100\% - 2\% = 98\%$$

$$100\% - 1\% = 99\%$$

$$100\% - 1\% = 99\%$$

$$100\% - 4\% = 96\%$$

$$\eta = 84\% \times 98,5\% \times 98\% \times 99\% \times 99\% \times 96\% \cong 76\%$$

Por fim, encontra-se uma taxa de 76% para o rendimento do sistema solar. É importante acrescentar que essa é uma estimativa e que os valores não são constantes, haja visto que os fatores que influenciam na taxa de rendimento são estão sujeitos a oscilações constantemente.

3.3.3 CONSUMO MÉDIO

De posse da fatura mensal de Janeiro de 2019 foi avaliado o consumo médio mensal dos últimos 12 meses. Dessa maneira será possível ter o valor exato de consumo em kWh médio para que se possa dimensionar a potência do sistema fotovoltaico necessário. Como foi solicitado pelo cliente, o projeto será dimensionado para suprir 100% do consumo.

É importante deixar claro que o consumidor nunca terá sua conta de energia totalmente “zerada”, pois de acordo com a norma vigente da ANEEL n °414, o cliente não pode ficar isento do Custo de Disponibilidade da energia, que é o valor cobrado pelas concessionárias por disponibilizar a energia elétrica ao consumidor, afinal, para produzir e disponibilizar a energia constantemente é necessário um trabalho e existe um custo por isso. De acordo com a resolução já citada da ANEEL, o Custo de Disponibilidade é definido como:

I – 30kWh, para instalação monofásica

II – 50 kWh, para instalação bifásica

III – 100kWh, para instalação trifásica

Para que seja autorizado a instalação de um projeto fotovoltaico, a concessionária exige que a instalação do estabelecimento seja do tipo III (trifásica).

Voltando a questão do consumo médio mensal, a Figura 18 trás todas as informações necessárias.

Figura 18 - Fatura de energia referente a jan/2019

Eletrobras
Distribuição Piauí

COMPANHIA ENERGÉTICA DO PIAUÍ
Av. Maranhão 759 - Centro/Sul - Teresina - PI
CNPJ: 06.840.748/0001-89 | Insc. Estadual: 19.301.383-5
Nota Fiscal / Conta de Energia Elétrica - Série B-1
Regime especial de impressão autorizada pela SEFAZ/06/98

Nº da Nota Fiscal 016668645

A Tarifa Social de Energia Elétrica - TSEE foi criada pela Lei nº 10.438 de 26 de abril de 2002.

CONTA MÊS	VENCIMENTO	CONSUMO (kWh)	TOTAL A PAGAR (R\$)
JANEIRO/2019	25/01/2019	428	428,82

TAMARA MARTINS CUNHA
R. REPUBLICA DOMINICANA 940 931 TRES ANDARES
CPF: 00038693615300
CEP: 64.016-460 - TERESINA

DADOS DA LEITURA		DATAS DA LEITURA	
Atual:	60050	Atual:	18/01/2019
Anterior:	59622	Anterior:	20/12/2018
Constante de Multiplicação:	1,000	Próxima Leitura:	19/02/2019
Consumo Medido:	428	Emissão:	17/01/2019
Consumo Faturado:	428	Apresentação:	18/01/2019

Forma de Faturamento: NORMAL | Código de Irregularidade: | Dívida Consumo: 29

DADOS DA UNIDADE CONSUMIDORA					
Classe/Subclasse	Ligação	Número Medidor	Posto	Código Fat.	Média 12 meses
RESIDENCIAL	TRI	D101729		1.1.1.3	435

HISTÓRICO kWh		DESCRIÇÃO DA CONTA	
DEZ/18	385	CONSUMO	428 A R\$ 0,927099 = 396,79
NOV/18	581	CONTR. ILUMINACAO PUB. (CO&IP)	= 32,03
OUT/18	557		
SET/18	542		
AGO/18	537		
JUL/18	393		
JUN/18	392		
MAI/18	364		
ABR/18	326		
MAR/18	341		

TARIFA SEM TRIBUTOS:
0 A 428 - 0,620660

Fonte: Próprio autor

Com o intuito de facilitar o entendimento, a própria concessionária já fornece na fatura o consumo médio mensal dos últimos 12 meses e, além disso, apresenta a média desses valores. Como está destacado na figura acima, o consumo médio do último ano é de 435 kWh.

Como a instalação do cliente é trifásica, por definição o proprietário já deve pagar mensalmente o valor equivalente a 100 kWh, portanto, o dimensionamento deve ser feito para $435\text{kWh} - 100\text{kWh} = 335\text{kWh}$.

3.3.4 POTÊNCIA TOTAL DOS PAINÉIS (W_p)

Em seguida, para encontrando o consumo médio diário, sabendo que o valor de 335 kWh é uma média mensal.

$$E_{\text{geração}} = \frac{335\text{kWh}}{30 \text{ dias}} = 11,16 \text{ kWh/dia}$$

A potência necessária para suprir o consumo é encontrada por:

$$W_p = \frac{E_{\text{geração}}}{HSP \times \eta}$$

Substituindo os valores encontrados na equação, temos que:

$$Wp = \frac{11,16 \text{ kWh/dia}}{5,54 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{dia} \times 0,76}$$

$$Wp = 2,65 \text{ kWp}$$

O resultado acima representa a potência necessária para suprir o consumo de energia do cliente. Foi levado em consideração o rendimento estimado do sistema ($\eta = 76\%$), a fim de tornar o dimensionamento o mais próximo do real possível. A partir deste resultado e analisando os modelos de painéis solares disponíveis no mercado é determinado a quantidade de módulos necessários para suprir a demanda de energia.

3.3.5 ESCOLHA DO MÓDULO FOTOVOLTAICO E NÚMERO DE MÓDULOS

Deve-se escolher um módulo fotovoltaico para a execução do projeto. Foi analisado e a partir de um melhor custo benefício foi escolhido um módulo de 255 Wp . Este módulo é o modelo Canadian CSI CS6P-255P. É um modelo fabricado pela Canadian, que é uma das principais fabricantes de painéis solares em todo o mundo. Possui o selo do Inmetro Classe A e é ideal para projetos residenciais.

Tabela 5 - Especificações técnicas do módulo CSI CS6P-255P sob condições padrões de teste

Máxima Potência (P_m)	255 W
Tolerância	0/5 W
Voltagem de Máxima Potência (V_m)	30,2 V
Corrente de Máxima Potência (I_m)	8,43 A
Voltagem de Circuito Aberto (V_{oc})	37,4 V
Corrente de Curto-Circuito (I_{sc})	9,0 A
Voltagem Máxima do Sistema	1000 V
Eficiência do Painel	15,85 %
Coefficiente de Temperatura da Potência (P_m)	- 0,43 % / °C
Coefficiente de Temperatura da Corrente (I_{sc})	0,065 % / °C
Coefficiente de Temperatura da Voltagem (V_{oc})	- 0,34 % / °C
Temperatura Nominal de Operação de Célula	45 ± 2°C

Fonte: Canadian (2019)

Para calcular a quantidade de módulos basta dividir a potência total dos painéis (Wp) pela máxima potência de um módulo.

$$Quant. \text{ Módulos} = \frac{Wp}{P_m} = \frac{2,65 \text{ kW}}{255W} = 10,39 \text{ unidades}$$

Logicamente, como não é possível adquirir 10,39 módulos, o projetista deve optar por 10 ou 11 unidades. Iremos optar por 11 módulos.

3.3.6 ESCOLHA DO INVERSOR

De posse da potência total instalada é possível determinar o inversor adequado para o projeto. Após pesquisar sobre os principais modelos disponíveis no mercado, optou-se por escolher um modelo de inversor Canadian Solar com monitoramento – CSI-3K-TL, com potência nominal na saída de 3 kW e na entrada pode operar entre 2,5 kw e 3,4 kW. Este inversor possui um adicional que é uma interface de monitoramento *Wi-fi* que permite ao proprietário um acompanhamento em tempo real do sistema.

Tabela 6 - Especificações do inversor CSI-3K-TL. Parâmetros de entrada

Potência Fotovoltaica Nominal	3000 W
Máx. Potência PV Recomendada	3400 W
Máx. Tensão de Entrada	550 V
Tensão de Início	80 V
Faixa de Tensão CC	70 ~ 550 V
Faixa de Tensão de Trabalho	70 ~ 550V
Tensão Nominal	360V
Faixa de Tensão CC de Carga Total	250 ~ 550 V
Corrente de Entrada Máx	13 A
Número de Rastreadores MPP1	1

Fonte: canadian (2019)

Tabela 7 - Especificações do inversor CSI-3K-TL. Parâmetros de saída

Potência Nominal de Saída	3000 W
Máx. Potência de Saída	3000 W
Máx. Corrente de Saída	14,3 A
Voltagem Nominal CA	180~280 V
Frequência da Rede CA	50,60 Hz \pm 5 Hz
Fator de Potência	1
THD	< 3%

Fonte: Canadian (2019)

3.3.7 DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO

Recomendado se que inclua no projeto uma caixa de proteção (*String Box*). Este dispositivo contém todos os dispositivos de proteção para o sistema fotovoltaico

reunidos em uma caixa, o que facilita a instalação e garante a segurança do circuito como prevê a norma de segurança.

A *String Box* inclui dispositivo de proteção contra surto (DPS), fusíveis CC para isolar e proteger a *String* e uma chave seccionadora CC.

Tabela 8 - Especificações técnicas da *String Box* Ecosolys

Quadro Elétrico Dentro das Normas	IEC 61439 / ABNT NBR IEC 60439
Índice de Proteção Mínimo	IP66
Chave Seccionadora em Corrente Contínua com Corrente Nominal Mínima	32 A
Chave Seccionadora em Tensão Nominal Mínima	1000 V
Tensão DC Nominal do DPS	1000 V
Corrente Nominal do DPS	20 kA
Corrente Nominal Máx. do DPS	40 kA
Tensão Máx. de Pico do DPS	$\leq 3,5$ kV
Dimensões	3,0 kg
Garantia Contra Defeitos de Fabricação	1 ano

Fonte: Ecosolys (2019)

3.3.8 CONDUTORES CC

Sabe-se que a corrente a ser suportada pelo circuito deve ser igual a corrente de curto circuito dos módulos multiplicada por um fator de 1,25. No entanto, os fabricantes de sistemas fotovoltaicos padronizam os cabeamentos, o que facilita e simplifica o trabalho do projetista.

Para este projeto será utilizado condutores Exzhellent de 6,0 mm² que são próprios para instalação em energia solar e possuem o selo do Inmetro.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Após realizar um breve estudo dos conceitos básicos de energia fotovoltaica, dimensionar os equipamentos elétricos do sistema solar, de acordo com a posição geográfica e a fim de atender a demanda de consumo do cliente. Nesta sessão será realizada a análise da viabilidade econômica do projeto, para tanto deve se levar em consideração aspectos como o valor do investimento, a garantia e a vida útil dos equipamentos e a manutenção do sistema.

A economia fornece técnicas que possibilitam analisar a viabilidade econômica de um investimento. Dentre as várias possibilidades será abordado o *Payback* e o VPL.

Dentre os custos do projeto temos o custo do kit fotovoltaico, que incluem o inversor, os painéis, o cabeamento, a *string box* e o suporte de sustentação. Devido a baixíssima manutenção dos componentes que compõem o sistema, seu custo será desprezado, também será desconsiderado custos com construção civil ou elétrica, tais como adequações no ramal e quadro de distribuição.

A Tabela 9 contém informações necessárias para o cálculo do fluxo de caixa. Será estipulado um aumento médio anual da tarifa de 7%, o que é um valor razoável, tendo em vista que pode ser ainda maior.

Tabela 9 - Fluxo de caixa do projeto

Ano	Tarifa (kWh)	Consumo	Tarifa Mensal (R\$)	Custo de Disponibilidade (100kWh/mês)	Compensação Energética Mensal (R\$)	Compensação Energética Anual (R\$)
1º	0,927	435	403,25	92,7	310,55	3726,54
2º	0,991	435	431,09	99,1	331,99	3983,82
3º	1,056	435	459,36	105,6	353,76	4245,12
4º	1,121	435	487,64	112,1	375,54	4506,42
5º	1,186	435	515,91	118,6	397,31	4767,72
6º	1,251	435	544,19	125,1	419,09	5029,02
7º	1,316	435	572,46	131,6	440,86	5290,32
8º	1,38	435	600,30	138	462,30	5547,60
9º	1,445	435	628,58	144,5	484,08	5808,90
10º	1,5097	435	656,72	150,97	505,75	6068,99
11º	1,5744	435	684,86	157,44	527,42	6329,09
12º	1,6391	435	713,01	163,91	549,10	6589,18
13º	1,7038	435	741,15	170,38	570,77	6849,28
14º	1,7685	435	769,30	176,85	592,45	7109,37
15º	1,8332	435	797,44	183,32	614,12	7369,46
16º	1,8979	435	825,59	189,79	635,80	7629,56
17º	1,9626	435	853,73	196,26	657,47	7889,65
18º	2,0273	435	881,88	202,73	679,15	8149,75
19º	2,092	435	910,02	209,2	700,82	8409,84
20º	2,1567	435	938,16	215,67	722,49	8669,93

Fonte: Próprio autor

4.1 PAYBACK

De acordo com o que foi explicitado sobre *Payback* na seção 2.10.1, fazendo uso dessa ferramenta e a partir dos resultados obtidos na Tabela 9 a fim de analisar a viabilidade econômica do projeto. Para tanto será e considerando que o primeiro ano de uso do projeto será em 2019, é calculado o tempo que leva para recuperar o dinheiro investido.

Investimento – R\$ 15.288,80

Tabela 10 - Análise do retorno financeiro método payback

Ano	Compensação Energética Anual (R\$)	Capital Recuperado
1º	3726,54	3726,54
2º	3983,82	7710,36
3º	4245,12	11955,48
4º	4506,42	16461,90
5º	4767,72	21229,62
6º	5029,02	26258,64
7º	5290,32	31548,96
8º	5547,60	37096,56
9º	5808,90	42905,46

Fonte: Próprio autor

Dessa forma fica evidente que o investimento é totalmente recuperado a partir do 4º ano de operação. Tendo em vista que os equipamentos tem vida útil de em média 20 anos, o método do *Paybak* garante que o investimento é viável.

4.2 VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL)

Analogamente, o método do VPL, já discorrido na seção 2.10.2 será aplicado para averiguar a viabilidade econômica do projeto. Para isso é necessário levar em consideração a depreciação dos equipamentos, o fabricante informa que a taxa de decaimento é de 1,25% ao ano com capacidade de gerar energia em até 20 anos, que é uma estimativa bem razoável.

Na Tabela 11 é possível analisar o rendimento do sistema ao longo dos anos levando em conta sua depreciação.

Tabela 11 - Análise do retorno financeiro pelo método do VPL

Ano	Depreciação (%)	Compensação Energética Sem Depreciação (R\$)	Compensação Energética com Depreciação (R\$)
1º	1,25	3.726,54	3679,96
2º	2,50	3.726,54	3633,38
3º	3,75	3.726,54	3586,79
4º	5,00	3.726,54	3540,21
5º	6,25	3.726,54	3493,63
6º	7,50	3.726,54	3447,05
7º	8,75	3.726,54	3400,47
8º	10,00	3.726,54	3353,89
9º	11,25	3.726,54	3307,30
10º	12,50	3.726,54	3260,72
11º	13,75	3.726,54	3214,14
12º	15,00	3.726,54	3167,56
13º	16,25	3.726,54	3120,98
14º	17,50	3.726,54	3074,40
15º	18,75	3.726,54	3027,81
16º	20,00	3.726,54	2981,23
17º	21,25	3.726,54	2934,65
18º	22,50	3.726,54	2888,07
19º	23,75	3.726,54	2841,49
20º	25,00	3.726,54	2794,91

Fonte: Próprio autor

A última coluna da Tabela 11 evidencia o retorno do investimento a cada ano, durante um prazo de 20 anos, levando em conta a depreciação dos equipamentos a uma taxa de 1,25% ao ano. Para analisar se o projeto é viável será realizado o somatório do capital de retorno em 20 anos menos o valor investido. Para tanto será levado em conta uma inflação de 7% ao ano como no cálculo do *Payback*.

$$VPL = -FC_0 + \sum_{n=1}^N \frac{FC_k}{(1+i)^n}$$

Substituindo os valores na equação, tem-se que:

$$VPL = -15.288,80 + \sum_{n=1}^{20} \frac{FC_k}{(1+0,07)^n}$$

$$VPL = -15.288,80 + \frac{3679,96}{1,07^1} + \frac{3633,38}{1,07^2} + \frac{3586,79}{1,07^3} + \dots + \frac{2794,91}{1,07^{20}}$$

$$VPL = -15.288,80 + 56.839,57 = R\$ 41.550,77$$

Logo, como o resultado da equação é positivo, o projeto pode ser considerado economicamente viável. O método do VPL afirma que ao longo de 20 anos, o cliente terá uma economia de R\$ 41.550,77.

5 CONCLUSÕES

Por fim, levando em consideração o aumento na demanda de energia elétrica, a poluição proveniente da utilização de combustíveis fósseis e a escassez de fontes não renováveis tornam fontes alternativas de energia uma saída para todo o mundo. Graças ao avanço tecnológico hoje é possível captar a energia praticamente inesgotável do Sol para gerar energia.

Através deste trabalho foi possível aprofundar o conhecimento no ramo da geração de energia fotovoltaica. O objetivo foi projetar o sistema e analisar a sua viabilidade econômica, levando em conta o máximo de informações possível.

Conforme apresentado na Figura 16, o sistema de geração fotovoltaico projetado para uma residência no município de Teresina-PI, conta com um telhado de 36 m² direcionado para o Norte Geográfico, onde após analisar o consumo de energia do cliente (2,64 kWp) só será necessário a utilização de 18 m² do telhado.

O custo total do projeto será de R\$ 15.288,80 com garantia de retorno, segundo as técnicas de economia abordadas. O kit de geração solar conta com um inversor, 11 módulos fotovoltaicos de 255 Wp, cabos CA e CC, suporte para instalação dos painéis e uma *String Box* que contem os dispositivos de proteção necessários (fusíveis, DPS, disjuntor).

Para uma maior precisão nos cálculos foram consideradas as perdas do inversor, do cabeamento, dos painéis solares e pelo acúmulo de sujeira. Foi encontrada uma eficiência de 76% no sistema, o que é uma estimativa bem conservadora.

O sistema foi projetado para o modelo conectado à rede (*On-Grid*), pois era a escolha mais viável para o cliente. De acordo com o *Payback*, o retorno do capital investido será do 4º para o 5º ano de sua instalação, considerando uma inflação de 7% ao ano.

Resumindo, o investimento em um sistema de geração distribuída, através de energia solar aparece como uma solução viável e com baixo risco de investimento. É verdade que os custos de aquisição são elevados, o que o torna ainda pouco utilizado no Brasil. No entanto, o governo tem realizado políticas de incentivo para que os investimentos em energia fotovoltaica cresçam cada vez mais. A tendência é que com o

avanço tecnológico, esse sistema se torne ainda mais barato. Sem dúvidas, se trata de uma alternativa para o governo e a população no Brasil e no mundo.

REFERÊNCIAS

- CRESESB. **Potencial Solar - SunData**. Cresesb, 2019. Disponível em: <[http:// www.cresesb.cepel.br/index.php#data](http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data)>.
- PINHO, J.T.; GALDINO, M.A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPEL, 2014.
- VILLALVA, M.G.; GAZOLI, J.R. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações**. São Paulo: Érica, 2012.
- RUTHER, R. **Edifícios solares fotovoltaicos**. Florianópolis: Editora UFSC/LABSOLAR, 2004.
- GITMAN, L.J. **Princípios de administração financeira**. 10ª edição, São Paulo: Harbra, 2007.
- MIRANDA, A. **Análise de viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico conectado à rede**. Projeto de Graduação-UFRJ/Escola Politécnica/Curso de Engenharia Elétrica, Rio de Janeiro, Brasil, 2014.
- SOUZA, R. di. **Célula fotovoltaica - O Guia Técnico Absolutamente Completo**. Blue Sol, 2017. Disponível em: <<http://blog.bluesol.com.br/celula-fotovoltaica-guia-completo/>>.
- BRAGA, Renata. **Energia Solar Fotovoltaica: fundamentos e aplicações**. (Trabalho de Conclusão de Curso) - Escola Politécnica, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2008.
- OLIVEIRA, Camila. **Análise da viabilidade econômica de alternativas de sistemas fotovoltaicos para atender o bloco de Engenharia Elétrica do Centro de Tecnologia da UFPI**. (Trabalho de Conclusão de Curso) - Universidade Federal do Piauí. Piauí, 2016.
- SANTOS, Gustavo. **Projeto de uma central de climatização alimentada por células fotovoltaicas**. (Trabalho de Conclusão de Curso) - Universidade Federal de Campina Grande. Paraíba, 2017.
- EPE. **Energia renovável: hidráulica, biomassa, eólica, solar, oceânica**. Nota técnica, EPE, Rio de Janeiro. Fonte: www.epe.gov.br, 2016.
- FIGUEIREDO, C.; Maia, D.L.; Souza, D.C; Duarte, E.L.; Ventura, L.C.F.; Souza, R.A.; Barbosa, R.M.; Costa, T.S. **Energia solar: ativa e passiva**. Disponível em: <http://www.academia.edu/28572847/ENERGIA_SOLAR_ATIVA_E_PASSIVA>, 2016.
- SHAYANI, Rafael. **Medição do rendimento global de um sistema fotovoltaico isolado utilizando módulos de 32 células**. (Dissertação de Mestrado) – Universidade de Brasília. Distrito Federal, 2006.
- NEO SOLAR, Energias Renováveis. Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/loja>>, 2019.
- MUNDO EDUCAÇÃO <<https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/FISICA>>
- PORTAL SOLAR. Disponível em <<https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/top-7-paises-que-mais-usam-energia-solar.html>>
- SOLAR BRASIL. Disponível em <<http://www.solarbrasil.com.br/blog-da-energia-solar>>
- SOLAR ENERGIA. Disponível em <<https://pt.solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/tipos-celulas-fotovoltaicas>>
- MERCADO LIVRE. Disponível em https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-807118561-inversor-fronius-on-grid-galvo-modelo-201-potencia-20-kw-_JM

GRID SOLARIS. Disponível em < <http://gridsolaris.com.br/portal/servicos-2/sistema-off-grid/> >

GRID SOLARIS. Disponível em < <http://gridsolaris.com.br/portal/servicos-2/ongrid/> >

APÊNDICE A – ORÇAMENTO DO PROJETO

TABELA 12 - CUSTO DO PROJETO FOTOVOLTAICO

Descrição	Custo Unitário [R\$]	Quantidade	Custo Total [R\$]
Painel Solar Canadian, modelo CSI-CS6P-255P	649,00	11	7139,00
Inversor Canadian, modelo CSI-3K-TL	3749,00	1	3749,00
Suporte Painel Solar Telha Cerâmica 240W a 330W	589,00	6	3534,00
Par de Cabo Solar Exzhellent 6 mm - 1m	11,48	10	114,80
<i>String Box</i> CC EcoSolys	752,00	1	752,00
Custo do Projeto			R\$ 15.288,80

FONTE: PRÓPRIO AUTOR (2019)

ANEXO B - MANUAL CANADIAN CSI-CS6P-255P



*Black frame product can be provided upon request.

CS6P-250 | 255 | 260P

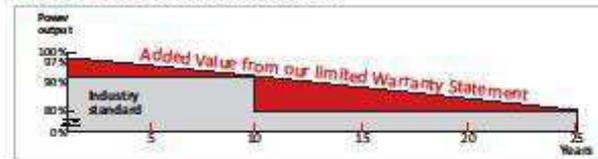
THE BEST IN CLASS

Canadian Solar's modules are the best in class in terms of power output and long term reliability. Our meticulous product design and stringent quality control ensure our modules deliver an exceptionally high PV energy yield in live PV system as well as in PVsyst's system simulation. Our accredited in-house PV testing facilities guarantee all module component materials meet the highest quality standards possible.

PRODUCT | KEY FEATURES

-  Excellent module efficiency up to 16.16%
-  High performance at low irradiance above 96.5%
-  Positive power tolerance up to 5w
-  High PTC rating up to 91.96%
-  Anti-glare module surface available
-  IP67 junction box long-term weather endurance
-  Heavy snow load up to 5400pa
-  Salt mist, ammonia and blown sand resistance, for seaside, farm and desert environment

PRODUCT | WARRANTY & INSURANCE



25 Year industry leading linear power output warranty
10 Year Product warranty on materials and workmanship

25 YEARS
WARRANTY
INSURANCE

Canadian Solar provides 100% non-cancellable, immediate warranty insurance.

PRODUCT & MANAGEMENT SYSTEM | CERTIFICATES*

IEC 61215 / IEC 61730: VDE/CE/MCS/JET/KEMCO/SII/CEC/AU/INMETRO/COQ/CGC
UL 1703 / IEC 61215 performance: CEC (listed (US) / FSEC (US Florida)
UL 1703: CSA | IEC 61701 ED2: VDE | IEC 62716: TÜV | IEC60068-2-68: S GS
PV CYCLE (EU) | UNI9177 Reaction to Fire: Class 1
ISO 9001:2008 | Quality management system
ISO 15189:2013 | The automotive industry quality management system
ISO 14001:2004 | Standards for environmental management system
QC080000:2012 | The certificate for hazardous substances process management
OHSAS18001:2007 | International standards for occupational health and safety



*Please contact your sales representative for the entire list of certificates applicable to your products.

CANADIAN SOLAR INC.

Founded in 2001 in Canada, Canadian Solar Inc., (NASDAQ: CSIQ) is the world's TOP 3 solar power company. As a leading manufacturer of solar modules and PV project developer with about 6 GW of premium quality modules deployed around the world in the past 13 years, Canadian Solar is one of the most bankable solar companies in Europe, USA, Japan and China. Canadian Solar operates in six continents with customers in over 90 countries and regions. Canadian Solar is committed to providing high quality solar products, solar system solutions and services to customers around the world.

www.canadiansolar.com
support@canadiansolar.com

Canadian Solar Inc.
345 Spadina Avenue West
Oshawa | Ontario N3K1E6 | Canada





ELECTRICAL DATA | STC

Electrical Data	CS6P-250P	CS6P-255P	CS6P-260P
Nominal Maximum Power (P _{max})	250 W	255 W	260 W
Optimum Operating Voltage (V _{mp})	30.1 V	30.2 V	30.4 V
Optimum Operating Current (I _{mp})	8.30 A	8.43 A	8.56 A
Open Circuit Voltage (V _{oc})	37.2 V	37.4 V	37.5 V
Short Circuit Current (I _{sc})	8.87 A	9.00 A	9.12 A
Module Efficiency	15.54 %	15.85 %	16.16 %
Operating Temperature	-40 °C ~ +85 °C		
Maximum System Voltage	1000V (IEC) / 1000V (UL) / 500V (UL)		
Maximum Series Fuse Rating	15 A		
Application Classification	Class A		
Power Tolerance	0 ~ +5 W		

*Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

ELECTRICAL DATA | NOCT

Electrical Data	CS6P-250P	CS6P-255P	CS6P-260P
Nominal Maximum Power (P _{max})	181 W	185 W	189 W
Optimum Operating Voltage (V _{mp})	27.5 V	27.5 V	27.7 V
Optimum Operating Current (I _{mp})	6.60 A	6.71 A	6.80 A
Open Circuit Voltage (V _{oc})	34.2 V	34.4 V	34.5 V
Short Circuit Current (I _{sc})	7.19 A	7.29 A	7.39 A

*Under Minimal Operating Cell Temperature (NOCT), irradiance of 800 W/m², spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

MODULE | MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Poly-crystalline, 6 inch
Cell Arrangement	60 (6 x 10)
Dimensions	1638 x 982 x 40mm (64.5 x 38.7 x 1.57 in)
Weight	18.5kg (40.8 lbs)
Front Cover	3.2mm tempered glass
Frame Material	Anodized aluminum alloy
Junction Box	IP67, 3 diodes
Cable	4mm ² (IEC) / 4 mm ² & 12AWG 1000V (UL 1000V) / 12AWG (UL500V), 1000mm (650mm is optional)
Connectors	MC4 or MC4 compatible
Standard Packaging	24pcs, 5.04kg (quantity and weight per pallet)
Module Pieces Per Container	672pcs (40'HQ)

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

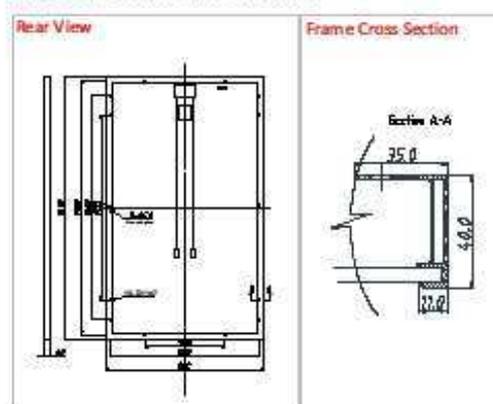
Specification	Data
Temperature Coefficient (P _{max})	-0.43 %/°C
Temperature Coefficient (V _{oc})	-0.34 %/°C
Temperature Coefficient (I _{sc})	0.065 %/°C
Nominal Operating Cell Temperature	45±2 °C

PERFORMANCE AT LOW IRRADIANCE

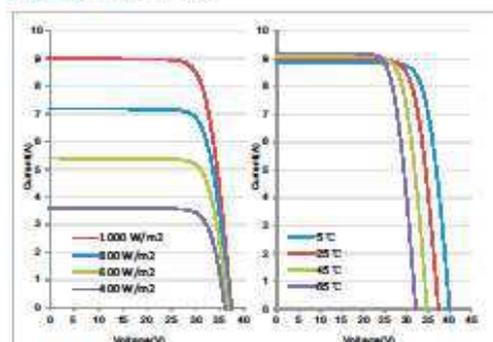
Industry leading performance at low irradiation, +96.5% module efficiency from an irradiance of 1000 W/m² to 200 W/m² (AM 1.5, 25 °C)

As there are different certification organizations in different markets, please contact your sales representative for the specific certification applicable to your products. The specifications and dimensions described in this datasheet may change at any time without notice. Due to ongoing innovation, research and product enhancement, Canadian Solar Inc. reserves the right to make any adjustments to the information described herein at any time without notice. Please always obtain the most recent version of the datasheet which shall be duly incorporated into the buying contract made by the parties governing all transactions related to the purchase and sale of the products described herein.

MODULE | ENGINEERING DRAWING



CS6P-255P | I-V CURVES



Partner Section

ANEXO C - MANUAL CANADIAN INVERSOR CSI-3K-TL



INVERSOR DE STRING MONOFÁSICO CSI-1.5K-TL | CSI-3K-TL

CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS

- Eficiência max. 97%, ampla faixa de tensão de entrada
- Interruptor interno CC
- Inversor sem transformador
- Design compacto
- Conexão de comunicação flexível: suporta RF, WiFi, Ethernet
- Controle de ruído



Garantia standard, extensão de até 10 anos

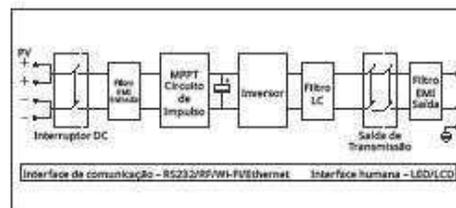
CURVA DE EFICIÊNCIA

CSI-1.5K-TL@220 Vac



TOPOLOGIA DO INVERSOR

CSI-1.5K-TL e CSI-3K-TL



CANADIAN SOLAR INC. está comprometida a fornecer produtos solares, soluções de sistemas solares e serviços de alta qualidade para clientes em todo mundo. Fabricante líder de módulos solares e desenvolvedora de projetos fotovoltaicos, com mais de 21 GW em módulos de mais alta qualidade instalados em todo o mundo desde 2001, Canadian Solar Inc. (NASDAQ: CSIQ) é uma das empresas de energia solar mais lucrativas do mundo.

* Para informações detalhadas, por favor, consulte o Manual de Instalação.

CANADIAN SOLAR (BRASIL) INC.

Av. Nações Unidas 11857, 14º andar | CEP 04578-908, São Paulo, Brasil | www.canadiansolar.com | sales.br@canadiansolar.com

DADOS TÉCNICOS		
NOME DO MODELO	CSI-1.5K-TL	CSI-3K-TL
ENTRADA CC		
Máx. Potência PV recomendada (STC)	1900 W	3400 W
Máx. Tensão de Entrada CC	450 V	550 V
Voltagem de Início	80 V	
Faixa de Tensão CC	70-450 V	70-550 V
Faixa de Tensão de Trabalho MPPT / Tensão Nominal	70-450 V / 250 V	70-550 V / 360 V
Faixa de Tensão CC de Carga Total MPPT	175-400 V	250-500 V
Corrente de Entrada Máx.	10 A	13 A
Corrente de Entrada Máx. String	10 A	13 A
Número de Rastreadores MPPT / Strings por MPPT	1 / 1	1 / 2
SAÍDA CA		
Potência Nominal de Saída CA	1500 W	3000 W
Máx. Potência de Saída CA	1650 W	3000 W
Máx. Corrente de Saída	7,8 A	14,3 A
Voltagem Nominal CA; Faixa	220, 230, 240 Vac; 180-280 Vac	
Frequência de Rede CA; Faixa	50,60 Hz; ±5 Hz	
Fator de Potência	1	
THDI	<3 %	
Conexão CA	Monofásico	
EFICIÊNCIA		
Eficiência Máx.	97 %	
Eficiência CEC	96,5 %	
Eficiência MPPT	99,5 %	
PROTEÇÃO		
CC Proteção Contra Polaridade Reversa	Sim	
Classificação do Interruptor CC para cada MPPT	Opcional	
Proteção Contra Sobrecorrente de Saída	Sim	
Proteção-Variador Contra de Sobresensão de Saída	Sim	
Monitoramento Contra Falha e Terra	Sim	
Monitoramento de Rede	Sim	
Unidade Integrada de Monitoramento com Sensibilidade Contra Fuga de Corrente Multipolar	Sim	
DADOS GERAIS		
Dimensões (L / A / P)	271 x 267 x 142 mm	271 x 320 x 142 mm
Peso	6,1 kg	8,8 kg
Faixa de Temperatura Operacional	-25°C ~ +50°C com queda acima de 45°C	
Emissão de Ruído (Típico)	≤25 dB(A)	
Altitude	3000m sem queda	
Autoconsumo a Noite	<0,5 W	
Topologia	Sem Transformador	
Ventilação	Natural	
Classificação de Proteção Ambiental	IP65	
Umidade Relativa	100%	
CARACTERÍSTICAS		
Conexão CC	H4	
Conexão CA	Conector	
Tela	LCD	
Interfaces: RS232 / RF / Wi-Fi / Ethernet	Sim / Opcional / Opcional / Opcional	
Garantia: 5 Anos / 10 Anos	Sim / Opcional	
CERTIFICADOS E APROVAÇÕES		
CE; VDE 0126-1-1; IEC 62109; GB3; AS4777; AS/NZS 3100; INMETRO		

A especificação e os principais recursos descritos nesta ficha técnica podem ser um pouco diferentes e não estão garantidos. Devido à contínua inovação, pesquisa e melhoria de produtos, a Canadian Solar Inc. reserva-se o direito de fazer modificações nas informações descritas neste documento a qualquer momento e sem aviso prévio. Sempre adquira a versão mais recente da ficha técnica, que deve ser devidamente incorporada ao contrato legal firmado pelas partes regulamentando todas as transações relativas à compra e venda dos produtos aqui descritos.

Atenção: Apenas para uso profissional. A instalação e manuseio de equipamentos PV requerem habilidades profissionais. Apenas profissionais qualificados devem realizá-la. Leia as instruções de segurança e instalação antes de usar os produtos.

ANEXO D - MANUAL STRING BOX ECOSOLYS

ecoString_{box}

ecoSolys - CC

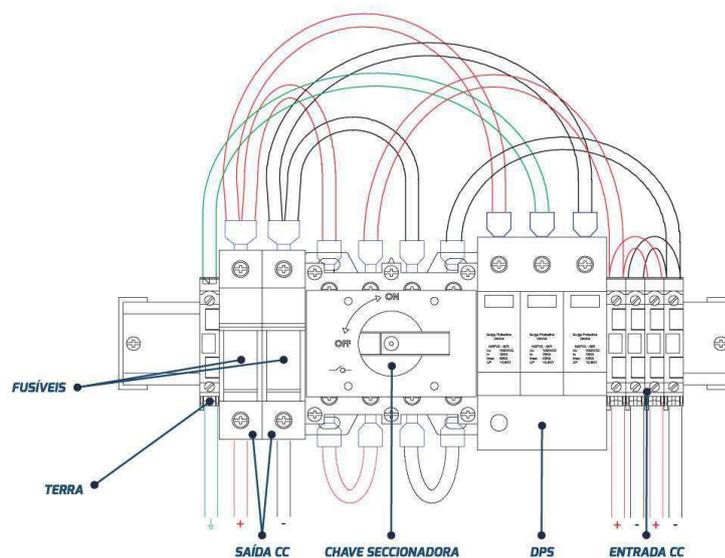
Extra proteção para seu sistema fotovoltaico.



A **ecoString-box** foi desenvolvida para garantir a proteção do circuito entre o módulo fotovoltaico e o inversor, cumprindo com todas as indicações de um quadro elétrico de proteção em corrente contínua. Esse quadro elétrico é composto por dispositivos de proteção dimensionados para intervir em caso de distúrbios elétricos no sistema.

ecoString_{box}

ecoSolys - CC



A String Box ecoSolys é composta de:

Quadro elétrico dentro das normas IEC 61439 e/ou ABNT NBR IEC 60439;

Índice de proteção mínimo: IP66;

Base porta fusível com fusíveis;

Chave seccionadora em corrente contínua;

Dispositivo de Proteção Contra Surto – DPS.

02 Fusíveis 10x38
Corrente: 15 A
Tensão: 1000 VDC

Chave seccionadora em corrente contínua
Corrente nominal mínima: 32 A
Tensão nominal mínima: 1000 VDC

DPS
Tensão nominal: 1000 VDC
Corrente nominal: 20 kA
Corrente máxima: 40 kA
Tensão de pico: $\leq 3,5$ kV

ecoSolys

Uma nova luz para a sustentabilidade

www.ecosolys.com.br

f @ecosolys @ecosolys @ecosolys