



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**THIAGO DE SOUZA DUARTE**

**ESTUDO DE VIABILIDADE DE UMA USINA SOLAR DE 5 MW COM TRACKER**

**FORTALEZA**

**2021**

THIAGO DE SOUZA DUARTE

ESTUDO DE VIABILIDADE DE UMA USINA SOLAR DE 5 MW COM TRACKER

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Cesar Marques de Carvalho

FORTALEZA

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

Universidade Federal do Ceará

Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

D875e Duarte, Thiago de Souza.

Estudo de viabilidade de uma usina solar de 5 MW com tracker / Thiago de Souza Duarte. – 2021.

58 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Elétrica, Fortaleza, 2021.

Orientação: Prof. Dr. Prof. Paulo Cesar Marques de Carvalho.

1. Usina Solar Fotovoltaica. 2. Estudo de Viabilidade. 3. Análise Financeira. 4. Tracker. I. Título.

CDD 621.3

---

THIAGO DESOUZA DUARTE

ESTUDO DE VIABILIDADE DE UMA USINA SOLAR DE 5 MW COM TRACKER

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Aprovada em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Paulo Cesar Marques de Carvalho (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

MSc. Mapse Barroso Ferreira Filho

---

MSc. Leonarda Feitosa Cajuaz Castro

A Deus.

Aos meus pais, Sulier e Silvania.

À minha irmã, Ticiane.

Aos meus amigos e professores.

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, Sulier e Sylvania, que me deram todo o suporte ao longo dessa árdua jornada.

À minha avó, Socorro, por todo o carinho e ajuda que teve comigo durante esses anos.

Aos meus amigos Gustavo, Paulo, Ricardo e Igor por me fazerem companhia durante esses longos anos de curso, por todos os projetos e dificuldades que enfrentamos e superamos.

Ao meu orientador, Paulo Carvalho, por me orientar durante esse trabalho.

A todo o time da FG Soluções em Energias, em especial a minha amiga Annalyanne, que contribuíram para minha formação profissional.

A todos os meus colegas da Universidade Federal do Ceará que compartilharam comigo essa caminhada.

Aos membros da banca, Mapse Barroso Ferreira Filho, que sempre foi um bom amigo e conselheiro. A Leonarda Feitosa Cajuaz Castro, por aceitar participar da minha banca.

“O conhecimento amplia a vida. Conhecer é viver uma realidade que a ignorância impede desfrutar.”

(Carlos Bernardo González Pecotche)

## RESUMO

O presente trabalho propõe a fazer um estudo de viabilidade, técnica e financeira, de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFCR), de 5 MW com o uso de sistema de seguidor solar a ser instalada em uma localidade no município de Pacajus, Ceará. A planta fotovoltaica (FV) fará uso de um seguidor solar de eixo único, o investimento inicial do projeto leva em consideração os custos de: equipamentos, comissionamento até sua montagem eletromecânica, para assim obter o custo total do investimento. Foi dimensionada uma usina FV de 6.250 kWp, contando uma potência nominal de 5.000 kW, onde serão utilizados 14.205 módulos de 440 Wp, sendo associados em uma *string* com 28 módulos, com isso o parque tem uma expectativa de geração FV anual de 11.388.000 kWh. As devidas análises financeiras do projeto foram realizadas usando os conceitos de Taxa mínima de Atratividade (TMA), Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Custo da Energia Nivelado (LCOE), e também a remuneração de seus acionistas supondo o lucro da usina FV através da tributação por Lucro Presumido. Foi considerando o financiamento de 75% do projeto por meio da linha FNE Verde do Banco do Nordeste. Para o modelo e condições simuladas foi estipulado um TMA de 7,2% ao ano, obtendo assim um VPL positivo, um valor de TIR maior que a TMA e um *Payback* Simples de mais de 10 anos.

**Palavras-chave:** Usina solar fotovoltaica, Estudo de viabilidade, Análise financeira, Tracker



## **ABSTRACT**

The present work proposes to make a study of technical and financial feasibility of a Photovoltaic System Connected to the Network (SFCR), of 5 MW with the use of solar tracker system to be installed in a locality in the municipality of Pacajus, Ceará. The photovoltaic (PV) plant will make use of a single-axis solar tracker, and the initial investment of the project takes into account the costs of equipment, commissioning and electromechanical assembly, to obtain the total cost of investment. A 6,250 kWp PV plant was dimensioned, counting a nominal power of 5,000 kW, where 14,205 440 Wp modules will be used, being associated in a string with 28 modules, thus the park has an expected annual PV generation of 11,388,000 kWh. The project's financial analyses were performed using the concepts of Minimum Rate of Attractiveness (MRAP), Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR) and Levelized Cost of Energy (LCOE), and also the remuneration of its shareholders assuming the PV plant's profit through taxation by Presumed Profit. A 75 % financing of the project through the Green FNE line of the Banco do Nordeste was considered. For the model and simulated conditions, an AAR of 7.2% per year was stipulated, thus obtaining a positive NPV, an IRR greater than the AAR, and a Simple Payback of more than 10 years.

**Keywords:** Photovoltaic solar plant, Feasibility study, Financial analysis, Tracker.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Relação de potência instalada e capacidade acumulada no mundo em 2019 .....	16
Figura 2 – Evolução da Fonte Solar Fotovoltaica no Brasil.....	17
Figura 3 - Irradiação média anual no Brasil.....	21
Figura 4 – Irradiação Global Horizontal Anual no Ceará .....	23
Figura 5 - Estrutura de bandas de energias em semicondutores.....	24
Figura 6 - Célula fotovoltaica de silício.....	24
Figura 7 - Exemplo de curva característica I x V.....	26
Figura 8 - Exemplo de curva característica P x V.....	26
Figura 9 - Variação da irradiância a 25°C na curva P x V.....	27
Figura 10 - Variação da temperatura com 1000W/m <sup>2</sup> na curva P x V.....	28
Figura 11 - Ilustração de um Sistema solar fotovoltaico conectado à rede.....	29
Figura 12 - Seguidor de eixo único Horizontal.....	31
Figura 14 – Seguidor de eixo vertical .....	32
(Figura 15 – Seguidor de elevação azimutal .....	32
Figura 16 – Irradiação Global Horizontal na localidade de Pacajus .....	35
Figura 17 – <i>Tracker</i> STI – H250 .....	37
Figura 18 – Divisão dos custos que compoem o OPEX.....	43
Figura 19 – Fluxo de Caixa .....	48

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Eficiência das células FV até 2020 .....	25
Tabela 2 -Características do local .....	34
Tabela 3 – Características do módulo fotovoltaico RISEN .....	35
Tabela 4 – Características do Inversor WEG.....	36
Tabela 5 – Características do <i>tracker</i> .....	37
Tabela 6 – Potência da Usina.....	40
Tabela 7 – Resumo da configuração dos inversores.....	41
Tabela 8 – Descrição do CAPEX.....	43
Tabela 9 – Premissas iniciais do projeto .....	45
Tabela 10 – Tributação por lucro presumido .....	46
Tabela 11 – Dados de entrada.....	47
Tabela 12 – Resumo dos indicadores financeiros .....	49

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABSOLAR	Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
CA	Corrente Alternada
CAPEX	Investimento inicial (do inglês, <i>Capital Expenditure</i> )
CC	Corrente Contínua
COEMA	Conselho Estadual de Meio Ambiente
COFINS	Contribuição Financeira Social
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica
CSLL	Contribuição Social sobre o Lucro Líquido
DDP	Diferença de Potencial
FIEC	Federação das Indústrias do Estado do Ceará
FV	Fotovoltaico
HSP	Horas de Sol Pleno
IEA	Agência Internacional de Energia (do inglês International Energy Agency)
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LCOE	Custo da Energia Nivelado (do inglês, Levelized Cost of Energy)
LIO	Licença de Instalação
LP	Licença Prévia
MMA	Mistério do Meio Ambiente
OPEX	Operação e Manutenção (do inglês, Operational Expenditure)
PMP	Ponto de Máxima Potência
REN	Resolução Normativa
SCADA	Sistemas de Supervisão e Aquisição de Dados (do inglês, Supervisory Control and Data Acquisition)
SELIC	Sistema Especial de Liquidação e de Custódia
SFCR	Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede
SISNAMA	Sistema Nacional de Meio Ambiente
STC	Condições Padrão de Teste (do inglês, Standard Test Conditions)
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
VPL	Valor Presente Líquido

Wp

Watt-pico

WRF

Previsão e Busca do Clima (do inglês Weather Research and Forecasting)

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	15
1.2 Objetivos .....	18
1.2.1 Objetivo Geral .....	18
1.2.2 Objetivo específico .....	18
1.3 Justificativa .....	18
1.4 Estrutura .....	18
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	20
2.1 Irradiância .....	20
2.1.1 Atlas Eólico e Solar do Ceará .....	21
2.2 Célula fotovoltaica .....	23
2.2.1 Efeito fotovoltaico .....	23
2.2.2 Tipos de Células Fotovoltaicas .....	25
2.3 Módulos Fotovoltaicos .....	25
2.4 Sistema Fotovoltaico .....	28
2.4.1 Componentes do Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede .....	29
2.4.1.1 Usinas FV com seguidor .....	30
3 METODOLOGIA E RESULTADOS .....	33
3.1 Projeto técnico da usina .....	33
3.1.1 Licenciamento ambiental .....	33
3.1.2 Potencial energético solar .....	34
3.1.3 Módulos fotovoltaicos .....	35
3.1.4 Inversor on-grid .....	36
3.1.5 Estruturas metálicas com <i>tracker</i> .....	36
3.1.6 Dimensionamento do sistema .....	39
3.2 Projeto financeiro da usina .....	41
3.3 Resultados .....	46
CONCLUSÕES .....	50
REFERÊNCIAS .....	51

## 1 INTRODUÇÃO

O tema fontes alternativas de energia ganhou bastante proporção e relevância após a crise do petróleo, na década de 1970, fazendo com que as grandes potências buscassem por outras fontes de energia além das obtidas através dos combustíveis fósseis. No Brasil, podemos citar um evento de grandes impactos no setor energético do país e ficou conhecido como O Apagão de 2001, em que, devido a pouca quantidade de chuva no ano, e à redução de investimentos no setor, até então composto em sua maioria por hidroelétricas, sofreu com sua pouca capacidade de suprir a demanda (O Globo, 2013).

Isso acendeu, ainda mais no país, a busca por fontes alternativas de energia, como forma de variar sua matriz energética e a busca por meios menos poluentes a natureza. Nos últimos 10 anos, as energias renováveis quadruplicaram no mundo, quando somente nesta década foram investidos mais de 2,5 trilhões de dólares. Isso foi possível graças a constante queda nos custos de suas tecnologias (G1, 2019).

O mercado de energia solar fotovoltaica (FV) no mundo está em constante expansão, somente no ano de 2019 foram instalados, pelo menos, 114,9 GW de sistemas FV, gerando assim uma capacidade instalada acumulada em torno de 627 GW (IEA, 2020). Nesse contexto, a China permanece líder em capacidade FV instalada, tendo instalado somente no ano de 2019 o equivalente a 30,1 GW, conforme

Figura 1, com seu valor acumulado equivale a praticamente um terço do acumulado no mundo.

Figura 1 – Relação de potência instalada e capacidade acumulada no mundo em 2019

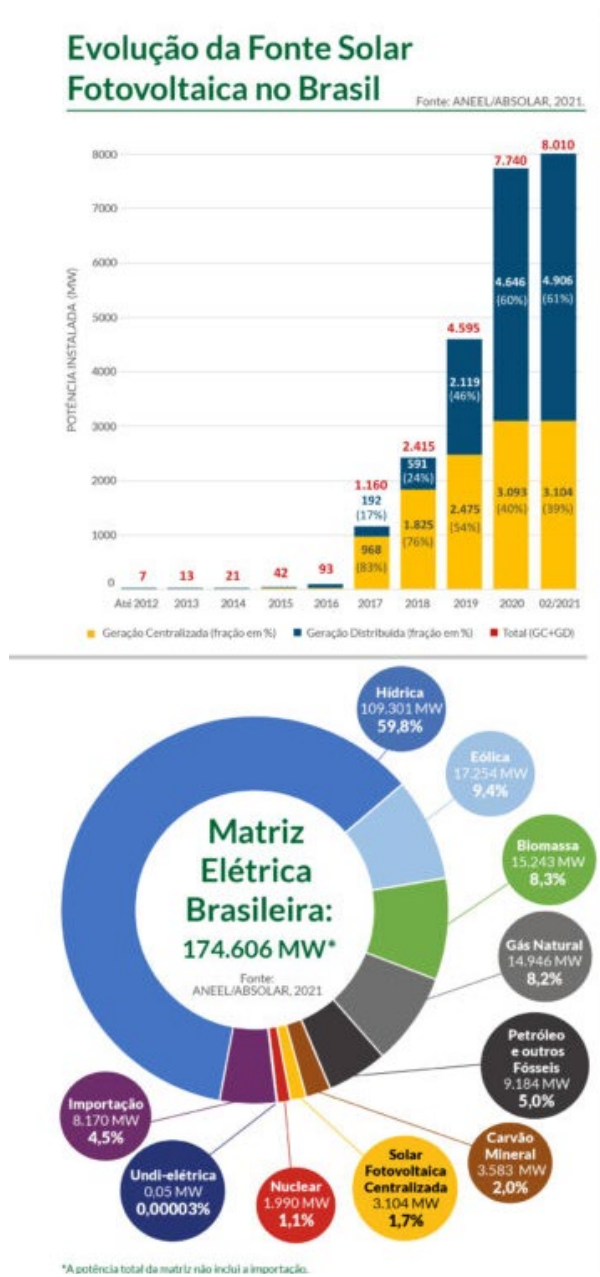
País	Capacidade FV instalada (GW)
China	204,7
União Europeia	131,7
Estados Unidos	75,9
Japão	63
Alemanha	49,2
Índia	42,8
Itália	20,8
Austrália	14,6
Reino Unido	13,6
Coreia do Sul	11,2
França	9,9

Fonte: IEA PVPS, adaptado (2020)

A matriz energética Brasileira é predominantemente renovável, o país conta com níveis de irradiação solar maiores que países que ocupam as primeiras posições em capacidade instalada, como a Alemanha, França e Espanha (Portal Solar, 2020). Na Figura 2, podemos ver a quantidade de potência FV instalada ao longo dos últimos anos.



Figura 2 – Evolução da Fonte Solar Fotovoltaica no Brasil



Fonte: Infográfico ABSOLAR, adaptado (2021)

Neste TCC abordará um sistema FV com rastreador solar, também conhecido como *tracker* (é um sistema de estruturas de fixação de módulos que utiliza motores para movê-las na direção de maior irradiação) de uma usina FV situada no estado do Ceará, mas especificamente na cidade de Pacajus. O estudo de viabilidade para a usina com *tracker*, a escolha do local foi motivada devido a resposta de consulta de acesso fornecida pela ENEL para a empresa FG Soluções em Energias, a partir disso demonstrar possibilitando os dados para o estudo.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo Geral**

O objetivo do presente TCC é realizar um estudo de viabilidade técnica e financeira de uma usina solar de 5 MW com rastreador solar conectado à Rede Enel, sendo um empreendimento de minigeração distribuída, localizada no Ceará.

### **1.2.2 Objetivo específico**

Identificar a irradiação do local escolhido para a implantação da usina.

Apresentar os aspectos das normas, resoluções e similares que regem o desenvolvimento do empreendimento.

Realizar uma análise de viabilidade do projeto, levando em conta seu valor de projeto e custos relacionados sendo um sistema com rastreador solar.

## **1.3 Justificativa**

Tendo em vista a grande dependência das empresas em geral pelo consumo de energia elétrica e fugir da dependência das fontes tradicionais de energia, e fugir das tarifas da concessionária local, uma solução atrativa seria a implantação de uma minigeração distribuída FV.

Este projeto visa contribuir para a tomada de decisão do investidor, demonstrando detalhadamente os aspectos técnicos e financeiros que demonstrem o retorno financeiro para o dado investimento. O uso do sistema de rastreador solar visa garantir uma maior captação do recurso solar mediante o deslocamento dos módulos FV para buscar o melhor ponto de irradiação durante o dia.

## **1.4 Estrutura**

O presente trabalho é dividido em 4 capítulos, sendo eles:

Capítulo 1 - Apresenta uma introdução do assunto abordado, mostrando um panorama da situação e quais são os objetivos;

Capítulo 2 - Aborda os conceitos elementares que se pressupõe para um projeto FV, conceito de irradiação, principais componentes, normas e regulações;

Capítulo 3 – Descrição do projeto, suas premissas, os detalhes técnicos e tecnologia utilizada e o estudo financeiro, usando parâmetros como Valor Presente

Liquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), Investimento Inicial (CAPEX) e Operação e Manutenção (OPEX) e Custo da Energia Nivelado (LCOE) os seus resultados;

Capítulo 4 – Neste capítulo são discutidas as conclusões referentes ao projeto e sugestões para trabalhos futuros;

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesse tópico são abordados os conceitos fundamentais para geração FV, como: irradiância, efeito FV, módulos e seus sistemas.

### 2.1 Irradiância

O Sol fornece anualmente para atmosfera terrestre,  $1,5 \times 10^{18}$  kWh de energia, isso corresponde a 10.000 vezes o consumo mundial de energia nesse período (CRESESB, 2014). O que torna ele uma fonte praticamente inesgotável de energia.

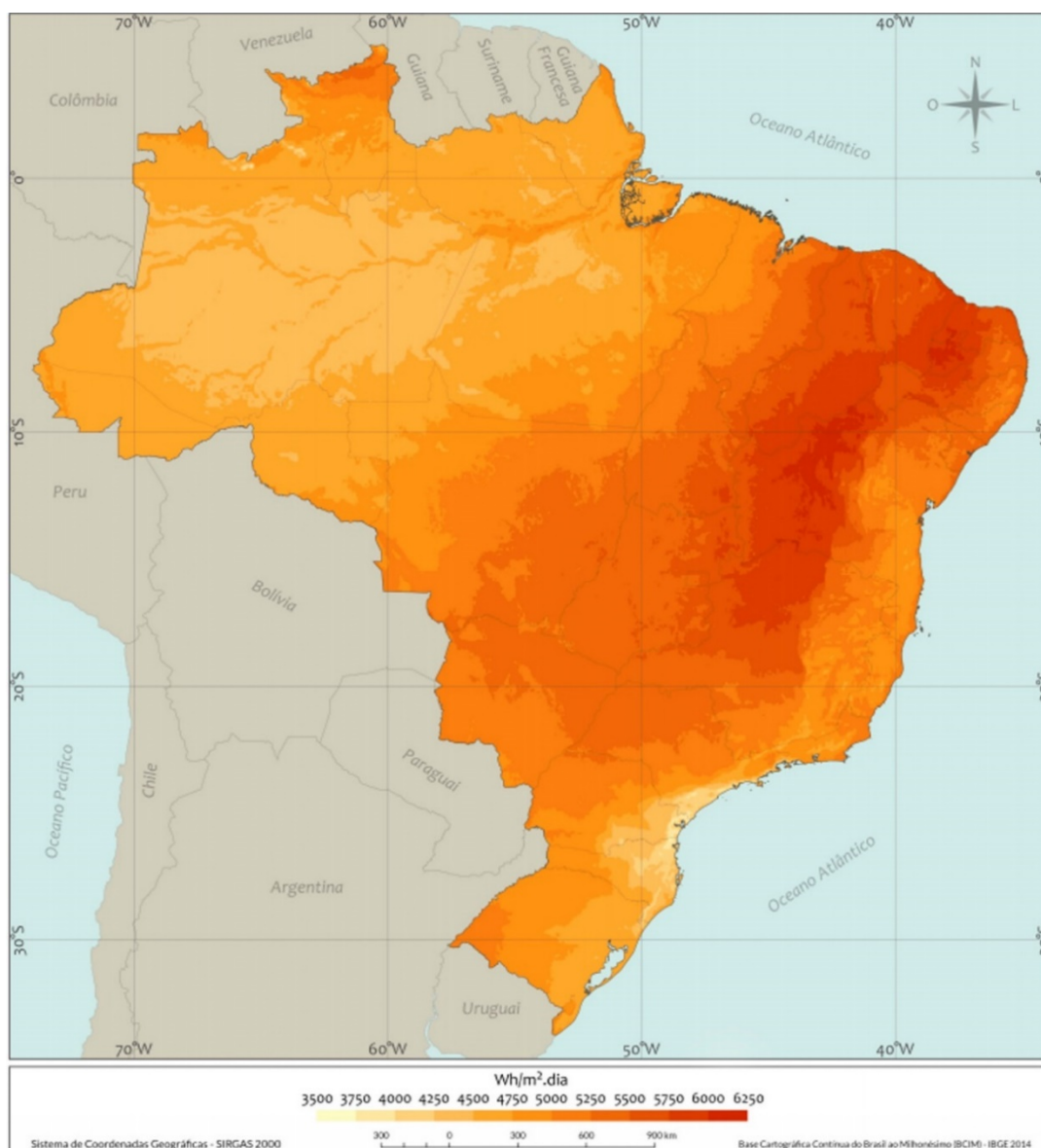
A luz solar que atinge a terra é composta por uma componente direta, difusa e devido ao albedo terrestre, onde soma das contribuições de delas compõem a energia que será captada pelos módulos FV. O conceito de irradiação é a quantidade de energia que incide por metro quadrado, geralmente em Wh/m<sup>2</sup>, já a irradiância é uma grandeza que relaciona à quantidade de radiação solar instantânea por metro quadrado (W/m<sup>2</sup>), em um intervalo curto de tempo.

O conceito de irradiação é a quantidade de energia que incide por metro quadrado, geralmente em Wh/m<sup>2</sup>, já a irradiância é uma grandeza que relaciona à quantidade radiação solar instantânea por metro quadrado (W/m<sup>2</sup>), em um intervalo curto de tempo.

A irradiação direta é aquela que vem segundo a direção do sol, já a difusa é aquela que sofreu, em alguma parte do trajeto, desvios de trajeto e a irradiação devido ao albedo terrestre ocorre quando a irradiação é refletida pela “terra”. Esses são conceitos importantes que compõem o princípio de captação dos raios solares pelos módulos.

No cenário brasileiro, temos que a irradiação média anual para o Brasil é apresentado na Figura 3, retirados do Atlas Brasileiro de Energia Solar.

Figura 3 - Irradiação média anual no Brasil



Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar, INPE (2017)

### 2.1.1 Atlas Eólico e Solar do Ceará

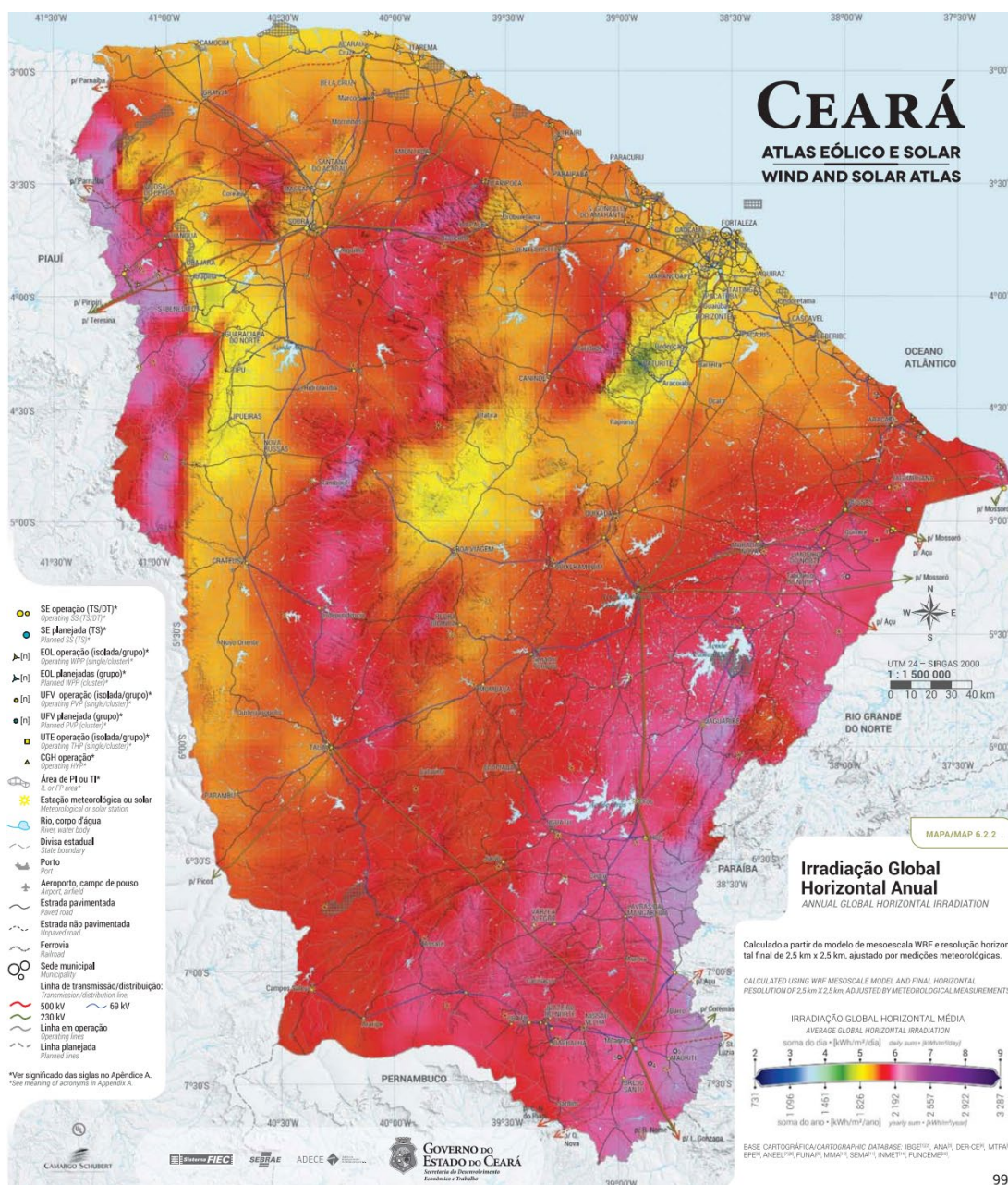
Em novembro de 2019, em um evento realizado na Casa da Indústria foi lançado o Atlas Eólico e Solar do Ceará, cerimônia que contou com a presença do governador do Ceará Camilo Santana e o presidente da Federação das Indústrias do Estado do Ceará (FIEC). Único atlas híbrido do Brasil até então (Portal do Governo do Ceará).

O Atlas é uma ferramenta que permite realizar simulações de maneira interativa e obter dados relevantes sobre as características e recursos naturais e materiais disponíveis no estado do Ceará. O mapeamento do Ceará foi obtido a partir do modelo

de compressível e não hidrostático baseado no *downscaling* dinâmico o método de diferenças finitas para simular a dinâmica atmosférica, (Atlas Eólico e Solar do Ceará, 2019).

Dentro do modelo aplicado, sua metodologia empregada foi utilizando simulações as condições atmosféricas de um ano climatológico, de posse das medições ao longo de 15 anos de dados de terreno e meteorológicos. Esses dados estimados pelo modelo computacional foram, posteriormente, ajustados e validados com medições solarimétricas locais. Na Figura 4, podemos ver a distribuição da irradiação global horizontal anual em todo o território do Ceará.

Figura 4 – Irradiação Global Horizontal Anual no Ceará



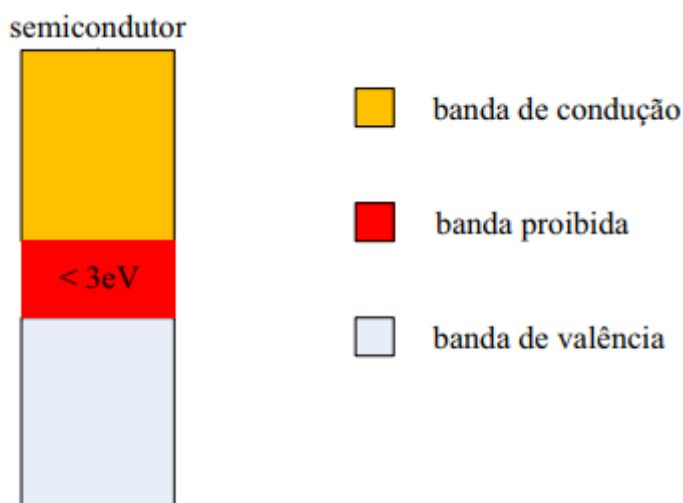
Fonte: Atlas Eólico e Solar do Ceará (2019)

## 2.2 Célula fotovoltaica

### 2.2.1 Efeito fotovoltaico

A geração FV só é possível graças a existência dos materiais semicondutores, que se caracterizam pela presença de bandas de energia onde é permitida a “ausência” de elétrons (banda de condução, junção n) e presença de elétrons (banda de valência, junção p), ilustrado na Figura 5.

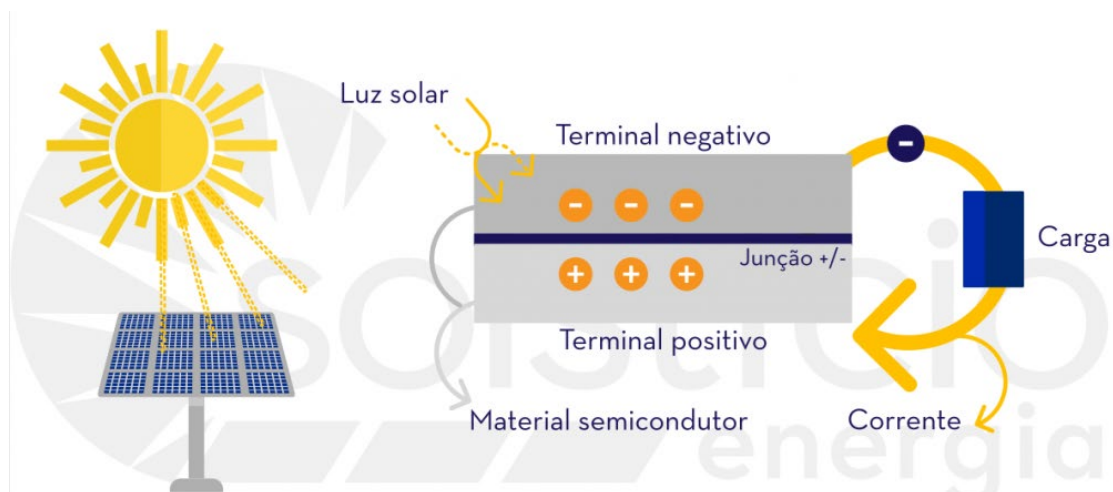
Figura 5 - Estrutura de bandas de energias em semicondutores



Fonte: CRESESB, adaptado (2014)

O efeito FV foi descoberto, primeiramente, por Edmond Becquerel. Expor uma junção pn a fótons de energia maior que a margem de energia ocorrerá a geração de pares elétrons-lacunas, se isso acontecer na região onde o campo elétrico é diferente de zero, as cargas serão aceleradas, este deslocamento de cargas dá origem a uma diferença de potencial (ddp), ao qual se chama efeito FV, visto na Figura 6.

Figura 6 - Célula fotovoltaica de silício.



Fonte: Solsticio Energia, adaptado (2017)



## 2.2.2 Tipos de Células Fotovoltaicas

As células FV são fabricadas com diferentes materiais e tecnologias, por isso apresentam valores distintos de eficiência, podemos citar em especial a células FV de silício, que atualmente são as mais difundidas no mercado, sua eficiência por tipo de tecnologia pode ser encontrada na Tabela 1. Para que ocorra uma maior absorção de fótons as células são fabricadas com elementos dos grupos 13, 14 e 15 da tabela periódica. Para células de única junção o limite teórico é da ordem de 30% (Limite de Schokley-Queiser), a máxima eficiência é obtida com células de multijunção, atingindo 47,1% de eficiência (NREL, 2020)

Tabela 1 – Eficiência das células FV até 2020

Tecnologia		Eficiência (%)
Silício	Monocristalino	27,6
	Policristalino	23,3
	Filme fino	21,2

Fonte: NREL, 2020.

O silício monocristalino é obtido através do método de Czochralski, que consiste em obter blocos de silício ultrapuros que são submetidos à altas temperaturas e a um processo de formação de cristal, BlueSol (2017). A célula monocristalina é geralmente uniforme, na cor preta ou azul escuro, a depender do tratamento reflexivo. Estas células são mais eficientes e possuem um custo de produção elevado, são montadas em módulos para adquirirem maior resistência mecânica.

Já o silício policristalino é formado por pequenos cristais, de tamanhos e orientações diferentes, seu processo de fabricação é mais barato se comparado ao monocristalino. Para a produção de filmes finos é utilizada uma tecnologia mais recente, tem um processo de fabricação diferente das células cristalinas, os filmes são criados pela deposição de finas camadas sobre uma base, que pode ser rígida ou fixa, EPE (2012).

## 2.3 Módulos Fotovoltaicos

Os módulos FV são formados por agrupamentos de células que se são conectadas eletricamente, cada célula pode fornecer até 0,6V de tensão, para atingir maiores níveis de tensão de saída várias células são conectadas em série.

A corrente elétrica produzida por uma célula é diretamente proporcional a sua área, pois essa corrente dependa da quantidade de luz solar recebida, Villava (2012).

Então, quanto maior for sua área, o módulo captará mais luz, e conseqüentemente, uma maior corrente elétrica será fornecida. Sendo assim, um módulo não se comporta como uma fonte de tensão convencional, pois apresenta uma tensão variável na sua saída. Seu ponto de operação depende da carga que está conectada em seus terminais.

A relação entre a tensão e a corrente de saída do módulo, com o ponto de máxima potência, através da curva  $I \times V$  é ilustrada na Figura 7. Já a curva característica para a potência versus a tensão pode ser vista na Figura 8.

Figura 7 - Exemplo de curva característica  $I \times V$



Fonte: Villava (2012)

Figura 8 - Exemplo de curva característica  $P \times V$



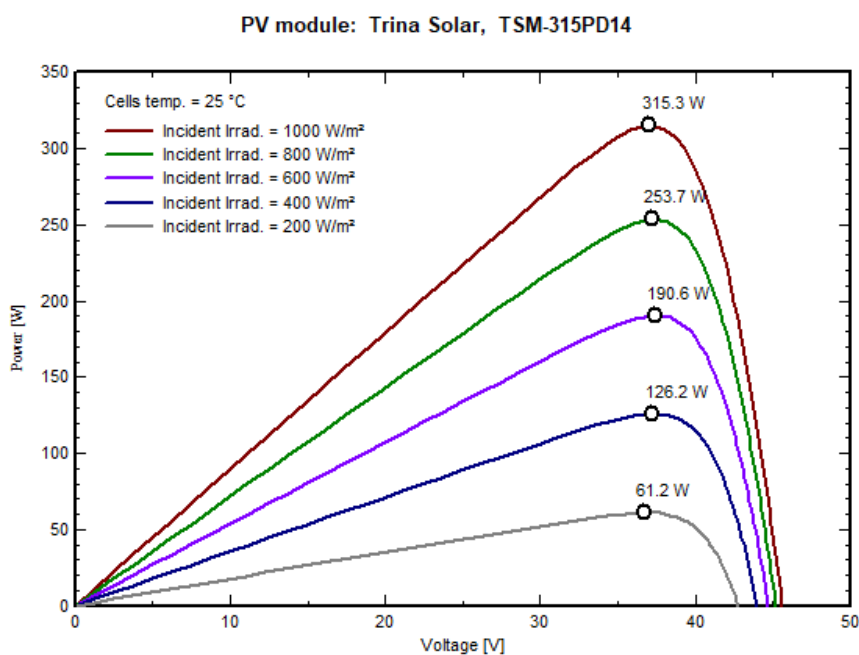
Fonte: Villava (2012)

Um ponto que podemos destacar da Figura 7 e Figura 8 é a presença de um ponto em comum, o ponto de máxima potência (PMP). A unidade de potência da célula e do módulo é o  $Wp$  (watt-pico), que está associada às condições padrões de teste

(*Standard Test Conditions – STC*), ou seja, irradiância solar:  $1000\text{W/m}^2$ , temperatura:  $25^\circ\text{C}$  e Massa de ar: 1,5.

É de conhecimento que o desempenho de um módulo é afetado pela irradiação e pela temperatura, assumindo assim performances diferentes com a alteração de algum desses, podendo ser visto respectivamente na Figura 9 e Figura 10.

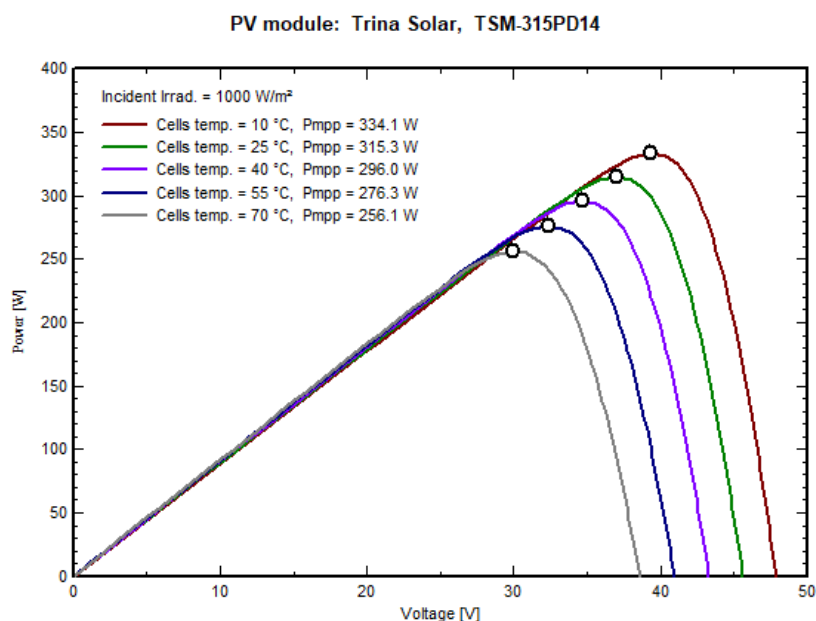
Figura 9 - Variação da irradiância a  $25^\circ\text{C}$  na curva P x V



Fonte: Banco de dados PVsyst 6.8.1

Na Figura 9 podemos ver a dependência da potência em relação a irradiância do módulo, submetido a temperatura de  $25^\circ\text{C}$ . Com isso evidenciamos que quanto menor a irradiância no módulo, menor será a potência de saída dele.

Figura 10 - Variação da temperatura com 1000W/m<sup>2</sup> na curva P x V



Fonte: Banco de dados PVsyst 6.8.1

Na Figura 10 podemos ver as curvas de um mesmo módulo submetido a uma mesma irradiância, mas com sua temperatura variando. Através da imagem podemos constatar que à medida que a temperatura do módulo diminui sua potência de saída aumenta, inversamente, à medida que o módulo aumenta de temperatura, sua potência FV gerada diminui.

## 2.4 Sistema Fotovoltaico

Em 17 de abril de 2012, quando entrou em vigor a Resolução Normativa nº 482/2012, foi o marco regulatório que permitiu aos consumidores realizar a troca da energia gerada, a partir de fontes renováveis, com a rede elétrica. Assim criando as regras e o sistema que compensa o consumidor pela energia elétrica injetada na rede. O consumidor brasileiro pode gerar sua própria energia elétrica e ter a quantidade de energia excedente inserida na rede de sua distribuidora local, obtendo assim créditos que podem ser descontados em sua conta de energia.

Nesse trabalho iremos focar os estudos na minigeração distribuída, uma usina solar FV de 5MW conectada à rede elétrica. Sistemas FV Conectados à Rede (SFCR) é um sistema instalado em locais que já estão sendo atendidos por rede de energia elétrica. Eles operam conectados à rede elétrica da concessionária local, com o objetivo de gerar energia para o consumo local. Também é possível utilizar a energia elétrica gerada em excedente como créditos, com validade de até 60 meses, conforme

REN nº 482, ANEEL (2012),

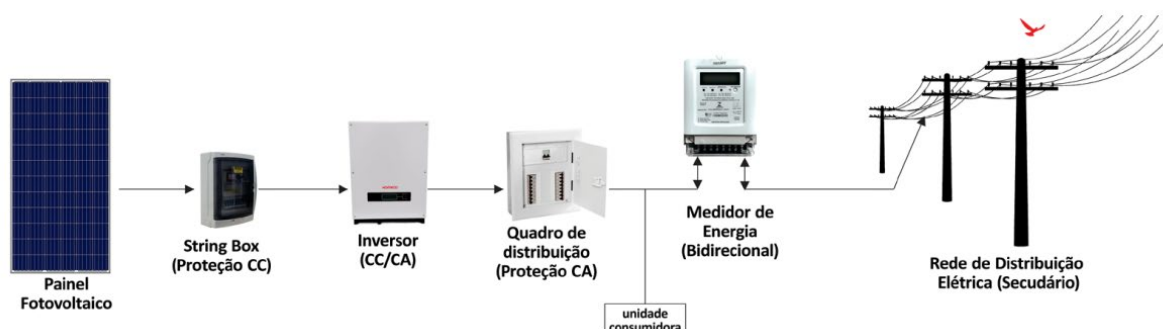
Essa mesma norma caracteriza microgeração como, unidades consumidoras cativas com potência instalada menor ou igual a 75 kW e minigeração como, unidades consumidoras cativas com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 5 MW e que utilize cogeração qualificada e demais fontes renováveis de energia elétrica.

No Ceará, a norma que estabelece critérios de conexão do consumidor a concessionária local é a CNC-OMBR-MAT-18-0122-EDBR, que estabelece as condições de acesso e define critérios técnicos, operacionais e requisitos de projetos aplicáveis à conexão de micro e minigeração distribuída ao sistema de distribuição da Enel Distribuição Ceará, das unidades consumidoras que optarem pelo sistema de compensação de energia, de forma a garantir que ambos os sistemas, após a conexão, operem com segurança, eficiência, qualidade e confiabilidade.

#### 2.4.1 Componentes do Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede

Um sistema FV é projetado para atender a todos suas premissas de forma mais ágil e assertiva possível, para isso ele deve conter uma serie de equipamentos e dispositivos para garantir seu pleno funcionamento. A Figura 11 ilustra um modelo de sistema fotovoltaico simples. Dentro do modelo proposto para esse trabalho podemos listar os componentes e equipamentos que farão parte da solução para o SFCR, são eles os módulos fotovoltaicos, inversores, sistema de monitoramento, quadros de proteção e estrutura metálica com *tracker*.

Figura 11 - Ilustração de um Sistema solar fotovoltaico conectado à rede



Fonte: Manual do usuário KOMECO (2017)

Os módulos FV podem ser ligados em serie e/ou paralelo, para que assim aumentem a energia elétrica gerada. Ao associar os módulos em série chamamos isso

de *string*, que seria uma “fila” de módulos, para conectar diversas *strings* se utiliza um componente chamado *string box*.

O inversor desempenha um papel fundamental, ele é responsável pela conversão da corrente contínua (CC), gerada pelos módulos, em corrente alternada (CA), que eventualmente será injetada na rede local da concessionária. Para o caso das SFCR os inversores usados são chamados de Grid-Tie, são equipamentos que possuem características específicas para que sua energia esteja em conformidade com as diretrizes das concessionárias

#### **2.4.1.1 Usinas FV com seguidor**

O seguidor solar *tracker* é um dispositivo mecânico que visa garantir que os painéis estejam numa posição mais favorável possível para que se possa captar uma maior quantidade de radiação solar. Um sistema com seguidor solar, pode gerar um aumento de cerca de 40% a captação de energia em alguns casos. (GIL et al., 2009). Contudo, seu custo ainda é uma desvantagem, pode representar um aumento de custo de 20% a 40% em relação a um sistema de estrutura fixa (Ecoa Energias Renováveis, 2020), sendo usado geralmente em usinas de grande porte.

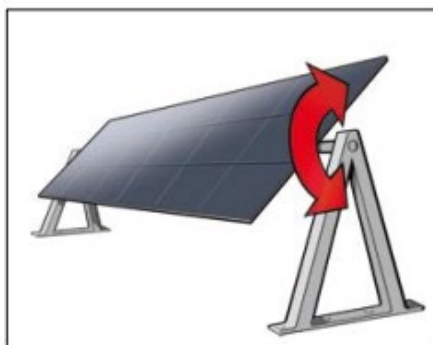
Existem diversos tipos de seguidores solares, variam de complexidade, função e também custo. Podemos citar alguns tipos, são eles: Seguidor de Eixo vertical, Seguidor de Eixo Horizontal, Seguidor Polar de Eixo Único e Seguidor de Elevação Azimutal.

##### **a) Seguidor de eixo único Horizontal**

Esse seguidor tem seu eixo de rotação horizontal em relação ao solo, normalmente com a face do módulo paralela ao seu eixo de rotação, o que faz com que os layouts projetados para esse modelo serem flexíveis e simples. Na

Figura 12 podemos ver um tracker horizontal de eixo único, formado por um tubo horizontal longo que é suportado por rolamentos montados sobre pilares ou armações, em que o eixo do tubo está em uma linha norte-sul ou leste-oeste, dependendo do local de implantação do sistema (PRINSLOO, 2015).

Figura 12 - Seguidor de eixo único Horizontal



Fonte: Solar Choice, (2010)

### **b) Seguidor polar de eixo único**

O seguidor polar tem sua estrutura de fixação de módulos posicionada por um eixo inclinado (sentido norte-sul), com ângulo de inclinação fixo, que depende da latitude do local que será instalado. Na

Figura 13, vemos que seu eixo inclinado possui um movimento de rotação que segue a trajetória do sol durante o dia, no sentido leste-oeste.

Figura 13 – Seguidor polar de eixo único

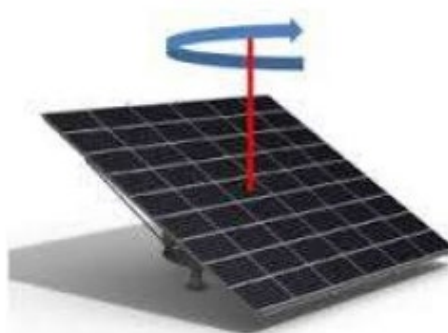


Fonte: Solar Chuoice, (2010)

### **c) Seguidor de eixo vertical**

O seguidor de eixo único vertical tem seu eixo de rotação na vertical em relação ao solo, girando de leste a oeste no decorrer do dia. Este tipo de rastreador tem alta eficiência quando instalado em altas latitudes, ultrapassando até mesmo os rastreadores horizontais de eixo único. Os rastreadores de eixo único vertical têm tipicamente a face do módulo orientada em um ângulo colinear ao eixo de zênite (PRINSLOO, 2015).

Figura 14 – Seguidor de eixo vertical



Fonte: Solar Choice, (2010)

#### **d) Seguidor de elevação azimutal**

Esse é um tipo de seguidor de dois eixos, ele tem seu eixo primário, o eixo do azimute, perpendicular ao chão e seu eixo secundário, o eixo de elevação, normal ao eixo primário. Pela Com o uso de dois motores, um que faz a estrutura girar em seu próprio eixo e o outro que controla o movimento de subida e descida da placa de acordo com o posicionamento do sol. Uma grande vantagem desse modelo além da eficiência da captação, é a disposição do seu peso ser bem distribuído dentro do seu raio de ação (PRINSLOO, 2015).

(Figura 15 – Seguidor de elevação azimutal)



Fonte: Solar Choice

Segundo estudos realizados por Li, Liu e Tang (2011), a performance de painéis solares com seguidor solar em um eixo pode ser melhorada em 28% nas áreas em que existe abundância de recursos solares e em 16% nas áreas com pouca incidência



solar. Uma demonstração algébrica indica um ganho teórico de até 57% (MOUSAZADEH et al., 2009).

No Brasil, podemos citar alguns estudos feitos com usinas FV que utilizam *tracker*, um deles é feito analisando o período compreendido entre os dias 19 de setembro de 2017 a 9 de outubro de 2017, conforme artigo de Frosi (2018), o módulo rastreador solar obteve um ganho de 25,4% em relação à planta fixa, tendo como ganho máximo, em um dos dias de análise, 36% a mais de energia elétrica produzida do que a planta fixa.

O sistema com seguidor possui um custo maior de implementação, porém se paga mais rápido pelo seu maior índice de geração solar e ainda gera maior resultado financeiro anual do que o sistema fixo, conforme Max e Thiago (2017). Isto considerando as características geográficas, de potência instalada entre tipos de usinas FV.

### **3 METODOLOGIA E RESULTADOS**

Neste capítulo serão abordados os aspectos técnicos do projeto da usina de 5 MW, nos seus aspectos construtivos, ambiental e de conexão à rede de distribuição da concessionária. Com o estudo realizado para se implementar esse sistema levam em consideração métodos e simulações computacionais para avaliar o desempenho desse sistema fotovoltaico, de sua potência até sua análise econômica.

#### **3.1 Projeto técnico da usina**

##### **3.1.1 Licenciamento ambiental**

Para empreendimentos de engenharia de grande porte uma das etapas é regularizar o licenciamento ambiental. Para projetos FV o licenciamento se torna mais simples do que o encontrado para usinas hidrelétrica e termelétricas, pois esse tipo de energia tem um impacto ambiental bem menor que as demais.

O licenciamento ambiental é regulado pelos órgãos competentes dentro do Sistema Nacional de Meio Ambiente (SISNAMA), do Ministério do Meio Ambiente (MMA). A obrigação do licenciamento está expressa na Lei Federal n.º 6938 de 1981 que prevê “a construção, a instalação e o funcionamento de estabelecimentos e atividades utilizadores de recursos ambientais, efetiva ou potencialmente poluidores

ou capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental, dependerão de prévio licenciamento ambiental”.

No Ceará, a Resolução nº 6 do Conselho Estadual de Meio Ambiente (COEMA), 2018, classifica o porte e o potencial poluidor dos empreendimentos de geração de energia elétrica, por fonte solar. Nele a energia solar é listada com potencial poluidor Baixo, estabelece que para portes menores de 450 hectares a licença ambiental é emitida em duas etapas: Licença Prévia (LP) e Licença de Instalação (LIO).

### 3.1.2 Potencial energético solar

Por questões comerciais, foi preferível não localizar geograficamente o terreno, pois a empresa e o cliente ainda estão em fase inicial contratual. A primeira etapa para o dimensionamento do sistema FV é avaliar o potencial energético da região onde será implementada. No Brasil, a falta de um número significativo de estações de coleta de dados sobre irradiação solar tem levado à utilização de sensoriamento remoto por satélites, de acordo com Manuel Rangel (2012, p. 122).

É importante analisar a fonte de dados a ser utilizada, de preferência mais próxima do local do projeto. Uma maneira conveniente de expressar o acúmulo de energia durante o dia é através do número de Horas de Sol Pleno (HSP), que indica o número de horas por dia que a irradiação solar deve permanecer igual a  $1.000\text{W}/\text{m}^2$  (CRESESB, 2014), é expressado pela Equação (1).

$$\text{HSP} = \text{IGH}/\text{IS} \quad (1)$$

Onde:

IGH = Irradiação global horizontal anual [ $\text{kWh}/\text{m}^2/\text{dia}$ ]

IS = Irradiação Solar em STC [ $1.000\text{W}/\text{m}^2$ ]

Consultando o Atlas Eólico e Solar Ceará (2019), podemos adquirir os dados sobre as características solarimétricas e geográficas do local a ser instalado. Na Tabela 2 podemos ver os dados de irradiação anual do local.

Tabela 2 -Características do local

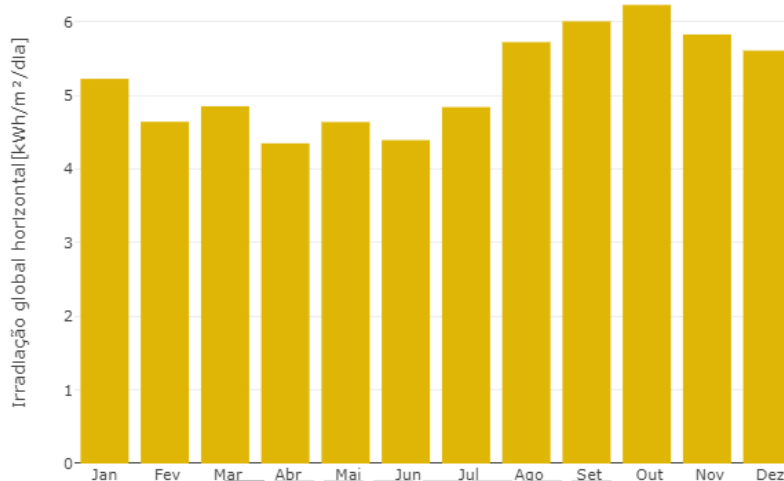
Irradiação Global Horizontal Anual	5,2 $\text{kWh}/\text{m}^2/\text{dia}$
Temperatura Média Diurna Anual	27,8 °C
Altitude média	84 m

Fonte: Atlas Eólico e Solar Ceará (2019).

Através dela podemos notar a distribuição da irradiação ao longo de um

ano, com um aumento no período compreendido entre agosto e dezembro. Na Figura 16, podemos ver a distribuição de irradiação global horizontal (IGH) ao longo de um ano para a região escolhida no município Pacajus. Através dela podemos notar a distribuição da irradiação ao longo de um ano, com um aumento no período compreendido entre agosto e dezembro.

Figura 16 – Irradiação Global Horizontal na localidade de Pacajus



Fonte: Atlas Eólico e Solar Ceara (2019).

### 3.1.3 Módulos fotovoltaicos

O módulo fotovoltaico a ser utilizado neste projeto é da marca RISEN, modelo RSM156-6-440M, cuja sua ficha técnica encontra-se no ANEXO 01, suas especificações elétricas para STC são descritas na Tabela 3.

Tabela 3 – Características do módulo fotovoltaico RISEN

Potência Nominal (Pmax)	440 Wp
Tensão de operação (Vmp)	43,80 V
Corrente de operação (Imp)	10,06 A
Tensão de circuito aberto (Voc)	52,62 V
Corrente de curto circuito (Isc)	10,67
Eficiência do módulo	20,3%
Tensão de isolamento	1500 V

Fonte: Catálogo RISEN

### 3.1.4 Inversor on-grid

O inversor foi dimensionado levando em consideração sua potência nominal e potência da SFCR. O inversor trifásico SIW500H ST100 HV, da marca WEG, acabou sendo escolhido por fatores econômicos e de disponibilidade de mercado, sua ficha técnica encontra-se no ANEXO 02, na

Tabela 4 encontra-se um resumo dos seus dados técnicos.

Tabela 4 – Características do Inversor WEG

Entrada CC	
Máxima tensão	1500 V
Faixa de MPPT	600 ... 1450 V
Máxima corrente de entrada por MPPT	22 A
Número de MPPT	6
Número de entradas CC	12
Saída CA	
Potência nominal	100 kW
Tensão de saída trifásica	800 V
Corrente nominal	72,2 A
Frequência CA	60 Hz
Eficiência	99%

Fonte: Catálogo WEG

### 3.1.5 Estruturas metálicas com *tracker*

O seguidor tipo eixo horizontal simples (*tracker*) é compatível com vários tipos de fundações, como a de concreto pré-fabricado ou de laje de concreto, de base simples concretadas e de camada simples, além de fundações de propagação e de perfis de aço empilhados, o modelo da estrutura escolhida pode ser visto na Figura 17.

Figura 17 – *Tracker* STI – H250

Fonte: STInorlad

É estimado que por conta desse algoritmo executado pelo sistema seguidor, os sistemas com *tracker* de dois eixos tenham um ganho de 30 a 40%. Para sistemas com seguidor solar de um único eixo, é normal que o ganho seja em torno de 20%. (Pelaez, 2019).

A escolha pelo uso de seguidor solar de eixo único se deve ao fato do local da usina está localizado próximo à Linha do Equador, o que garante uma maior uniformidade do recurso solar. Mas também, pelo fato de que estudos demonstram que os seguidores de eixo duplo apenas têm um aumento de rendimento de 3% face aos de eixo único (Portal Energias Renováveis, 2017). O resumo dos dados do *tracker* na Tabela 5 e sua ficha técnica no ANEXO 03.

Tabela 5 – Características do *tracker*

Tipo de <i>Tracker</i>	<i>Tracker</i> de eixo único descentralizado
Taxa de cobertura do solo	Configurável, padrão: 33%
Área do módulo FV por <i>tracker</i>	250 m <sup>2</sup>
Transmissão	Atuador eletromecânico rotativo
Potência do motor	65 W / 24 CC
Consumo de potencia	<0,035kWh/dia
Ganho estimando com o uso do <i>tracker</i>	20%

Fonte: Catálogo STI Norland

A taxa de cobertura do solo descreve a razão entre a área dos módulos em relação área necessária para a implementação. Em outras palavras, descreve a proporção de área que é utilizada para captar a luz solar (Folsom Labs, 2020).

A seguir serão descritas as principais configurações do *tracker* escolhido:

Modelo: H250

Fabricante: STInorland

A seguir são listadas as principais características do *tracker*:

✓ Estrutura aparafusada;

✓ Os componentes da estrutura metálica seguidora são cortados e perfurados usando máquinas de Controle Numérico Computacional (CNC) com máquinas de corte a laser;

✓ Rolamentos metálicos, fabricados para trabalhar ao ar livre, que não absorvem umidade, que são resistentes ao desgaste, têm baixos coeficientes de fricção. Sem manutenção;

✓ Prazo de garantia: 10 anos;

✓ Tipo de acionamento: Electromecânico;

✓ Sistema de controle completo incluindo *backtracking* e *stow* algoritmos;

✓ Condições de operação máxima para condições de vento: posição de armazenamento 140 km / h e angulação máxima 80 km / h;

✓ Sistema de gerenciamento de segurança de 5 níveis (1, 2, 3, 4 e critérios de armazenamento);

✓ Sistema de controle, algoritmo com Ethernet e comunicação MODBUS, operação -10°C à + 55°C, sistema de alimentação de 24Vdc, 72W;

✓ Alta eficiência, sistema de acionamento de primeira linha com consumo de energia muito baixo;

✓ Sistema simples e robusto, manutenção mínima com sistema de lubrificação de longa duração;

Não há efeitos de flexão no sistema de atuação (precisão variável, forças de desenvolvimento em outras direções, etc.);

✓ O sistema de acionamento é irreversível para que não haja deslocamento movido pelo vento dentro do sistema de engrenagem de acionamento;

✓ O atuador está localizado no meio do rastreador. Vários estudos em túnel de vento comprovam que os efeitos de vento são minimizados.

### 3.1.6 Dimensionamento do sistema

De posse das especificações dos equipamentos escolhidos e de potência total da usina, de acordo com CRESESB (2014), é admissível que a potência do inversor esteja no intervalo entre  $0,7x P_{FV} < P_{inv} < 1,2x P_{FV}$ , sendo  $P_{inv}$  a potência do inversor e  $P_{FV}$  a potência do sistema FV, e assim foi estipulado um *performace ratio* (PR) de 80% para a usina, agora podemos saber o número de módulos ( $N_{mod}$ ) que a usina terá.

Para calcular a quantidade de módulos fazer uso da Equação (2):

$$N_{mod} = P_{FV} / P_{mod} \quad (2)$$

$$N_{mod} = 6250/0,440$$

$$N_{mod} = 14205 \text{ módulos}$$

Pelas especificações do fabricante do módulo FV, a tensão de circuito aberto ( $V_{oc}$ ) em STC é 52,62 V. Já a tensão de entrada do inversor é de 1500 V.

Com isso podemos calcular a quantidade de módulos em série, através da Equação (3) :

$$N_{\text{módulos em série}} = V_{inv} / V_{oc} \quad (3)$$

$$N_{\text{módulos em série}} = 1500 / 52,62$$

$$N_{\text{módulos em série}} = 28 \text{ módulos}$$

Agora vamos encontrar a quantidade de *strings* para a usina, por meio da Equação (4):

$$N_{strings} = N_{mod} / N_{\text{módulos em série}} \quad (4)$$

$$N_{strings} = 14205 / 28$$

$$N_{strings} = 507 \text{ strings}$$

Para dimensionar a quantidade de inversores, usando os dados do fabricante, com uma potência de saída em AC ( $P_{inv}$ ) de 100kW, pela Equação (5) temos que:

$$N_{inversores} = P_{ac} / P_{inv} \quad (5)$$

$$N_{inversores} = 5000 / 100$$

$$N_{inversores} = 50$$

O arranjo dos painéis dispostos em série foi baseado no limite de operação do inversor, que possui uma tensão de saída de 1500 V e tensão máxima de MPPT de 1450 V.

Para a quantidade de conexões em paralelo foi levando em conta o limite de corrente de entrada do Inversor String SIW500H - ST100 HV, onde cada inversor

possui 12 entradas. Logo serão 12 grupos de 28 placas ligadas em série, com uma corrente total de  $12 \times 10,04 = 120,48$  A.

Conforme Guilherme (2015), utilizando a equação (6) para encontrar o potencial de geração de energia elétrica, que usa como a potência instalada, quantidade de horas de sol pleno e *performance ratio*, que representa o percentual de aproveitamento da geração de FV considerando as perdas.

$$E = P_{FV} \cdot HSP \cdot N \cdot PR \cdot (1 + G_{\text{tracker}}) \quad (6)$$

Em que:

$P_{FV}$  : Potência dos módulos [kWp];

HSP: Horas de Sol Pleno [h/dia];

N: número de dias no mês;

PR: *performance ratio*;

$G_{\text{tracker}}$ : ganho do *tracker*.

$$E = 6250 \cdot 5,2 \cdot 365 \cdot 0,80 \cdot (1 + 0,2)$$

$$E = 11.388.000 \text{ kWh/ano}$$

Com isso, montamos a Tabela 6, com o resumo dos principais valores estimados para aspecto técnico da usina. Conforme boas práticas citadas por CRESESB (2014), levando em consideração as perdas do sistema, e que, a usina fotovoltaica não estará operando durante todo o dia em seu pico, foi utilizada uma potência nominal no parque menor para os inversores.

Tabela 6 – Potência da Usina

Potência de Projeto (kWp)	6.250
Potência Nominal (kW)	5.000
<i>Performance Ratio</i>	0,80
Fator de Capacidade (%)	25,9
Geração Estimada Anualmente (MWh/ano)	11.388

Como cada inversor pode comportar até 12 *strings*, foi feita uma distribuição para se obter uma configuração para ficar condizente com o número total de módulos FV. A configuração das *strings* dos inversores pode ser vista na Tabela 7.



Tabela 7 – Resumo da configuração dos inversores

	Quantidade de módulos	Quantidade de <i>strings</i>	de Quatidade de Inversores
Configuração 1	28	11	29
Configuração 2	28	9	21

### 3.2 Projeto financeiro da usina

Levando em consideração o alto custo de implementação de uma usina FV, é importante destacar uma apresentação que comprove a viabilidade financeira do investimento. Não existe uma regra geral para estipular o retorno de investimento de uma planta FV, tendo em vista isso, neste trabalho a viabilidade financeira será verificada usando os conceitos de Valor Presente Líquido (VPL), *Payback* simples.

#### a) *LCOE*

Segundo Lodi (2011), o aspecto econômico é o que mais dificulta a utilização das tecnologias renováveis devido os LCOEs (*Levelized cost of energy*) serem mais elevados que as tecnologias convencionais. De acordo com Lodi (2011, p. 6).

O LCOE consiste na relação entre os custos totais ao longo da vida econômica do projeto e a geração esperada, expresso em termos de valor presente equivalente (IEA, 2010a). Os custos totais são os custos de investimento, de operação e manutenção (O&M), de combustível e de descomissionamento. Ele também é chamado de custo unitário nivelado ou custo de geração nivelado. A margem atual de LCOEs, para tecnologias renováveis já disponíveis comercialmente, é grande e depende de fatores, tais como: características tecnológicas, características regionais (para o custo e o desempenho) e taxas de desconto desejadas. (LODI, 2011).

A equação (7) descreve o cálculo do LCOE:

$$LCOE = \frac{CAPEX + PV(OPEX)}{PV(E)} \quad (7)$$

Em que:

CAPEX: Capital investido em equipamentos e implementação (R\$).

PV(OPEX): Valor presente dos custos totais de operação da usina ao longo de sua vida útil (R\$).

PV(E): Energia gerada pela usina ao longo da vida útil

#### b) *Payback* Simples

*Payback* é o tempo que exprime a relação entre o investimento inicial e o momento no qual o lucro líquido acumulado atualizado iguala o valor do investimento

realizado (CapitalResearch, 2020). O *payback* pode ser nominal, se calculado com base no fluxo de caixa com valores nominais, e presente líquido, se acumulado levando em conta o fluxo de caixa com valores trazidos ao valor presente líquido.

Trata-se do período de tempo necessário para que as receitas recuperem a despesa realizada em investimento, ou seja, é o período de recuperação do capital investido.

A escolha pelo *playback* simples ocorreu devido dificuldade de mensurar o a qual taxa o dinheiro seria trazido ao valor presente ao longo do tempo e os descontos pelos pagamentos de taxas ao banco e remuneração aos investidores.

### **c) CAPEX**

O termo CAPEX, que vem da sigla em inglês para *capital expenditure*, em português despesas de capital ou investimento em bens de capital, foi levado em consideração diversos itens que compõem o projeto FV como estudos, projeto executivo, todos equipamentos da usina e de interligação à rede como o *bay* de entrada e a linha de transmissão até subestação da concessionária. São discriminados os custos de cada etapa.

Equipamentos e materiais da unidade geradora: R\$19.040.708,33.

Compreendidos em: placas, cabos cc e ca, sistema SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), estação solarimétrica, inversores, subestação coletora, estruturas, *tracker* e transporte.

Serviços e montagem de material: R\$5.203.215,26.

Compreendidos em: atividade de gerenciamento da obra no canteiro de obra e serviços de montagem e materiais estimados para montagem.

Engenharia: R\$1.953.874,65.

Compreendido em: projeto executivo, gestão de desenvolvimento, implantação do projeto solar.

Custo de reforço da rede de distribuição ENEL: R\$414.482,18.

O resumo detalhado dos custos do CAPEX encontra-se na Tabela 8.

Tabela 8 – Descrição do CAPEX

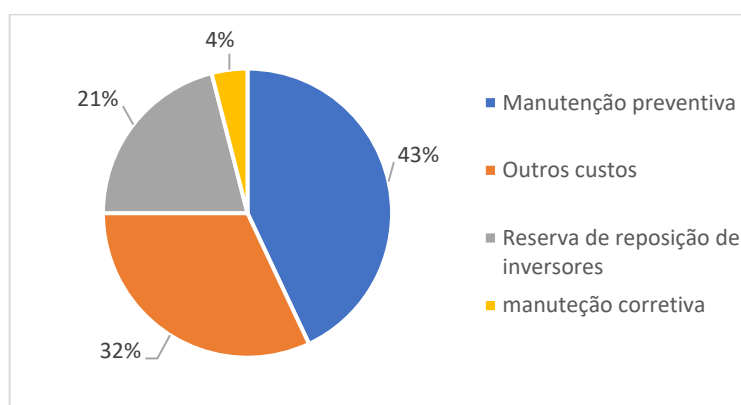
Equipamentos e materiais da unidade geradora	R\$19.040.708,33
Serviços e montagem de material	R\$5.203.215,26
Engenharia	R\$1.953.874,65
Custo de reforço da rede de distribuição ENEL	R\$414.482,18
Total	R\$ 26.612.280,42

#### d) OPEX

O OPEX representa o custo anual com operação e manutenção do sistema FV, abrange os serviços de planejamento, limpeza, engenharia, reposição de equipamentos, entre outros. Para se elaborar cada custo referente ao OPEX, dada complexidade de se obter valores precisos para cada situação projetada, em estudos preliminares costumam adotar um cálculo para esse parâmetro com base no CAPEX, que utiliza um valor de 1% do CAPEX, conforme estudos da ABINNE (2012).

O cálculo dos custos de OPEX dentre sistemas fotovoltaicos com diferentes inversores, tecnologias e tipos de estrutura e inclinação dos módulos, é necessário saber como que os custos estão divididos e quais seriam os percentuais em relação ao custo de Operação e Manutenção. Em um estudo do instituto norte-americano EPRI (2010), sugeriu-se, com base em algumas instalações de FVs nos EUA, conforme Barbosa (2015, p. 58) que o OPEX estaria dividido conforme Figura 18.

Figura 18 – Divisão dos custos que compoem o OPEX



Fonte: BARBOSA (2015), adaptado

#### e) VPL

Esse valor reflete no tempo atual a série anual de fluxo de caixa durante o tempo de vida da planta, isto é, qual quantidade monetária foi economizada durante

toda a vida da usina, considerando o custo de oportunidade do capital através da taxa de desconto. Quanto maior o VPL, mais favorável é o investimento.

Segue a Equação (8), conforme Pellegrini (2019):

$$VPL = \sum_0^n \frac{F_n}{(1+i)^n} \quad (8)$$

Onde:

$F_n$ : representa o fluxo de caixa no valor presente

#### **f) TIR**

A TIR é uma ferramenta complementar de análise, utilizada para comparar o qual rentável pode ser um determinado investimento à longo prazo.

Hoji (2010) define a TIR como a taxa de desconto aplicada em uma série de pagamentos (saídas) e recebimentos (entradas) para obtenção do VPL igual a zero, ou seja, uma vez conhecido o fluxo de caixa do investimento, a taxa de desconto encontrada para resultar um VPL igual a zero é a Taxa Interna de Retorno.

Pelo método da TIR, um projeto de investimento é recomendado se a taxa interna de retorno calculada for maior que o retorno exigido. Neste caso, o projeto cria valor econômico. Caso o investimento apresente uma taxa de retorno menor que o retorno exigido, o projeto deve ser rejeitado. (ASSAF NETO; LIMA, 2014, p. 399)

Consoante Correia Neto (2009), é percebida uma evidente relação entre a TIR e o VPL, pois ambos são baseados na capitalização composta e na equivalência de fluxos de caixa no tempo; e ambos requerem o uso de uma Taxa Mínima de Atratividade (TMA) para comparação, conduzindo à mesma decisão de aceitação ou rejeição. Porém, eles diferem na forma como apresentam seu resultado. A TIR em termos percentuais, e a VPL em termos monetários.

Se a TIR for maior ou igual a TMA o investimento é rentável, e quanto maior for o valor da TIR em relação à TMA, mais rentável é o projeto (BORDEAUX-RÊGO et al., 2013).

#### **g) Taxa Mínima de Atratividade**

É importante iniciar ratificando que a Taxa Mínima de Atratividade

(TMA) é uma taxa referencial que pode determinar a atratividade de um investimento quando comparada à TIR, além de ser a taxa utilizada para descontar os fluxos de caixa no *payback* e no cálculo do VPL.

Ainda segundo Antonik (2001), as empresas têm estabelecido um parâmetro empírico com base na taxa de remuneração aceitável no mercado. Por exemplo: existe um consenso no mercado de que um investimento que retorna 15% ao ano é um bom negócio, haja vista que esse retorno só seria possível em aplicações de alto risco.

Conforme equação (9), o TMA é calculado:

$$\text{TMA} = \text{SELIC} + \text{IPCA} \quad (9)$$

Souza e Clemente (2004 apud LIZOTE et al., 2014) enunciam que a TMA deve ser definida pelo investidor ou por analistas, e a conceituam como a expressão da melhor alternativa de investimento com o menor grau de risco disponível para aplicação, Sendo adotado 2% para a SELIC e 5,2% para o IPCA acumulado, fevereiro de 2021, Agência IBGE (2021).

A seguir, é ilustrada na

Tabela 9 os valores de projeto orçados para implementação da usina FV em Pacajus, levando em consideração equipamentos, instalação e grupo tarifário a ser abatido.

Tabela 9 – Premissas iniciais do projeto

Geração estimada com <i>tracker</i>	11.388 MWh/ano
Fator de capacidade	25,9%
Área necessária	15 ha
Tarifa grupo B	R\$448,08/MWh
CAPEX	R\$26.197.798,24
OPEX	R\$360.000
Reforço na rede	R\$414.482,18
Custo demanda contratada Enel	R\$23.655/MW
TMA	7,2%

Foi estipulado para o modelo de tributaria de Lucro Presumido, sendo que esse modelo pode ser utilizado pela maioria das empresas no Brasil.

Conforme citado por Gularte (2020).

Os requisitos para aderir ao Lucro Presumido são apenas que se fature abaixo de R\$ 78 milhões anuais e que não se opere em ramos específicos, como bancos e empresas públicas. As empresas que utilizam esse regime têm alíquotas de imposto que podem variar de acordo com o tipo de atividade que exercem. As porcentagens vão de 1,6% até 32% sobre o faturamento. (Gularte, 2020)

. Os valores de tributos adotados se encontram na , seguidos para as premissas de para o modelo de tributação escolhido.

Tabela 10, seguidos para as premissas de para o modelo de tributação escolhido.

Tabela 10 – Tributação por lucro presumido

IRPJ	15%
CSLL	8%
PIS	0,65%
COFINS	3%
ISS	5%

### 3.3 Resultados

Com base no sistema proposto, composto de 14.205 módulos FV de 440 Wp, cada. Levando em consideração a radiação no local, Figura 16, podemos traçar a geração de energia elétrica esperada para cada mês.

A energia elétrica gerada pelo sistema FV foi projetada com um ganho de 20% através do sistema de seguidor solar de eixo único, adotando como critério a tarifa do grupo B rural, o valor pago por kWh é de R\$ 0,448, para onde a energia gerada será creditada. Podemos ver na Tabela 11 os dados de entrada que compõe o estudo de caso.

Tabela 11 – Dados de entrada

Irradiação	5.200 Wh/m <sup>2</sup> /dia
Potência	6250 kWp
Geração Anual	11.388.000 kWh
<i>Performace Ratio</i>	0,80
Degradação do módulo no 1º ano	2%
Degradação do módulo IPCA	0,55% ao ano
SELIC	5,2% ao ano
	2% ao ano

A Figura 19 apresenta o fluxo de caixa projetado para um período de 25 anos, que ilustra por ano a entrada e saída dos recursos do projeto, levando em consideração um sistema de amortização constante, onde o fluxo de caixa é composto pelos custos de cada parcela do referido ano mais as despesas de impostos aplicáveis. No Apêndice A se encontra a projeção de tributos aplicáveis considerando o Lucro Presumido.

Figura 19 – Fluxo de Caixa

Ano	Gerção (MWh/ano)	Receita	Custo	Amortização	Juros	Prestações	Saldo Devedor	Impostos	Fluxo	Saldo Acumulado
0		R\$ -	R\$ 6.754.676,73	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ 19.959.210,32	R\$ -	R\$ 6.754.676,73	R\$ 6.754.676,73
1	11.111,24	R\$ 4.978.724,42	R\$ 1.880.906,62	R\$ -	R\$ 2.029.851,69	R\$ 2.029.851,69	R\$ 19.959.210,32	R\$ 526.251,17	R\$ 541.714,94	R\$ 6.212.961,79
2	11.048,88	R\$ 5.208.223,29	R\$ 1.978.713,77	R\$ 2.851.315,76	R\$ 2.029.851,69	R\$ 4.881.167,45	R\$ 17.107.894,56	R\$ 550.509,20	R\$ 2.202.167,12	R\$ 8.415.128,91
3	10.986,52	R\$ 5.448.127,58	R\$ 2.081.606,88	R\$ 2.851.315,76	R\$ 1.739.872,88	R\$ 4.591.188,64	R\$ 14.256.578,80	R\$ 575.867,09	R\$ 1.800.535,02	R\$ 10.215.663,93
4	10.924,16	R\$ 5.698.898,88	R\$ 2.189.850,44	R\$ 2.851.315,76	R\$ 1.449.894,06	R\$ 4.301.209,82	R\$ 11.405.263,04	R\$ 602.373,61	R\$ 1.394.535,00	R\$ 11.610.198,93
5	10.861,80	R\$ 5.961.018,65	R\$ 2.303.722,66	R\$ 2.851.315,76	R\$ 1.159.915,25	R\$ 4.011.231,01	R\$ 8.553.947,28	R\$ 630.079,67	R\$ 984.014,69	R\$ 12.594.213,62
6	10.799,45	R\$ 6.234.989,06	R\$ 2.423.516,24	R\$ 2.851.315,76	R\$ 869.936,44	R\$ 3.721.252,20	R\$ 5.702.631,52	R\$ 659.038,34	R\$ 568.817,72	R\$ 13.163.031,35
7	10.737,09	R\$ 6.521.333,80	R\$ 2.549.539,08	R\$ 2.851.315,76	R\$ 579.957,63	R\$ 3.431.273,39	R\$ 2.851.315,76	R\$ 689.304,98	R\$ 148.783,66	R\$ 13.311.815,00
8	10.674,73	R\$ 6.820.998,97	R\$ 2.682.115,12	R\$ 2.851.315,76	R\$ 289.978,81	R\$ 3.141.294,57	R\$ -	R\$ 720.937,31	R\$ 276.251,97	R\$ 13.035.563,03
9	10.612,37	R\$ 7.133.354,04	R\$ 2.821.585,10	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ 753.995,52	R\$ 3.557.773,42	R\$ 9.477.789,61
10	10.550,01	R\$ 7.460.192,74	R\$ 2.968.307,53	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ 788.542,37	R\$ 3.703.342,84	R\$ 5.774.446,77
11	10.487,65	R\$ 7.801.734,08	R\$ 3.122.659,52	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ 824.643,29	R\$ 3.854.431,27	R\$ 1.920.015,50
12	10.425,29	R\$ 8.158.623,35	R\$ 3.285.037,81	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ 862.366,49	R\$ 4.011.219,05	R\$ 2.091.203,54
13	10.362,93	R\$ 8.531.533,21	R\$ 3.455.859,78	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ 901.783,06	R\$ 4.173.890,37	R\$ 6.265.093,92
14	10.300,57	R\$ 8.921.164,79	R\$ 3.635.564,49	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ 942.967,12	R\$ 4.342.633,18	R\$ 10.607.727,10
15	10.238,21	R\$ 9.328.248,78	R\$ 3.824.613,84	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ 985.995,90	R\$ 4.517.639,04	R\$ 15.125.366,14
16	10.175,86	R\$ 9.753.546,68	R\$ 4.023.493,76	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ 1.030.949,88	R\$ 4.699.103,03	R\$ 19.824.469,17
17	10.113,50	R\$ 10.197.851,98	R\$ 4.232.715,44	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ 1.077.912,95	R\$ 4.887.223,58	R\$ 24.711.692,75
18	10.051,14	R\$ 10.661.991,43	R\$ 4.452.816,64	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ 1.126.972,49	R\$ 5.082.202,30	R\$ 29.793.895,05
19	9.988,78	R\$ 11.146.826,40	R\$ 4.684.363,11	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ 1.178.219,55	R\$ 5.284.243,74	R\$ 35.078.138,79
20	9.926,42	R\$ 11.653.254,18	R\$ 4.927.949,99	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ 1.231.748,97	R\$ 5.493.555,22	R\$ 40.571.694,01
21	9.864,06	R\$ 12.182.209,43	R\$ 5.184.203,39	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ 1.287.659,54	R\$ 5.710.346,50	R\$ 46.282.040,52
22	9.801,70	R\$ 12.724.665,62	R\$ 5.453.781,96	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ 1.346.054,16	R\$ 5.934.829,50	R\$ 52.216.870,02
23	9.739,34	R\$ 13.311.636,57	R\$ 5.737.378,63	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ 1.407.039,99	R\$ 6.167.217,96	R\$ 58.384.087,98
24	9.676,98	R\$ 13.914.177,96	R\$ 6.035.722,31	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ 1.470.728,61	R\$ 6.407.727,03	R\$ 64.791.815,01
25	9.614,62	R\$ 14.543.388,99	R\$ 6.349.579,87	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ 8.193.809,11	R\$ 72.985.624,13

Fonte: O próprio autor



Podemos ver na Tabela 12 os resultados obtidos dos indicadores financeiros esperados para a usina FV.

Tabela 12 – Resumo dos indicadores financeiros

TMA	7,2% ao ano
VPL	R\$ 13.344.852,14
TIR	13,3% ao ano
LCOE	R\$137,46/MWh
<i>Payback</i> simples	11 anos e 6 meses

Para o cálculo do *Payback* e TIR foi utilizado como modelo de investimento o financiamento de 75% do valor do projeto, através da linha FNE Verde, do Banco do Nordeste, modalidade que conta com uma taxa de 4,97% de juros ao ano, com os valores sofrendo um reajuste de 5,2% segundo o IPCA acumulado até fevereiro de 2021, para o valor do VPL foi considerada a taxa de 7,2% ao ano. Podemos ver que de acordo com o fluxo de caixa da Figura 19, que o período de *payback* está compreendido entre o décimo primeiro e décimo segundo ano.

## CONCLUSÕES

Levando em conta os aspectos financeiros e técnicos do projeto podemos concluir através dos mecanismos utilizados que foi possível traçar métricas para quantificar a o investimento, que demonstraram que a viabilidade financeira do projeto de geração FV de 5 MW com uso de tracker. Conseguindo uma geração anual de 11.388.000 kWh, com isso é possível abater até 95% da demanda de consumidores do grupo B.

A solução para a usina FV conta com 14.205 módulos, 50 inversores e uso de seguidor solar *tracker* de eixo único. Seu projeto executivo conta com solução de integração por meio de sistema SCADA, QGBTs, Transformadores, Cubículo de distribuição e manobra, Subestação e estação meteorológica. Além do projeto executivo e montagem eletromecânica agregadas ao projeto.

No projeto financeiro foi levado em conta a depreciação dos módulos informada pelo fabricante, também foi levando em consideração na planilha de fluxo de caixa o financiamento do projeto por meio da linha FNE Verde do Banco do Nordeste, levando em consideração o índice de IPCA acumulado até o período e tributação por Lucro presumido.

O modelo tenta se aproximar o mais próximo do real, contudo, algumas considerações não foram feitas. Como incidência de ICMS sobre a geração, por se tratar de uma usina de 5 MW, valor de desconto da TUSD e reajustes tarifários. Um fator que prejudicou foi o custo de material ter aumentado devido à forte desvalorização do Real perante o Dólar.

De posse dos resultados obtidos, podemos notar que os foram atingidos indicadores positivos sobre a viabilidade do, pois levando em consideração um TMA de 7,2 e financiando 75% do projeto foi possível obter um TIR de 13,3% ao ano, algo próximo do dobro da taxa de atratividade estipulada, e com um *payback* simples de 11 anos e 6 meses.

## REFERÊNCIAS

ABINEE, **Produção Fotovoltaica**. Disponível em: <http://www.abinee.org.br/informac/arquivos/profotov.pdf>. Acesso em: 21 de fevereiro de 2021.

ABSOLAR, **Infográfico**. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>. Acesso em: 10 de março de 2021

ANEEL. **Resolução Normativa 412 de 17 de abril de 2012**. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: maio de 2019.

ANTONIK, Luís Roberto. **Análise de projetos de investimentos: uma abordagem teórico-prática**. 2001. 115 f. Dissertação (Curso de Mestrado Executivo) Escola Brasileira de Administração Pública, Fundação Getúlio Vargas, Curitiba, 2001.

FIGUEIREDO, Max Barbonaglia Sathler; MARTINS, Thiago Müller. **Comparativo Entre Usinas Fotovoltaicas: Usinas Com Sistema Tracker Ou Com Estruturas Fixas**. Universidade Do Sul De Santa Catarina, Palhoça/SC, 2017.

BARBOSA, L. K. P. (2015). **Análise técnico-econômica acerca de diferentes sistemas de geração de energia solar fotovoltaica com base no projeto Jaíba Solar**. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Elétrica, 2015, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 121p

BORDEAUX-RÊGO, R.; PAULO, G. P.; SPRITZER, I. M. d. P. A.; ZOTES, L. P. **Viabilidade econômico-financeira de projetos**. 4. ed. Rio de Janeiro: FGV, 2013.

CAMARGO SCHUBERT ENGENHEIROS ASSOCIADOS et al. **Atlas Eólico e Solar: Ceará**. Curitiba: Camargo Schubert; Fortaleza: ADECE, FIEC, SEBRAE, 2019.

CANAL SOLAR, **Licenciamento Ambiental de usina solares fotovoltaicas**. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/licenciamento-ambiental-de-usinas-solares-fotovoltaicas/>. Acesso em: 25 de fevereiro de 2020

CAPITALRESEARCH, **Payback simples: o que é e como calcular**. Disponível em: <https://www.capitalresearch.com.br/bloga/investimentos/payback-simples/#:~:text=Payback%20simples%20%C3%A9%20um%20indicador,pagar%E2%80%9D%2C%20na%20linguagem%20popular>. Acesso em: 15 de março de 2021

CORREIA NETO, Jocildo Figueiredo. **Elaboração e Avaliação de Projetos de Investimentos: considerando o risco**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

CORTEZ, Ramiro José Monteiro. **Sistema de Seguimento Solar em Produção de Energia Fotovoltaica**. 2013. 94 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade de Porto, Porto, 2013.

EOA ENERGIAS RENOVAVEIS, **Tracker (rastreador solar): vale a pena seguir o sol? Entenda as vantagens e desvantagens!** Disponível em: <https://www.ecoaenergias.com.br/2020/07/21/tracker-rastreador-solar-vantagens-desvantagens/>. Acesso em: 14 de março de 2021

ENEL, **Conexão de Micro e Minigeração Distribuída ao Sistema Elétrico da Enel Distribuição Ceará**. Disponível em: <https://www.eneldistribuicao.com.br/rj/documentos/CNC-OMBR-MAT-18-0122-EDBR.pdf>. Acesso em: 12 de março de 2021.

EPE. **Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira**. Disponível em: [http://www.cogen.com.br/content/upload/1/documentos/Solar/Solar\\_COGEN/NT\\_EnergiaSolar\\_2012.pdf](http://www.cogen.com.br/content/upload/1/documentos/Solar/Solar_COGEN/NT_EnergiaSolar_2012.pdf). Acesso em: 12 de fevereiro de 2021

FOLSOM LABS, **Row Spacing: Span-to-Rise, Ground Coverage Ratio, and Time of Day**. Disponível em: <https://www.folsomlabs.com/content/resources/module-spacing.pdf>. Acesso em: 10 de abril de 2021

FROSI, F.; CHESINI, D.; GABE, I. J.; BONA, J. C. **Análise comparativa da produção de energia de um seguidor solar de dois eixos para a região de Farroupilha - RS.** CBENS 2018 – VII Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS 2018, 2018.

G1, **Em dez anos energias renováveis quadruplicaram no mundo.** Disponível em: <https://g1.globo.com/natureza/noticia/2019/09/05/em-dez-anos-energias-renovaveis-quadruplicaram-no-mundo.ghtml>. Acesso em: 25 de fevereiro de 2021.

GIL, Francisco J. Gómez et al. **A review of solar tracker patents in spain.** In: WSEAS INTERNATIONAL CONFERENCE ON RENEWABLE ENERGY SOURCES, 3., 2009, Tenerife-Espanha, p. 292–297.

GREENPRO. **Manual sobre Tecnologias, Projeto e Instalação, 2004.** Disponível em: <<http://www.greenpro.de/po/fotovoltaico.pdf>>. Acesso em: 25 de janeiro de 2021.

GULARTE, Charles. **O que é Lucro Presumido? Veja quais são os Prós e Contras e Tabela completa.** **Contabilizei.blog**, São Paulo, 11 de novembro de 2020. Disponível em: <https://www.contabilizei.com.br/contabilidade-online/lucro-presumido/#:~:text=Os%20requisitos%20para%20aderir%20ao,tipo%20de%20atividade%20que%20exercem>. Acesso em: 14 de março de 2021

HOJI, Masakazu. **Administração financeira e orçamentária: matemática financeira aplicada, estratégias financeiras, orçamento empresarial.** 8. ed. São Paulo: Atlas, 2010

INPE. **Atlas Brasileiro de Energia Solar.** 2º. Ed. São José dos Campos – São Paulo. [s.n.], 2017.

INTERNACIONAL ENERGY AGENCY, **Strategic PV Analysis and Outreach.** Disponível em: [https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/04/IEA\\_PVPS\\_Snapshot\\_2020.pdf](https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/04/IEA_PVPS_Snapshot_2020.pdf). Acesso em: 15 de março de 2021.

KOMEKO. **Manual do Usuário.** Disponível em: <<http://www.komeco.com.br/modulosfotovoltaicos/wp->

content/uploads/2019/03/MANUAL-FOTOVOLTAICO.pdf>. Acesso em: 25 de janeiro de 2021.

KUNZ DE JESUS, Pablo. **Análise de Viabilidade Técnica e Econômica de um Sistema Solar Grid-Tie em Uma empresa de pequeno porte do setor metal-mecânico.** 2018. Monografia - Universidade Federal de Santa Maria, Santana do Livramento-RS, 2018.

LEMES JUNIOR, Antônio Barbosa; CHEROBIM, Ana Paula; RIGO, Cláudio Miessa. **Administração Financeira: princípios, fundamentos e práticas brasileiras.** 5ª reimpressão. Rio de Janeiro: Elsevier, 2002.

LI, Z.; LIU, X.; TANG, R. **Optical performance of vertical single-axis tracked solar panels.** *Renewable Energy*, v. 36, n. 1, p. 64–68, 2011.

LIRA, JOSÉ RÔMULO VIEIRA. **Desenvolvimento de um Rastreador Solar do Tipo Polar com Ajuste do Ângulo de Inclinação.** / José Rômulo Vieira Lira. - Natal, RN, 2014. (p. 19)

LIZOTE, S. A.; ANDRADE, D. A.; SILVA, F.; PEREIRA, R. S.; PEREIRA, W. S. **Análise de Investimentos: um Estudo Aplicado em uma Empresa do Ramo Alimentício.** In: SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA, 11., 2014, Resende. Artigo... Resende: SEGET, 2014.

LODI, C. **Perspectivas para a geração de energia elétrica no Brasil utilizando a tecnologia solar térmica concentrada.** 2011. 127 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) - Programa de Planejamento Energético, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

M. R. BORGES NETO; P. C. M. CARVALHO: **Geração de Energia Elétrica - Fundamentos;** Editora Érica, 2012 (ISBN978-85-365-0422-3)

MOUSAZADEH, H. et al. **A review of principle and sun-tracking methods for maximizing solar systems output.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 13, n. 8, p. 1800–1818, 2009.

NREL, **Best Research- Cell Efficiencies.** Disponível em: <https://www.nrel.gov/pv/assets/pdfs/best-research-cell-efficiencies.20200104.pdf>. Acesso em: 5 de abril de 2021.

O GLOBO, **Fatos históricos da falta de estrutura fez a crise do apagão do brasil no início do século XXI.** Disponível em: <https://acervo.oglobo.globo.com/fatos-historicos/da-falta-de-estrutura-fez-se-crise-do-apagao-no-brasil-do-inicio-do-seculo-xxi-9396417>. Acesso em: 25 de fevereiro de 2021.

PELLEGRINI, Lucas Valmir. **Projeto de usina fotovoltaica de 5 MWp em São Luiz do Purunã.** 2019. Monografia (Especialização em Energias Renováveis) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba-PR, 2019.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **CRESESB - Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos.** Disponível em: [http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual\\_de\\_Engenharia\\_FV\\_2014.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf). Acesso em: 20 de janeiro de 2021.

PORTAL ENERGIAS RENOVÁVEIS, **Diferenças entre seguidores solares de eixo único e eixo duplo.** Disponível em: <https://www.portal-energia.com/diferencas-seguidores-solares-eixo-unico-eixo-duplo/>. Acesso em: 10 de abril de 2021.

S. A. Pelaez, C. Deline, P. Greenberg, J. S. Stein and R. K. Kostuk, **"Model and Validation of Single-Axis Tracking With Bifacial PV,"** in IEEE Journal of Photovoltaics, vol. 9, no. 3, pp. 715-721, May 2019, doi: 10.1109/JPHOTOV.2019.2892872.

SOLAR CHOICE, **Solar Trackers.** Disponível em: <https://www.solarchoice.net.au/blog/solar-trackers/>. Acesso em: 20 de março de 2021.

Solar Tracking Systems, SLIDESHARE. Disponível em: <https://www.slideshare.net/ArupendraGhosh/solar-tracking-systems>, acesso em: 20 de março de 2021.

SOLSTICIOENERGIA, **Como Funciona Célula Fotovoltaica**. Disponível em: <https://www.solsticioenergia.com/2017/08/17/como-funciona-celula-fotovoltaica/>.

Acesso em: 25 de janeiro de 2021

Trindade Martins Moreira da Silva, Guilherme. **Dimensionamento e Análise de Viabilidade Econômica de Usina Fotovoltaica em Nova Iguaçu – RJ** / Guilherme Trindade Martins Moreira da Silva. – Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2015.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ. Biblioteca Universitária. **Guia de normalização de trabalhos acadêmicos da Universidade Federal do Ceará**. Fortaleza, 2013.

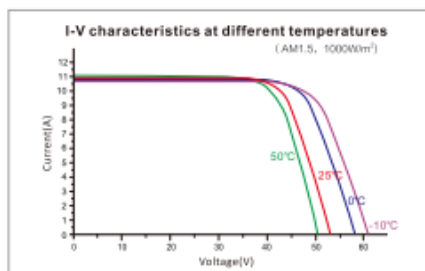
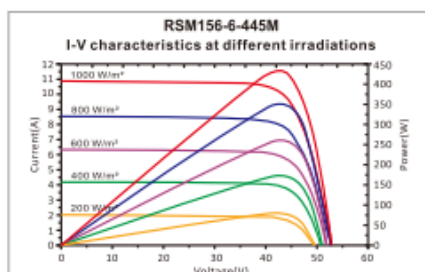
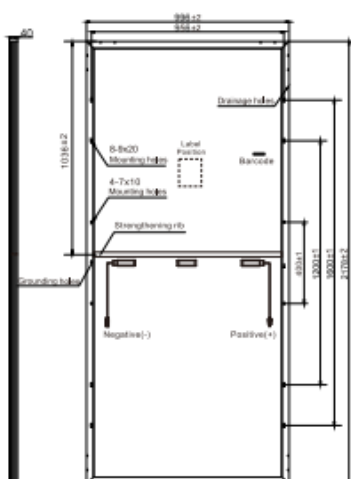
VILLALVA, Marcelo Gradella. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações**. 1ª Ed. São Paulo. Editora Érica, 2012.



## APÊNDICE A –

Ano	IRPJ	CSLL	PIS	COFINS	ISS
0	R\$0,00	R\$0,00	R\$0,00	R\$0,00	R\$0,00
1	R\$59.744,69	R\$35.846,82	R\$32.361,71	R\$149.361,73	R\$248.936,22
2	R\$62.498,68	R\$37.499,21	R\$33.853,45	R\$156.246,70	R\$260.411,16
3	R\$65.377,53	R\$39.226,52	R\$35.412,83	R\$163.443,83	R\$272.406,38
4	R\$68.386,79	R\$41.032,07	R\$37.042,84	R\$170.966,97	R\$284.944,94
5	R\$71.532,22	R\$42.919,33	R\$38.746,62	R\$178.830,56	R\$298.050,93
6	R\$74.819,87	R\$44.891,92	R\$40.527,43	R\$187.049,67	R\$311.749,45
7	R\$78.256,01	R\$46.953,60	R\$42.388,67	R\$195.640,01	R\$326.066,69
8	R\$81.847,19	R\$49.108,31	R\$44.333,89	R\$204.617,97	R\$341.029,95
9	R\$85.600,25	R\$51.360,15	R\$46.366,80	R\$214.000,62	R\$356.667,70
10	R\$89.522,31	R\$53.713,39	R\$48.491,25	R\$223.805,78	R\$373.009,64
11	R\$93.620,81	R\$56.172,49	R\$50.711,27	R\$234.052,02	R\$390.086,70
12	R\$97.903,48	R\$58.742,09	R\$53.031,05	R\$244.758,70	R\$407.931,17
13	R\$102.378,40	R\$61.427,04	R\$55.454,97	R\$255.946,00	R\$426.576,66
14	R\$107.053,98	R\$64.232,39	R\$57.987,57	R\$267.634,94	R\$446.058,24
15	R\$111.938,99	R\$67.163,39	R\$60.633,62	R\$279.847,46	R\$466.412,44
16	R\$117.042,56	R\$70.225,54	R\$63.398,05	R\$292.606,40	R\$487.677,33
17	R\$122.374,22	R\$73.424,53	R\$66.286,04	R\$305.935,56	R\$509.892,60
18	R\$127.943,90	R\$76.766,34	R\$69.302,94	R\$319.859,74	R\$533.099,57
19	R\$133.761,92	R\$80.257,15	R\$72.454,37	R\$334.404,79	R\$557.341,32
20	R\$139.839,05	R\$83.903,43	R\$75.746,15	R\$349.597,63	R\$582.662,71
21	R\$146.186,51	R\$87.711,91	R\$79.184,36	R\$365.466,28	R\$609.110,47
22	R\$152.815,99	R\$91.689,59	R\$82.775,33	R\$382.039,97	R\$636.733,28
23	R\$159.739,64	R\$95.843,78	R\$86.525,64	R\$399.349,10	R\$665.581,83
24	R\$166.970,14	R\$100.182,08	R\$90.442,16	R\$417.425,34	R\$695.708,90
25	R\$174.520,67	R\$104.712,40	R\$94.532,03	R\$436.301,67	R\$727.169,45

## ANEXO 01 –


Dimensions of PV Module Unit: mm

## Our Partners:

REM156-M-98B-EN-H2-2-2020

## ELECTRICAL DATA (STC)

Model Number	RSM156-6-430M	RSM156-6-435M	RSM156-6-440M	RSM156-6-445M	RSM156-6-450M	RSM156-6-455M
Rated Power in Watts-Pmax(Wp)	430	435	440	445	450	455
Open Circuit Voltage-Voc(V)	52.38	52.50	52.62	52.72	52.82	52.92
Short Circuit Current-Isc(A)	10.47	10.57	10.67	10.77	10.87	10.97
Maximum Power Voltage-Vmpp(V)	43.60	43.70	43.80	43.90	44.00	44.10
Maximum Power Current-Impp(A)	9.87	9.97	10.06	10.15	10.24	10.32
Module Efficiency (%) *	19.8	20.1	20.3	20.5	20.7	21.0

STC: Irradiance 1000 W/m<sup>2</sup>, Cell Temperature 25°C, Air Mass AM1.5 according to EN 60904-3.

\* Module Efficiency (%): Round-off to the nearest number

## ELECTRICAL DATA (NMOT)

Model Number	RSM156-6-430M	RSM156-6-435M	RSM156-6-440M	RSM156-6-445M	RSM156-6-450M	RSM156-6-455M
Maximum Power-Pmax (Wp)	321.8	325.5	329.3	332.9	336.6	340.3
Open Circuit Voltage-Voc (V)	48.20	48.30	48.41	48.50	48.59	48.69
Short Circuit Current-Isc (A)	8.59	8.67	8.75	8.83	8.91	9.00
Maximum Power Voltage-Vmpp (V)	39.90	40.09	40.18	40.26	40.33	40.41
Maximum Power Current-Impp (A)	8.06	8.12	8.20	8.27	8.35	8.42

NMOT: Irradiance at 800 W/m<sup>2</sup>, Ambient Temperature 20°C, Wind Speed 1 m/s.

## MECHANICAL DATA

Solar cells	Monocrystalline
Cell configuration	156 cells (6×13×6×13)
Module dimensions	2178×996×40mm
Weight	25.5kg
Superstrate	High Transmission, Low Iron, Tempered ARC Glass
Substrate	White Back-sheet
Frame	Anodized Aluminium Alloy type 6063T5, Silver Color
J-Box	Potted, IP68, 1500VDC, 3 Schottky bypass diodes
Cables	4.0mm <sup>2</sup> (12AWG), Positive(+)350mm, Negative(-)350mm (Connector Included)
Connector	Risen Twinsel PV-SY02, IP68

## TEMPERATURE &amp; MAXIMUM RATINGS

Nominal Module Operating Temperature (NMOT)	44°C±2°C
Temperature Coefficient of Voc	-0.29%/°C
Temperature Coefficient of Isc	0.05%/°C
Temperature Coefficient of Pmax	-0.37%/°C
Operational Temperature	-40°C~+85°C
Maximum System Voltage	1500VDC
Max Series Fuse Rating	20A
Limiting Reverse Current	20A

## PACKAGING CONFIGURATION

	40ft(HQ)	20ft
Number of modules per container	540	270
Number of modules per pallet	27	27
Number of pallets per container	20	10
Packaging box dimensions (LxWxH) in mm	2205×1130×1130	2205×1130×1130
Box gross weight[kg]	745	745

CAUTION: READ SAFETY AND INSTALLATION INSTRUCTIONS BEFORE USING THE PRODUCT.

©2020 Risen Energy. All rights reserved. Specifications included in this datasheet are subject to change without notice.

## ANEXO 02 –

## Inversor String SIW500H - ST100 HV

Especificações técnicas	SIW500H - ST100 HV
<b>Eficiência</b>	
Eficiência máxima	99,0%
Eficiência europeia	98,8%
<b>Entrada</b>	
Tensão de entrada máxima	1.500 V
Corrente máxima por MPPT	22 A
Corrente de curto-circuito máxima por MPPT	33 V
Tensão de partida	650 V
Faixa de tensão de operação dos MPPTs	600 V ~ 1.450 V
Tensão de entrada nominal	1.080 V
Número máximo de entradas	12
Número de MPPTs	6
<b>Saída</b>	
Potência ativa nominal CA	100.000 W @ 40 °C
Potência aparente CA máxima	105.000 VA @ 35 °C
Potência ativa CA máxima (cosφ=1)	105.000 W @ 35 °C
Tensão de saída nominal	800 V ca, 3 W+PE
Corrente nominal de saída	72,2 A
Frequência de rede CA nominal	50 Hz / 60 Hz
Corrente de saída máxima	76,5 A
Fator de potência ajustável	0,8 LG ... 0,8 LD
Distorção harmônica total máxima	≤3%
<b>Proteção</b>	
Seccionadora no lado de entrada	Sim
Proteção anti-ilhamento	Sim
Proteção contra sobrecorrente CA	Sim
Proteção contra polaridade CC invertida	Sim
Monitoramento de falha de <i>string</i> no arranjo PV	Sim
Supressor de surto CC	Tipo II
Supressor de surto CA	Tipo II
Deteção de isolamento CC	Sim
Unidade de monitoramento de correntes residuais	Sim
<b>Comunicação</b>	
Display	Indicadores LED, Bluetooth + <i>app</i>
RS485	Sim
USB	Sim
Power Line Communication (PLC)	Sim
<b>Geral</b>	
Dimensões (L x A x P)	1.075 x 605 x 310 mm
Peso (com placa de montagem)	77 kg
Faixa de temperatura de operação	-25 °C ~ 60 °C
Resfriamento	Convecção natural
Altitude máxima de operação	4.000 m
Umidade relativa	0 ~ 100%
Conector CC	Amphenol H4 PLUS ou UTX
Conector CA	Terminal PG à prova d'água + Terminais grampo
Grau de proteção	IP65
Topologia	Sem transformador



## ANEXO 03 –

## Technical Specifications

IEC  
62817SELF  
POWERED

## SYSTEM DESCRIPTION

Tracker type	Dual-row decentralized horizontal single-axis tracker
Ground Coverage Ratio	Configurable. Standard: 33%
PV module area per tracker	Approx. 250 m <sup>2</sup> /2,691 sq ft

## DIMENSIONS (for a 72 cel. PV and 1/GCR=3 Tracker)

PV modules per torsion row	60
Number of rows	2
Peak power (400Wp PV module mono/bifacial)	48 kWp

## sua ficha técnica encontra-se

Drive transmission	Rotative electromechanical actuator
Power back-up	Self-powered (LiFe P04 battery)/Powered from the grid
Drive set power consumption	<0.035 kWh/day
Motor power	65 W/24 DC

## MECHANICAL SPECIFICATIONS

Range of motion	110° (+/-55°)
Max. wind speed (in horizontal position)	140 km/h 87 mph
Structure Materials	HDG Steel S235, S275, S355, S350GD ZM310 or equivalent
Compliance	Grounding bonding UL2703 Structural design ASCE7-10 or EUROCODE
Site topography flexibility	15% N-S / 10% E-W in the same tracker No limits E-W in different trackers (higher values to be validated)

## CONTROL SYSTEM

Tracking control system	NREL SOLPOS astronomical algorithm running at PLC (Accuracy ±0.001°)
Shadow management	Customized backtracking algorithm
Wind management	Stow criteria configurable by user
Communications protocol	Modbus RS485 or Modbus Wireless option (Zigbee®)

## MAINTENANCE

Maintenance	Annual inspection
-------------	-------------------

## WARRANTY

Structure	10 years
Drive gear & control system	5 years

