



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE
CURSO

**Projeto de Sistemas Fotovoltaicos conectados à Rede
Elétrica utilizando Estacionamento com Cobertura de
Módulos Fotovoltaicos**

José Arthur Martins Farias

Brasília, outubro de 2020

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
Faculdade de Tecnologia

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Projeto de Sistemas Fotovoltaicos conectados à Rede Elétrica utilizando Estacionamento com Cobertura de Painéis Solares

Jose Arthur Martins Farias

Relatório submetido ao Departamento de Engenharia Elétrica como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica

Banca Examinadora

Prof. Marco Antônio Freitas do Egito Coelho, Ph.D, FT/UnB
Orientador

FICHA CATALOGRÁFICA

--

RESUMO

O estudo proposto a ser desenvolvido neste trabalho visa elaborar um projeto para estacionamento com cobertura de módulos fotovoltaicos conectados à rede elétrica (*Carport*) com três diferentes cenários de inversores, sendo este projeto implementado no estacionamento do Campus Darcy Ribeiro. Para o levantamento deste projeto, utilizou-se orçamento e análise de estrutura por empresas especializadas em estacionamento com cobertura de módulos fotovoltaicos. Além disso, analisou-se o local a ser implementado o projeto; suas modificações de projeto para três tipos diferentes de inversores; e o levantamento da análise econômica do projeto, onde observamos sua viabilidade e rentabilidade nos três diferentes cenários. Por fim, realizaram-se simulações e comparações com o modelo do projeto proposto.

Palavras-Chave: *Sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica; Módulos fotovoltaicos; Estacionamento Solar; Carport.*

ABSTRACT

This Project was developed aiming to elaborate a project of parking lot with photovoltaic panels as roof on-grid (*Carport*) with three different scenarios of inverters, besides that this project will be implemented on Darcy Ribeiro Campus. For the survey of this project, a budget and structure analysis were used by companies specialized in parking with photovoltaic panel coverage, in addition, an analysis of the place to be implemented was carried out, modification of the project for three different types of inverters and survey the economic analysis of the project, where we observe its feasibility and profitability for those three different scenarios. Finally, simulations were carried out and compared with the proposed project model.

Key-word: *Photovoltaic Systems Connected on-grid; Photovoltaic panels; Solar parking; Carport*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1	Acumulado global da capacidade fotovoltaica desde 1992 em MW - Crescimento da potência instalada ao longo dos anos.....	2
Figura 1.2	Acumulado da capacidade produzida em GW - Preço do módulo fotovoltaico ao longo dos anos.....	2
Figura 1.3	Potência instalada no ano de 2016 e acumulada até 2016.....	2
Figura 2.1	Sistema fotovoltaico conectado à rede.....	4
Figura 2.2	Mapa do potencial de geração solar fotovoltaica em termos do rendimento energético anual para todo o Brasil.....	5
Figura 3.1	Posição da Terra com relação ao Sol, ao longo do ano.....	9
Figura 3.2	Geração elétrica por região no mundo (TWh) – Ásia e Oceania, América do Norte, Europa, Eurásia, América do Sul e Central, Centro Leste e África.....	10
Figura 3.3	Fluxo de potência global.....	10
Figura 3.4	Relações entre a Terra e o Sol.....	11
Figura 3.5	Coordenadas Geográficas.....	12
Figura 3.6	Variação da radiação solar com a altura do Sol.....	12
Figura 3.7	Ilustração da posição solar em relação ao plano horizontal.....	13
Figura 3.8	Estrutura de bandas dos materiais.....	14
Figura 3.9	Corte transversal de uma célula solar com a junção pn.....	15
Figura 3.10	Método Czochralski – Fases (Fusão de dopagem do polissilício, Inserção do cristal semente, Começo do crescimento do cristal, Cristal sendo erguido, Formação do Cristal com resíduo de silício derretido).....	17
Figura 3.11	Gráfico das curvas I-V e P-V da célula solar.....	17
Figura 3.12	Curvas I-V de duas células fotovoltaicas quando conectadas em série ou	

paralelo.....	19
Figura 3.13 Hierarquia fotovoltaica.....	20
Figura 4.1 Local do estacionamento fotovoltaico nos Pavilhões João Calmon e Anísio Teixeira.....	21
Figura 4.2 Layout da estrutura do estacionamento para receber os painéis fotovoltaicos.....	22
Figura 4.3 Projeto da Sonnen Energia em parceria com a Solarfix, para a instalação do estacionamento fotovoltaico.....	22
Figura 4.4 Curva de irradiação solar em Brasília no período de 1 ano e com inclinação de 16°.....	23
Figura 4.5 Dados solarimétricos do SAM.....	24
Figura 4.6 Detalho do módulo fotovoltaico CS3W 405P da Canadian.....	26
Figura 5.1 Simulação do cenário 1.....	36
Figura 5.2 Simulação do cenário 2.....	37
Figura 5.3 Simulação do cenário 3.....	38

LISTA DE ABREVIATURAS

PJC	Pavilhão João Calmon
EIA	Energy Information Administration
WEC	World Radiation Center
STC	Standard Test Conditions
CC	Corrente Contínua
CA	Corrente Alternada
CRESEB	Centro de referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito
SAM	System Advisor Model
NSRDB	National Solar Radiation Database
MPPT	Maximum Power Point Tracking
DPS	Dispositivo de proteção contra surtos
NBR	Norma Brasileira
CEB	Companhia Energética de Brasília

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Geração por fontes alternativas no mundo 10 maiores países em 2016 (TWh).....	6
Tabela 2.2	Perdas típicas em um sistema conectado à rede.....	7
Tabela 4.1	Relação entre ângulo do painel fotovoltaico e a latitude.....	25
Tabela 4.2	Configuração dos inversores com relação ao módulo fotovoltaico CS3W 405p.....	28
Tabela 4.3	Dados do módulo fotovoltaico Canadian CS3W 405P.....	28
Tabela 4.4	Eficiência média de componentes de um sistema fotovoltaico.....	32
Tabela 4.5	Perdas do projeto fotovoltaico.....	32
Tabela 4.6	Geração elétrica por cenário.....	33
Tabela 4.7	Orçamento da instalação elétrica.....	34
Tabela 4.8	Orçamento estrutural do estacionamento.....	35
Tabela 4.9	Orçamento dos módulos e inversores.....	35
Tabela 4.10	Custo total por cenário.....	35
Tabela 5.1	Payback dos cenários fotovoltaicos.....	38
Tabela 5.2	Rentabilidade por cenário fotovoltaico.....	39
Tabela 5.3	Comparativo de rentabilidade em 2020.....	39

LISTA DE SÍMBOLOS

GW	Giga Watt
MW	Mega Watt
TWh	Tera Watt hora
KWh	Kilo Watt hora
W	Watt
V	Volt
A	Ampere
Kwp	Kilo Watt pico
m²	Metro quadrado
m	Metro
mm²	Milímetro quadrado
K	kilo
θ_z	Ângulo zenital
α	Ângulo da altura ou Elevação Solar
γ_s	Ângulo azimutal do Sol
γ	Ângulo azimutal da superfície
β	Inclinação da superfície de Captação
θ	Ângulo de incidência
eV	Elétron-volt
C	Carbono
Si	Silício
Ge	Germânio
As	Arsênio
P	Fósforo
Se	Selênio
Te	Telúrio
GaAs	Arsenieto de Gálio
GaN	Nitreto de Gálio
CdTe	Telureto de Cádmiio
InGaAsP	Arseneto Fosfeto de Índio Gálio
LED	Light-emitting diode
Mono-Si	Silício monocristalino

Multi-Si	Silício policristalino
<i>Isc</i>	Corrente de curto circuito
<i>Voc</i>	Tensão de circuito aberto
<i>Pmp</i>	Ponto de máxima potência
R\$	Reais
<i>Iss</i>	Irradiação solar
<i>Wp</i>	Watt pico
<i>Pinst</i>	Potência instalada do sistema de geração
<i>EMd</i>	Energia produzida diariamente por cada módulo
<i>Am</i>	Área do módulo fotovoltaico
<i>Pm</i>	Potencia dos módulos
<i>Nm</i>	Número de módulos
η	Rendimento do módulo fotovoltaico
<i>Nmod</i>	Número máximo de módulos fotovoltaicos
<i>Pmod</i>	Potência do módulo fotovoltaico
<i>Pinv</i>	Potência do inversor
<i>VinvMin</i>	Tensão mínima de entrada no MPPT
<i>Vmod</i>	Tensão de operação do módulo fotovoltaico na STC
<i>VinvMax</i>	Tensão máxima de entrada no MPPT
<i>Nmodp</i>	Número mínimo e máximo de módulos em paralelo na <i>string</i>
<i>IinvMax</i>	Corrente máxima de entrada do inversor
<i>Imod</i>	Corrente do módulo fotovoltaico
<i>S</i>	Seção mínima do cabo
<i>L</i>	Comprimento do cabo
<i>P</i>	Potência do sistema
ρ	Condutividade elétrica do material
<i>e</i>	Queda de tensão
<i>U</i>	Tensão de trabalho
<i>IB</i>	Corrente de projeto
<i>IN</i>	Corrente nominal do dispositivo de proteção
<i>IZ</i>	Capacidade de condução de corrente de condutores vivos
<i>I2</i>	Corrente convencional de atuação dos dispositivos de proteção

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Introdução	1
1.2	Motivação	3
1.3	Objetivo	3
1.4	Organização do trabalho	3
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1	Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica	4
2.2	Sistemas Fotovoltaicos no Brasil	4
2.3	Perdas nos Sistemas Fotovoltaicos	7
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	8
3.1	Recurso solar	8
3.2	Efeito Fotovoltaico	13
3.3	Células Fotovoltaicas	15
3.4	Módulo Fotovoltaico	17
3.5	Arranjos Fotovoltaicos	18
4	DESENVOLVIMENTO	19
4.1	Descrição do Projeto	19
4.2	Definição do Local	20
4.3	Estrutura da Cobertura	20
4.4	Inclinação e Orientação	22
4.5	Módulo Fotovoltaico	24
4.6	Inversores	25
4.7	Instalação Elétrica	28
4.8	Cenário de Perdas	31

4.9 Geração de Energia Fotovoltaica	32
4.10 Orçamento	33
5 RESULTADOS	35
5.1 Simulações do Projeto	35
5.2 <i>Payback</i>	37
6 DISCUSSÕES E CONCLUSÕES.....	39
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40
ANEXOS.....	43

1 INTRODUÇÃO

1.1 Introdução

Desde quando o consumo de energia elétrica passou a exigir um maior potencial de geração de energia elétrica no mundo, os efeitos provenientes da geração dessa energia passaram a ser levados em consideração nas cúpulas dos países de maior influência mundial. Dessa forma, as mudanças climáticas impactaram a geração de energia elétrica, exigindo que a origem dessa energia proveniente de *fontes “limpas”, ou seja, fontes renováveis*. Nesse contexto, o efeito estufa passou a demandar uma maior variedade de fontes de energia elétrica, dentre elas a energia fotovoltaica.

No contexto mundial, a energia fotovoltaica vem ganhando cada vez mais espaço dentre as fontes de energia elétrica no mundo. Tendo sua capacidade de geração aumentada em 92% entre os anos de 2017 a 2018, sendo que o crescimento foi de quatro vezes de 2016 para 2017. [16].

Observando de um contexto anterior ao de 2016, é possível verificar que a geração de energia fotovoltaica foi o segmento que mais cresceu no mundo e em proporções maiores que as demais fontes de energia. Em um curto espaço de tempo, aproximadamente 8 anos, a geração fotovoltaica cresceu de 1 *GW* para 10 *GW*, tendo esse feito se repetido de forma acelerada entre os anos 2008 e 2012, crescendo de 10 *GW* para 100 *GW*. [20]

Dentre os vários fatores que influenciaram esse crescimento expressivo na geração fotovoltaica, pode-se citar a expansão do mercado global por energia elétrica, mudanças climáticas debatidas em reuniões relevantes para o mundo, políticas públicas de fomento à essas fontes de energia, queda no preço dos módulos fotovoltaicos e dos componentes desse sistema de geração e desenvolvimento de novas tecnologias no ramo da geração fotovoltaica. [20].

As Figuras 1.1, 1.2 e 1.3 abaixo representam exatamente o que foi discutido acima, ou seja, demonstra o crescimento da potência do sistema fotovoltaico no mundo, o preço diminuindo referente ao módulo fotovoltaico e a capacidade instalada até o ano de 2016 no mundo.

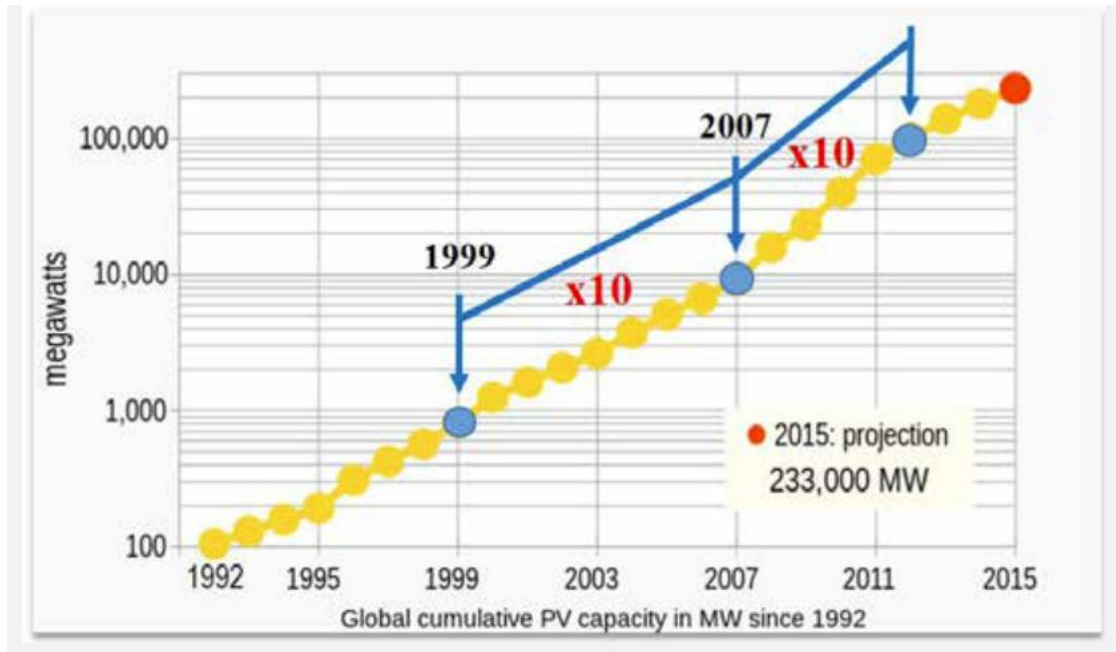


Figura 1.1 Acumulado global da capacidade fotovoltaica desde 1992 em MW - Crescimento da potência instalada ao longo dos anos. [20]

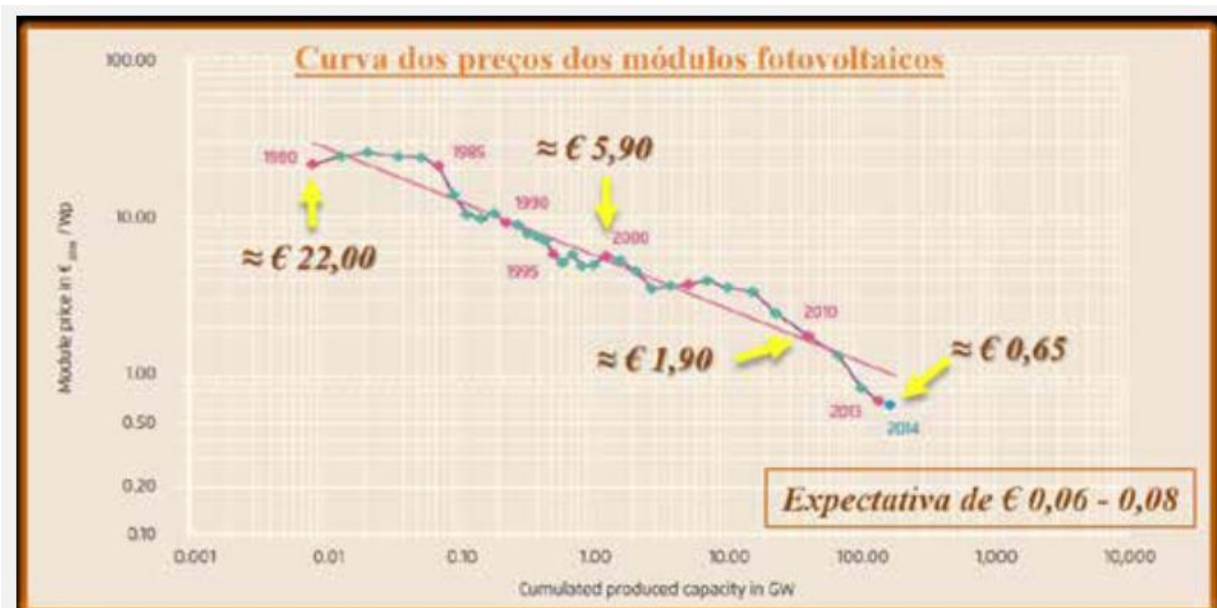


Figura 1.2 Acumulado da capacidade produzida em GW - Preço do módulo fotovoltaico ao longo dos anos.[20]


1		China	34,5 GW	1		China	78,1 GW
2		USA	14,7 GW	2		Japan	42,8 GW
3		Japan	8,6 GW	3		Germany	41,2 GW
4		India	4 GW	4		USA	40,3 GW
5		UK	2 GW	5		Italy	19,3 GW
6		Germany	1,5 GW	6		UK	11,6 GW
7		Korea	0,9 GW	7		India	9 GW
8		Australia	0,8 GW	8		France	7,1 GW
9		Philippines	0,8 GW	9		Australia	5,9 GW
10		Chile	0,7 GW	10		Spain	5,5 GW

Figura 1.3 Potência instalada no ano de 2016 e acumulada até 2016.[20]

1.2 Motivação

Em virtude da disponibilidade de energia solar do local, seria possível melhor utilizar o estacionamento da Universidade de Brasília, localizado no entorno do Pavilhão João Calmon (PJC), disponibilizando para os usuários do estacionamento um ganho direto, através da sombra produzida, e um ganho indireto, através da possibilidade de realocar o orçamento com energia elétrica consumida para algum projeto acadêmico da instituição, de maneira a beneficiar o usuário do estacionamento novamente. Com isso, a possibilidade de melhor utilização do espaço da universidade corresponde à motivação principal para minha contribuição com a Universidade de Brasília, lembrando que as alterações na identidade visual da UnB deverá passar pela aprovação da Infra/CEPLAN.

1.3 Objetivo

O objetivo deste trabalho é realizar o levantamento de um projeto de cobertura de estacionamento com módulos fotovoltaicas, visando proporcionar à Universidade de Brasília uma redução no gasto com energia elétrica, por meio de uma fonte de energia sustentável. Além disso, será possível proporcionar um maior conforto para os usuários do estacionamento solar, em virtude da sombra produzida pela estrutura proposta.

1.4 Organização do trabalho

Este trabalho está distribuído em seis tópicos que abordarão desde o cenário geral e o contexto em que se encontra o sistema fotovoltaico no Brasil, no caso os tópicos introdução e revisão bibliográfica, até a elaboração econômica do projeto fotovoltaico. Além disso, será abordada a teoria por trás da energia fotovoltaica, no tópico fundamentação teórica e, por fim, será apresentado o projeto do sistema fotovoltaico conectado à rede

elétrica utilizando estacionamento com cobertura de módulos fotovoltaicos nos tópicos desenvolvimento, resultados e discussões e conclusões. Os tópicos serão desenvolvidos em seus subtópicos, de maneira a aprofundar os temas abordados.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica

O sistema fotovoltaico conectado à rede consiste no não armazenamento de energia elétrica, devido a sua geração durante o dia e o consumo da rede elétrica durante a noite. Dessa forma, não é necessário utilizar um banco de bateria para o armazenamento de energia e trabalha-se com “créditos de energia elétrica”. Assim, durante o dia, o sistema fotovoltaico gera créditos ao gerar energia elétrica para a rede e, durante o período da noite, esse crédito será consumido, visto que, durante a noite, a rede irá suprir a demanda de energia elétrica do local onde o sistema fotovoltaico foi instalado. Portanto, esse sistema funciona como uma fonte complementar ao sistema elétrico de grande porte. [19].

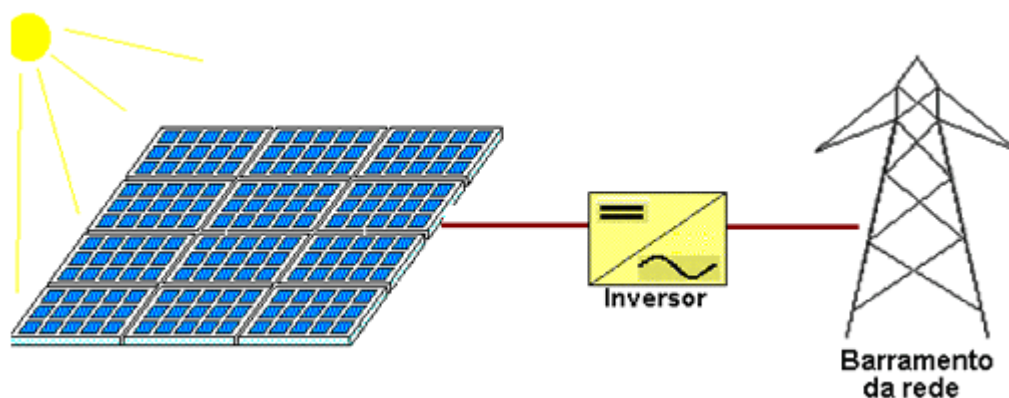


Figura 2.1 Sistema fotovoltaico conectado à rede. [19]

Há uma série de vantagens para a utilização de sistemas fotovoltaicos conectados à rede, sendo elas:

- O local onde será consumida a energia elétrica está junto ao local de geração, logo, as perdas por transmissão serão mínimas;
- O local onde será produzida a energia elétrica já é um local que utiliza energia elétrica, logo, o local da instalação estará integrado à edificação;
- A montagem da instalação elétrica pode substituir revestimentos e coberturas, como no caso dos *carport* (estacionamento com cobertura de módulos fotovoltaicos).

2.2 Sistemas Fotovoltaicos no Brasil

O aproveitamento de energia solar no Brasil ainda é pequeno, porém, o potencial energético para esse tipo de geração de energia é grande para a maior parte do país. Destaca-se nesse seguimento de geração o potencial referente ao sistema fotovoltaico, a região Nordeste, que apresenta o índice de irradiação solar e a menor variabilidade diária dentre as regiões do país. [18]. Como pode ser visto na Figura 2.2 abaixo.

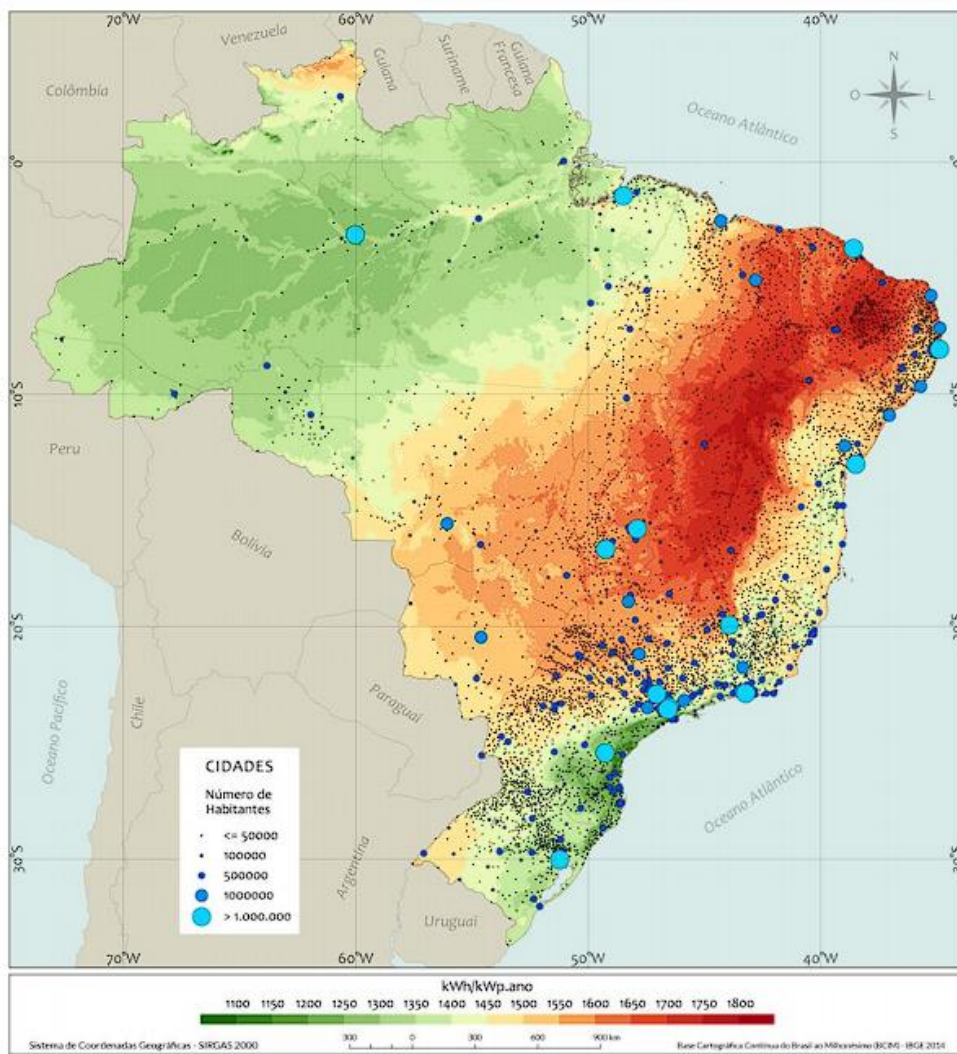


Figura 2.2 Mapa do potencial de geração solar fotovoltaica em termos do rendimento energético anual para todo o Brasil. [18]

Segundo o Anuário Estatístico de Energia Elétrica, apesar da capacidade instalada de geração de eletricidade no Brasil ter sido expandida em mais de 3% no período entre 2017 e 2018, a maior expansão proporcional ocorreu na geração solar, a qual fechou o ano de 2018 com um aumento na potência instalada de mais de 90% em relação a 2017. [16].

Além disso, caracterizando a eletricidade gerada, foram produzidos 601 TWh, o que condiz com um crescimento de 2% entre 2017 e 2018. Cabe ressaltar que as maiores altas percentuais ocorreram na geração eólica (+14,4%) e no segmento de outras fontes

renováveis, como a energia solar e o biodiesel, onde ocorreu um crescimento de 19,8%. [16].

Tabela 2.1 Geração por fontes alternativas no mundo - 10 maiores países em 2016 (TWh)

World alternative sources generation – 2016 top ten countries (TWh)							
	2012	2013	2014	2015	2016	Δ% (2016/2015)	Part. % (2016)
Mundo	1.051,4	1.253,6	1.420,3	1.637,0	1.899,1	16,0	100
China	143,3	206,0	242,7	294,3	388,5	32,0	20,5
Estados Unidos	222,5	259,5	288,0	307,4	358,4	16,6	18,9
Alemanha	128,1	135,7	150,1	175,0	174,6	-0,2	9,2
Japão	53,3	64,5	76,6	93,4	111,9	19,8	5,9
Índia	52,9	60,5	68,6	78,8	102,6	30,3	5,4
Brasil	40,3	47,1	58,6	70,9	84,6	19,3	4,5
Reino Unido	38,0	50,5	61,1	80,7	82,6	2,4	4,4
Espanha	65,8	74,0	70,5	68,2	67,3	-1,3	3,5
Itália	47,5	56,2	58,8	59,7	62,0	3,9	3,3
Canadá	22,3	29,2	37,1	41,8	46,4	10,9	2,4
Brasil (6º)	40,3	47,1	58,6	70,9	84,6	19,3	4,5
Outros	217,4	249,9	282,5	329,2	371,4	12,8	19,6

Fonte: EIA; para o Brasil; BEM, 2018

Fontes alternativas: eólica, solar, das marés, das ondas, biomassa e resíduos – para o Brasil, apenas biomassa, eólica e solar.

De acordo com o portal solar, em março de 2020, os estados que mais possuem potência instalada de energia solar no Brasil são Minas Gerais (19,2%), Rio Grande do Sul (13,5%), São Paulo (12%), Paraná (9,4%) e Mato Grosso (6,4%), totalizando 60,5% da potência instalada no Brasil, apesar de a região com maior incidência de radiação solar no Brasil ser a região Nordeste.

Entretanto, tratando-se da escala de municípios, Brasília, capital do Distrito Federal, encontra-se em quarto lugar com potência instalada de 24 MW, possibilitando assim o acesso às normas e legislações em vigência.

2.3 Perdas nos Sistemas Fotovoltaicos

O principal fator influenciador no sistema fotovoltaico é o cenário de perdas desse sistema. E esse fator acontece por diversas causas, como:

- Sombreamento;
- Temperatura no módulo fotovoltaico;
- Rendimento dos dispositivos utilizados;
- *Mismatch*;
- Degradação do sistema fotovoltaico.

Apesar de existirem diversos fatores que influenciam no rendimento do sistema fotovoltaico, pode-se comparar duas tabelas de rendimento em tempos distintos e analisar o avanço que se obteve com relação ao rendimento do sistema fotovoltaico.

Um levantamento feito de maneira mais detalhada de perdas típicas em um sistema fotovoltaico, onde é possível observar a diferença tecnológica no ano de 2014 e que trouxe uma perda total do sistema de 18%. Dessa forma, conclui-se que em 5 anos a perda total no sistema caiu de 40% até 18%.

Tabela 2.2 Perdas típicas em um sistema conectado à rede. [21]

Perda	Valor Considerado	Variações da perda
Desvio no rendimento nominal do módulo e da radiação de $1000W/m^2$	2,5%	-5% a 10%
Temperatura no módulo	3,5%	-3% a 6%
Perdas nos condutores do lado CC	2%	1% a 3%
Perdas nos condutores do lado CA	1%	0,7% a 2%
Eficiência do Inversor na conversão	1,5%	1% a 15%
{Mismatch} no MPPT	2%	1,5% a 3%
Sombreamento	0%	0% a 100%
Diodos e Conexões	0,5%	0,3% a 1%
Transformadores (como os de isolamento no inversor, por exemplo)	2%	2% a 4%
Sistema {Solar-Tracking}	0%	0% a 2%
Degradação na incidência solar inicial	1%	1% a 10%
Indisponibilidade do sistema	0%	0% a 0,5%
Sujeira nos módulos	2%	2% a 25%
Total de perdas	18%	

Logo, podemos observar que a perda média em sistemas fotovoltaicos está próxima de 20%.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Recurso solar

O Sol, além de ser a principal fonte de energia para o planeta Terra, também é indispensável para a vida, capaz de fornecer um grande potencial energético através de sua radiação solar, que pode ser captada e convertida em outras formas de energia, dentre elas a energia elétrica. [1].

A insolação ou radiação emitida pelo Sol pode ser considerada a quantidade de energia solar emitida, por unidade de área e unidade de tempo, sobre uma superfície perpendicular aos raios solares. [1]. Logo, a radiação solar dependerá do local da superfície terrestre, da hora do dia e da época do ano, visto que a posição da Terra varia ao longo do ano, como mostra a Figura 3.1.

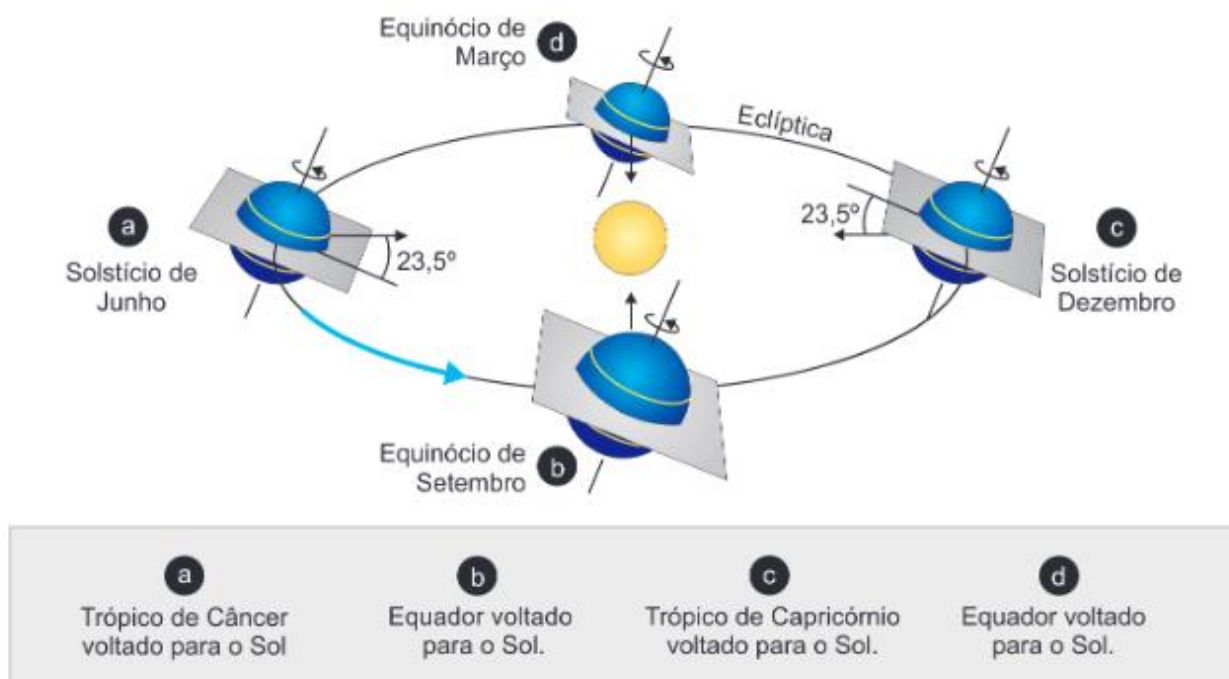


Figura 3.1 Posição da Terra com relação ao Sol, ao longo do ano

A radiação solar que atinge o topo da atmosfera terrestre permite que seja obtido o valor da constante solar, a qual é definida como o valor da radiação solar no topo da atmosfera que chega sobre uma superfície perpendicular aos raios solares a uma distância média Terra-Sol, tendo seu valor aproximado de 1.367 W/m^2 e foi adotado pelo (WEC – *World Radiation Center*). [1].

A partir do valor da constante solar incidindo sobre a área projetada da Terra, e

considerando o raio médio da Terra como 6.371 km, pode-se obter a potência total disponível no topo da atmosfera, que é de, aproximadamente, 174 mil Terawatts [1], o equivalente à energia elétrica gerada pelo mundo em 8 horas no ano de 2016. Ou seja, a potência total disponível no topo da atmosfera terrestre durante 8 horas, seria capaz de suprir a geração de energia elétrica mundial no ano de 2016.

Geração elétrica por região no mundo (TWh)

World electricity generation by region (TWh)

	2012	2013	2014	2015	2016	Δ% (2016/2015)	"Part. % (2015)"	
Mundo	21.571,5	22.245,4	22.686,8	23.118,1	23.776,7	2,8	100	World
Ásia e Oceania	8.752,6	9.327,2	9.685,6	9.972,3	10.498,8	5,3	44,2	Asia and Oceania
América do Norte	4.959,2	4.995,2	5.030,7	5.036,5	5.049,0	0,2	21,2	North America
Europa	3.605,4	3.581,2	3.521,5	3.582,2	3.620,0	1,1	15,2	Europe
Eurásia	1.481,8	1.478,5	1.478,8	1.466,4	1.494,3	1,9	6,3	Eurasia
América do Sul e Central	1.186,4	1.231,5	1.249,8	1.268,9	1.274,0	0,4	5,4	South and Central America
Oriente Médio	902,0	930,7	994,5	1.047,7	1.080,6	3,1	4,5	Middle East
África	684,0	701,2	725,9	744,1	760,0	2,1	3,2	Africa

Figura 3.2 Geração elétrica por região no mundo (TWh) – Ásia e Oceania, América do Norte, Europa, Eurásia, América do Sul e Central, Centro Leste e África. [22]

Fonte: EIA; América do Sul (para o Brasil): BEN, 2018

Apesar do grande potencial presente no topo da atmosfera terrestre, apenas uma parte dessa energia chega efetivamente à superfície terrestre, como mostrado o diagrama de fluxo de potência global na Figura 3.3. Segundo esse diagrama, cerca de 54% da radiação solar chega efetivamente à superfície terrestre, ou seja, a potência total disponível pela radiação solar na superfície da terra é de 94.000 Terawatts.

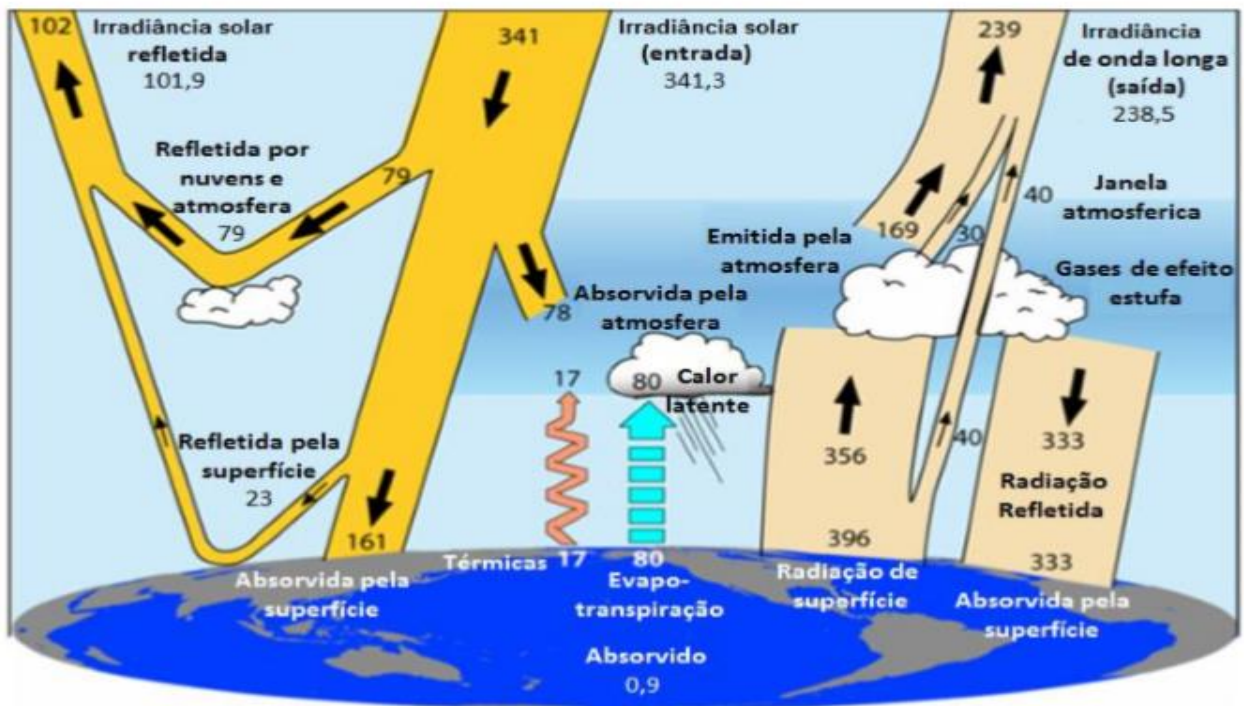


Figura 3.3 Fluxo de potência global. Fonte: (Trenberth et al., 2009)

Levando em consideração a área de um módulo fotovoltaico para a geração de energia elétrica, a radiação solar incidente sobre este módulo será composta de duas componentes, a componente direta (feixes da radiação que incidem diretamente sobre a superfície) e a componente difusa (feixes da radiação provenientes do espalhamento de outras superfícies e de diversas direções). [1]. Logo, mesmo em dias nublados, o módulo fotovoltaico pode produzir energia elétrica a partir da radiação difusa.

Com base nos movimentos feitos pela Terra em torno do Sol e em torno de si mesma, pode-se notar que o movimento anual em torno do Sol representa uma trajetória elíptica com excentricidade de, aproximadamente, 0,017. Além disso, o eixo da Terra com relação ao plano normal dessa elipse apresenta uma inclinação de $23,45^\circ$ [1]. Combinando o movimento anual da Terra com essa inclinação, obtém-se as estações do ano, impactando diretamente na radiação solar incidente sobre uma mesma superfície.

Como pode ser visto na Figura 3.4, a inclinação presente na Terra faz com que a radiação solar varie ao ponto em que a terra gire em torno do Sol e de si mesma. Dessa forma, a radiação solar incidente em uma superfície será afetada não somente pela duração do dia, como pela altura do Sol.

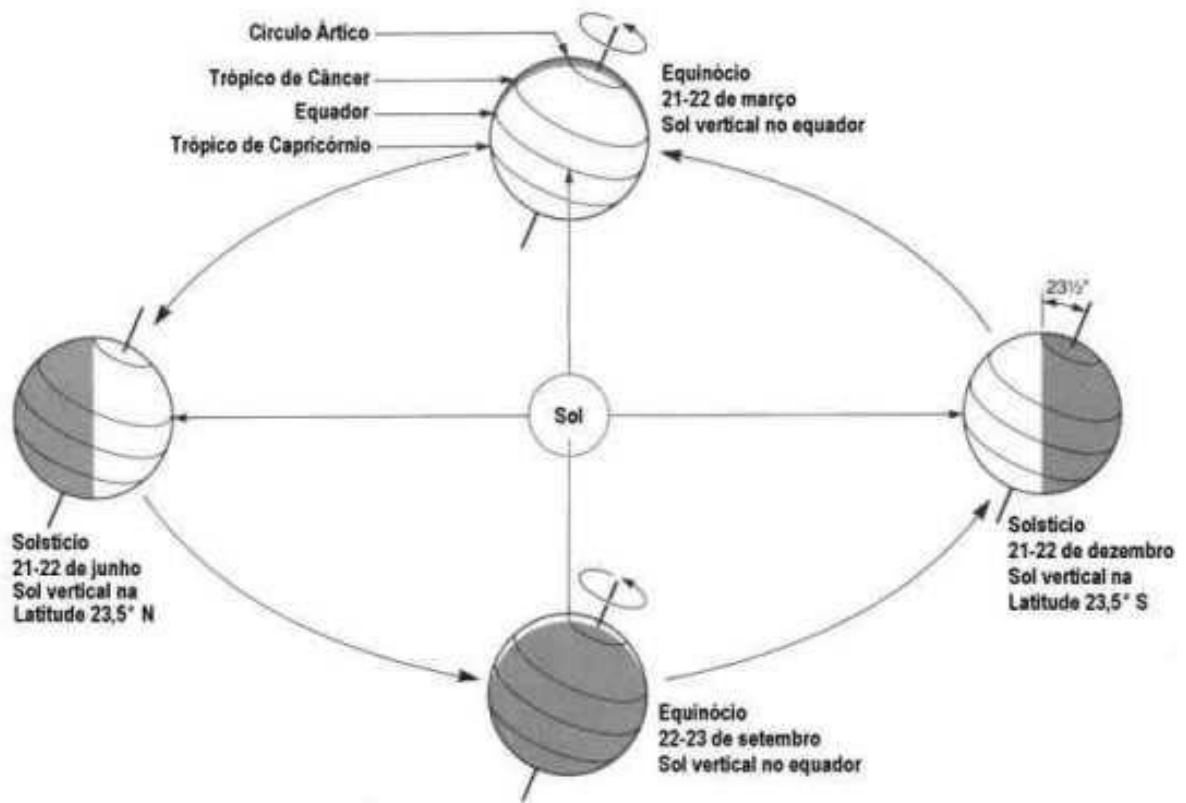


Figura 3.4 Relações entre a Terra e o Sol
 Fonte: <http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap2/cap2-1.html>

Para que seja possível definir o posicionamento do Sol com relação à superfície terrestre, serão utilizados ângulos com referenciais em um plano de pontos cardeais (plano do equador) e um eixo zenital perpendicular a esse plano (eixo de rotação), como pode ser visto na Figura 3.5.

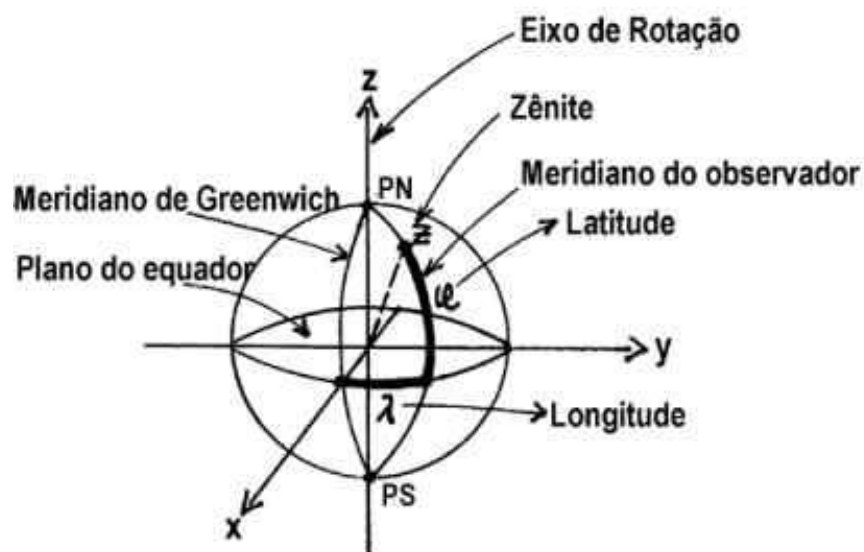


Figura 3.5 Coordenadas Geográficas
 Fonte: <http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap2/cap2-1.html>

Dessa forma, é possível perceber a variação da radiação solar incidente, à medida que a altura do Sol varia, Figura 3.6.

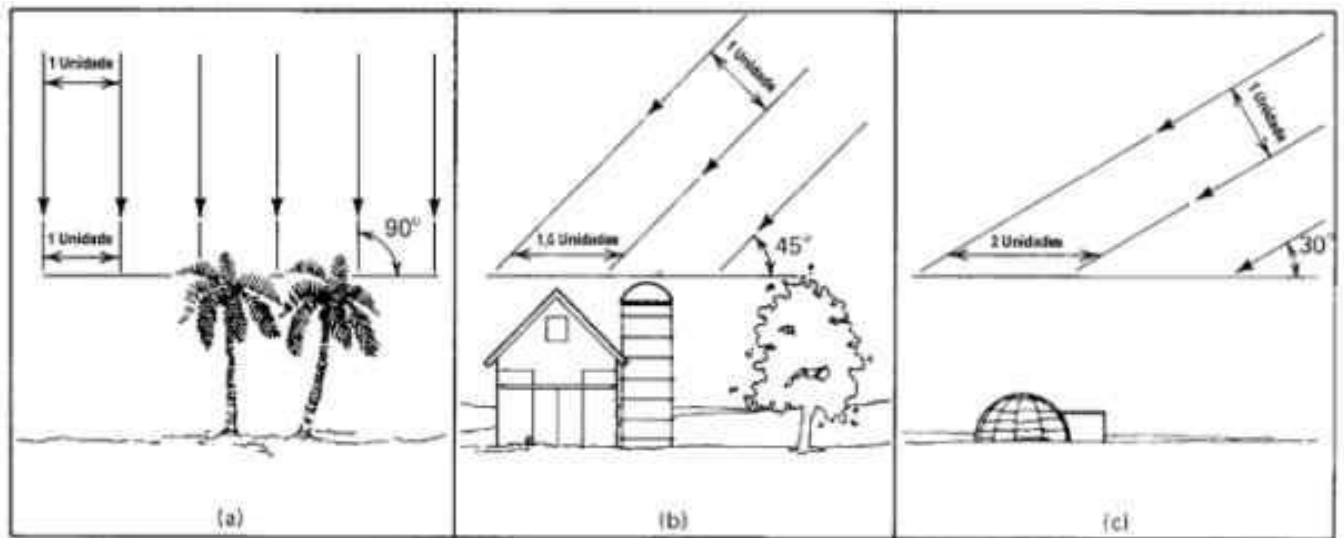


Figura 3.6 Variação da radiação solar com a altura do Sol
 Fonte: <http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap2/cap2-1.html>

Analisando os ângulos formados a partir da posição solar, observa-se, na Figura 3.7 que é possível detalhar cada ângulo.

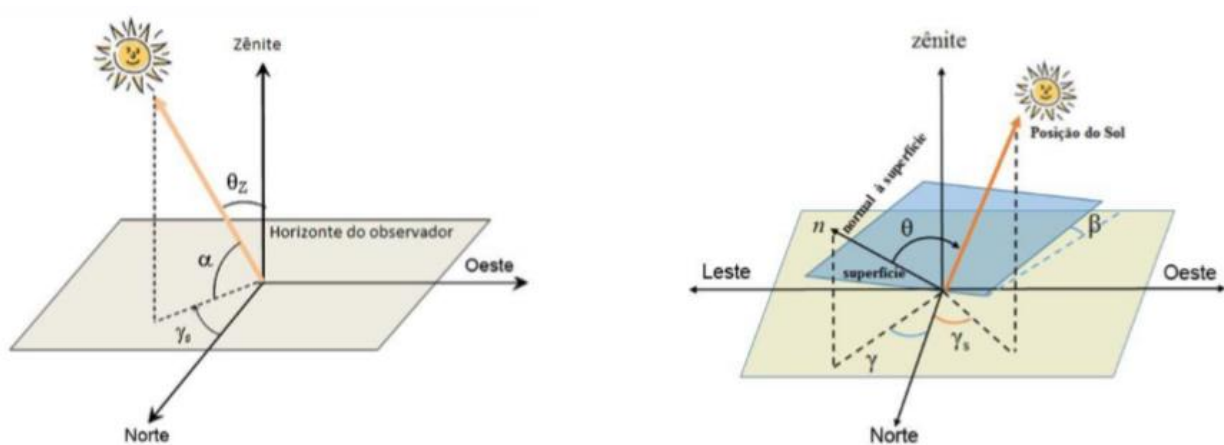


Figura 3.7 Ilustração da posição solar em relação ao plano horizontal [2]

A partir da ilustração da posição solar, pode-se analisar a variação dos ângulos a partir do movimento do Sol com relação ao plano horizontal, sendo eles:

- Ângulo Zenital (θ_z): ângulo formado entre o eixo de zênite e os raios da radiação

solar. [1];

- Ângulo da Altura ou Elevação Solar (α): ângulo formado entre o plano horizontal e os raios da radiação solar [1].

Observando os ângulos acima, é possível observar que o ângulo zenital e a elevação solar são ângulos complementares, ou seja:

$$\theta_z + \alpha = 90^\circ \quad , (3.1)$$

- Ângulo azimutal do Sol (γ_s): além de ser conhecido como azimute solar, esse ângulo é dado pela projeção dos raios da radiação solar no plano horizontal com o eixo Norte-Sul.

Para superfícies inclinadas com relação ao plano horizontal, alguns ângulos serão adicionados, com base na Figura 3.7 a direita, podemos notar que:

- Ângulo azimutal da superfície (γ): Seguindo as mesmas convenções do azimute solar, é o ângulo entre a projeção da normal no plano horizontal e o eixo Norte-Sul.
- Inclinação da superfície de captação (β): é o ângulo entre a superfície inclinada e o plano horizontal;
- Ângulo de incidência (θ): é o ângulo formado entre o eixo normal da superfície inclinada e os raios provenientes da radiação solar.

3.2 Efeito Fotovoltaico

O efeito fotovoltaico consiste na transformação de energia luminosa em energia elétrica, a partir da energia presente da radiação solar incidente em uma superfície com materiais específicos, nesse caso, os semicondutores.

Para compreender o efeito fotovoltaico, é necessário entender a natureza do material utilizado em sua composição, os semicondutores. Estes se caracterizam pela presença de bandas de energia, que são: banda de valência, preenchida por elétrons; e banda de condução, não preenchida por elétrons [1].

Além disso, os materiais semicondutores possuem uma separação entre as duas bandas (valência e condução) denominada banda proibida ou *bandgap* ou simplesmente *gap*. Dessa maneira, os materiais semicondutores serão caracterizados, também, com o *gap* menor do que 3eV (elétron-volt), como pode ser observado na Figura 3.8.

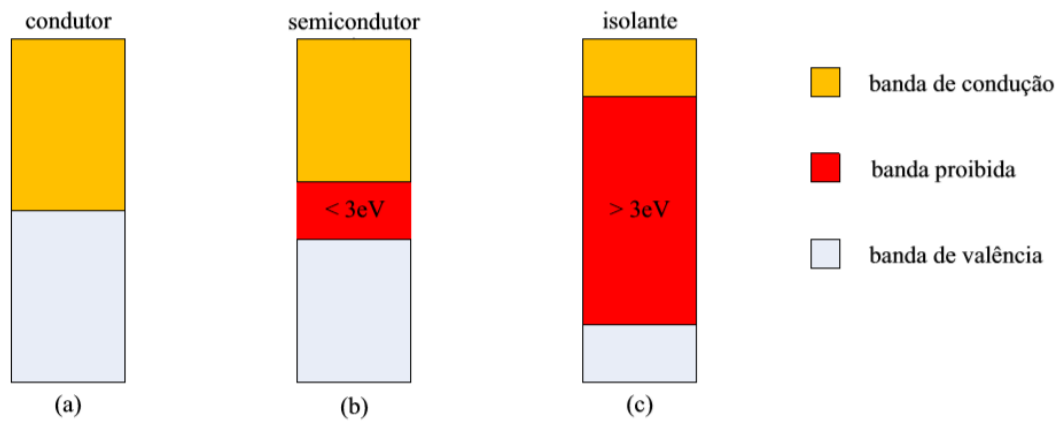


Figura 3.8 Estrutura de bandas dos materiais [1]

Os elementos semicondutores pertencem aos grupos 14 e 16, incluindo o Carbono (C), Silício (Si), Germânio (Ge), Arsênio (As), Fósforo (P), Selênio (Se) e Telúrio (Te). Além desses materiais isolados, também se incluem diversos compostos de 2, 3 ou 4 elementos da tabela periódica.[1]. Exemplos destes compostos são o Arsenieto de Gálio (GaAs), Nitreto de Gálio (GaN), Telureto de Cádmiio (CdTe) e InGaAsP, este último, utilizado para a produção de LEDs [1].

Um dos semicondutores mais utilizados para células fotovoltaicas é o Silício, visto que seus átomos se organizam como uma rede cristalina com quatro elétrons livres para ligação com seus adjacentes. Porém, ao se inserir átomos de outro elemento junto ao silício, é possível modificar a quantidade de ligações a serem feitas pelo silício. Dessa forma, pode-se *deixar o material final com características a possuir elétrons “sobrando” ou “faltando”* com relação ao material de origem.

Como exemplo, ao adicionar átomos de Fósforo - com cinco elétrons de ligação - à rede cristalina de Silício - com quatro elétrons para ligação – o resultado será um elétron disponível para ligação, ou seja, será necessário menos energia para mover esse elétron para a camada de condução. Como o material inserido foi um material com mais elétrons que a rede, classifica-se como um material dopante tipo n [1].

Além disso, caso o material dopante seja um material com menos elétrons que o material da rede cristalina, este material dopante será tipo p, ou seja, ao se colocar um silício dopado tipo n com um silício dopado tipo p, formamos assim uma junção tipo pn, como representado na Figura 3.9.

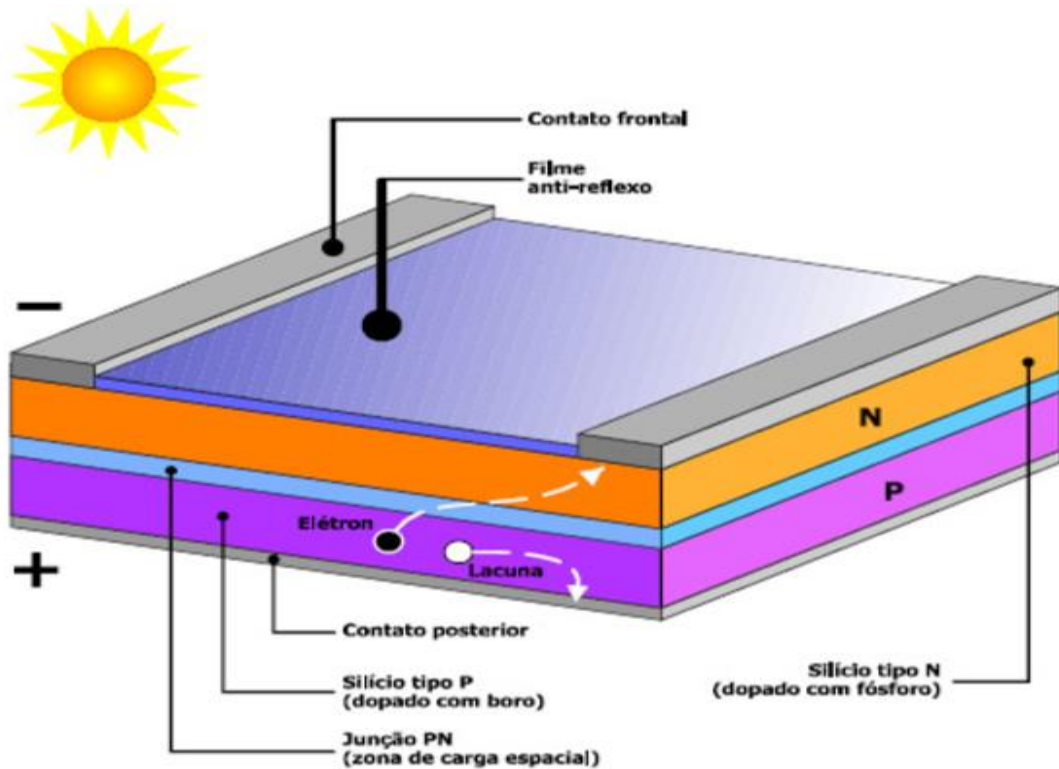


Figura 3.9 Corte transversal de uma célula solar com a junção pn [3]

Quando a junção pn é exposta a fótons com energia maior que o *bandgap* ou *gap*, poderá ocorrer a formação de pares elétron-lacunas. Ao ocorrer esse fenômeno, um campo eletromagnético se forma entre as camadas p e n, e caso haja um condutor ligando essas duas camadas, ocorrerá a passagem de corrente de uma camada para outra. [4]. E, assim, transforma-se a energia da radiação solar em energia elétrica.

3.3 Células Fotovoltaicas

A partir da análise feita a respeito da junção pn, a célula fotovoltaica pode ser considerada a responsável direta da conversão da radiação solar incidente em energia elétrica, este fenômeno é classificado como efeito fotovoltaico e citado acima. A Figura 3.9 representa a célula fotovoltaica sob o efeito fotovoltaico, quando há a formação dos pares elétron-lacuna, e em seguida a transmissão dos elétrons por conta do campo eletromagnético formado. Com isso, ao se ligar os dois pontos de diferença de potencial com um material condutor e uma carga no meio, é possível constatar o trabalho realizado pelos elétrons.

Apesar de existirem diversos materiais semicondutores para a produção de células fotovoltaicas, as mais utilizadas são as células de silício, pelo fato de serem mais abundantes e, com isso, apresentarem menor custo de produção. Dentre as células de silício, existem as células de silício monocristalino (mono-Si) e as células de silício policristalino (multi-Si), sendo sua principal diferença a produção. Enquanto o silício monocristalino tem o seu método de produção mais comum, sendo o processo *Czochralski*, que consiste na submersão de um cristal semente de haste com precisão no silício fundido e em seguida lentamente puxado de volta, formando um material sólido, cilíndrico monocristalino e pesado [8], como representado na Figura 3.10.

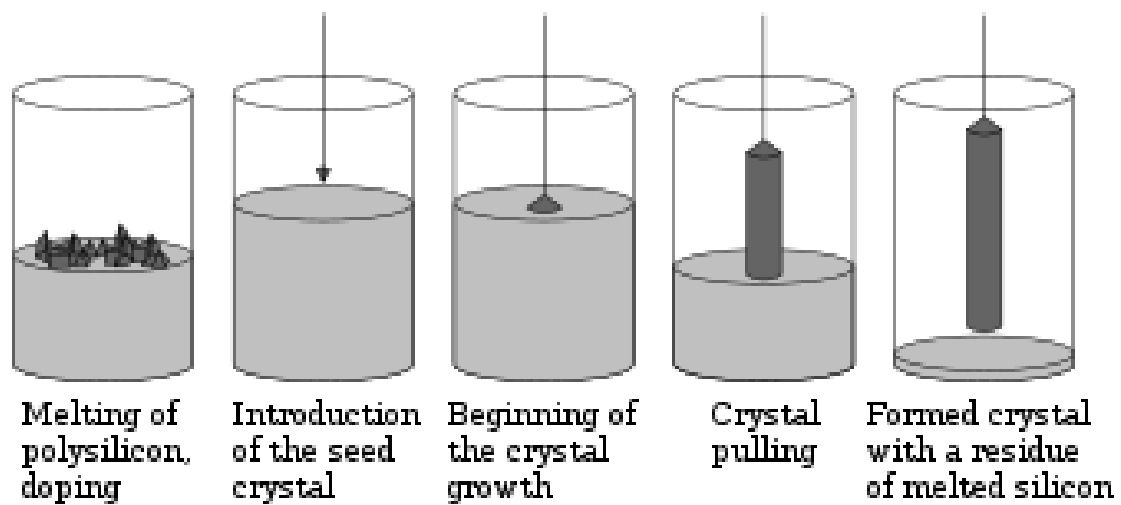


Figura 3.10 Método Czochralski – Fases (Fusão de dopagem do polissilício, Inserção da cristal semente, Começo do crescimento do cristal, Cristal sendo erguido, Formação do Cristal com resíduo de silício derretido). [8]

Após esta etapa, o material cilíndrico é cortado e tratado para a formação das células solares, onde após serão montadas e testadas para obter a tensão e a corrente gerada quando submetida à testes padronizados ou teste STC (*Standard Test Conditions*). A partir deste teste, é possível obter a curva da corrente em função da tensão, como pode ser exemplificado na Figura 3.11.

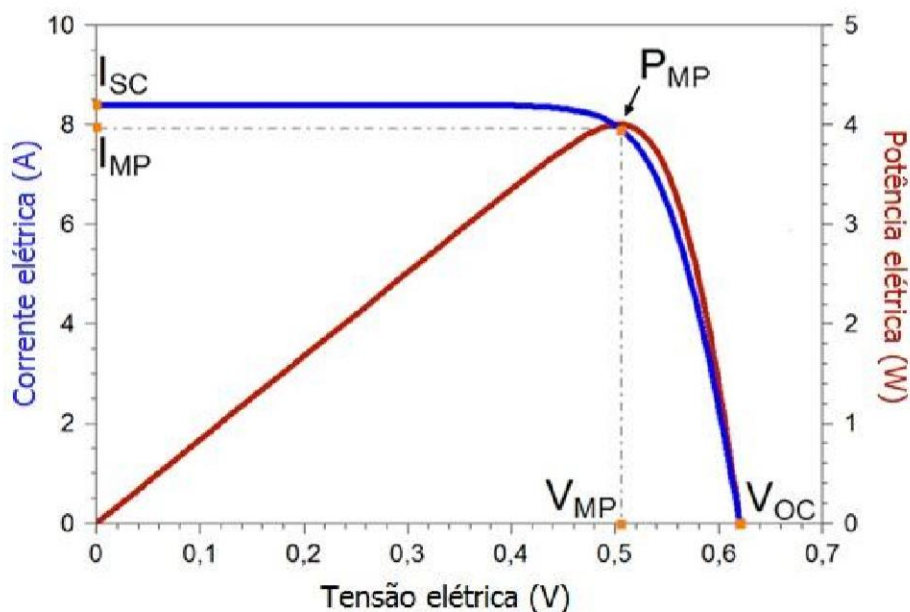


Figura 3.11 Gráfico das curvas I-V e P-V da célula solar.[1]

Analisando este gráfico, é possível analisar a sua corrente de curto circuito (I_{sc}), a tensão de circuito aberto (V_{oc}) e o ponto de máxima potência (P_{mp}), o qual é desejável alcançar para obter o melhor desempenho da célula fotovoltaica.

3.4 Módulo Fotovoltaico

As células fotovoltaicas podem ser utilizadas de modo a ampliar o seu escopo de geração, ou seja, proporciona a formação de arranjos de células fotovoltaicas capazes de gerar muito mais que apenas uma célula. Para isso, foram desenvolvidos os módulos fotovoltaicos, para que, a partir das células fotovoltaicas, possam gerar mais energia a ser direcionada para alguma finalidade. Os arranjos de células fotovoltaicas citados podem ser de duas formas:

- Arranjo em série: Consiste na conexão do polo positivo de uma célula no polo negativo de outra célula, e assim por diante. Como as células fotovoltaicas de um módulo fotovoltaico são idênticas, as tensões das células serão somadas, enquanto a corrente das células se manterá igual [1], como pode ser visto na Figura 3.12;
- Arranjo em paralelo: Consiste na conexão entre os terminais positivos das células fotovoltaicas e a conexão entre os terminais negativos dessas células, resultando em um terminal positivo comum e um terminal negativo comum entre as células fotovoltaicas. Dessa forma, a corrente elétrica resultante da conexão em paralelo

será a soma dessas correntes, enquanto a tensão gerada será a mesma entre todas as células.

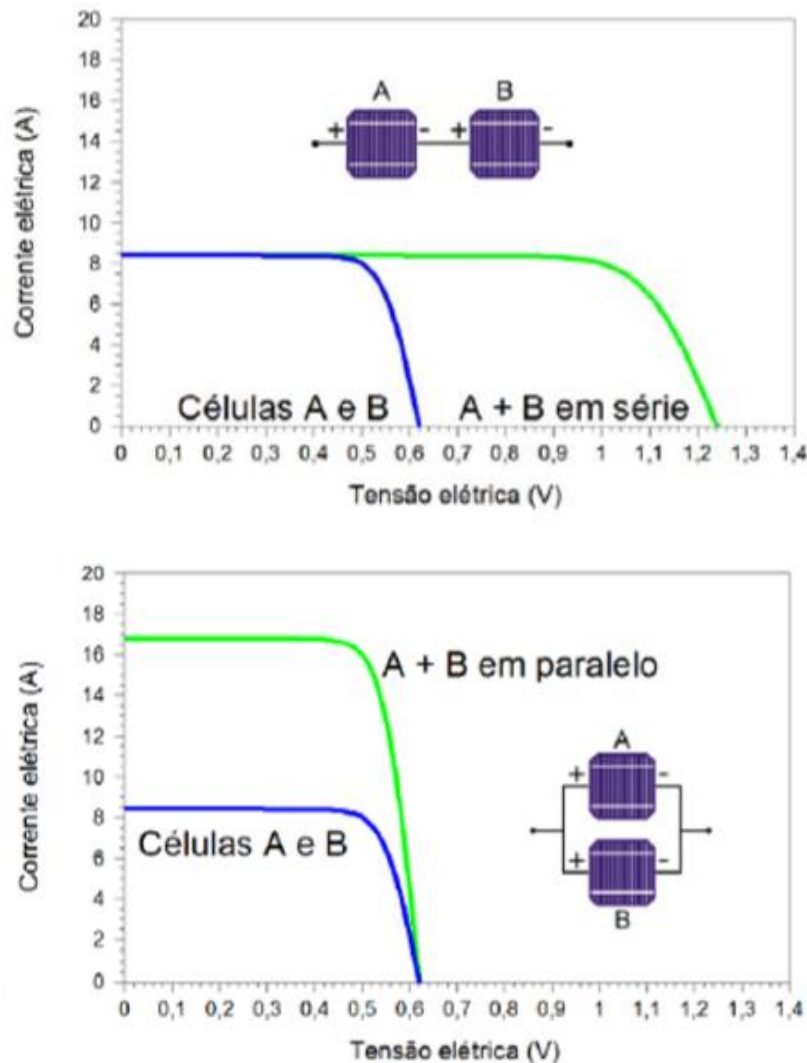


Figura 3.12 Curvas I-V de duas células fotovoltaicas quando conectadas em série ou paralelo.[1]

A partir da quantidade de células em série, de forma a obter uma tensão maior no módulo fotovoltaico, é possível formar a célula básica do sistema gerador fotovoltaico. Ou seja, para um módulo obter a tensão adequada é necessária a conexão em série de diversas células fotovoltaicas.

3.5 Arranjos Fotovoltaicos

O arranjo fotovoltaico consiste na utilização da ligação em série ou paralelo, visando obter determinado valor de operação na tensão e corrente do lado CC do sistema

fotovoltaico, que será ligada ao inversor. Este arranjo fotovoltaico está exemplificado na Figura 3.13 abaixo.

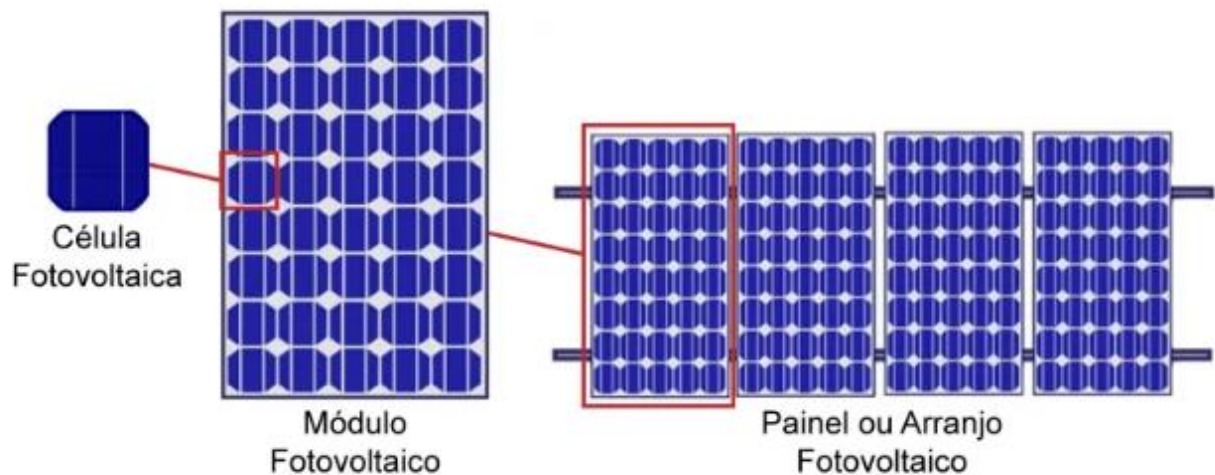


Figura 3.13 Hierarquia fotovoltaica [15]

Nessa Figura, é possível observar dois tipos de arranjo fotovoltaico, o primeiro seria o arranjo das células fotovoltaicas que compõem o módulo fotovoltaico, além disso, o segundo tipo de arranjo fotovoltaico é o conjunto de painéis (módulos) fotovoltaicos em série ou paralelo para ser ligado ao inversor.

Por fim, os arranjos fotovoltaicos serão responsáveis por determinar a tensão, a corrente e a potência do lado de corrente contínua que será disponível ao inversor. Logo, os arranjos serão determinantes para a definição das características do inversor e dos dispositivos de proteção do circuito elétrico do lado CC.

4 DESENVOLVIMENTO

4.1 Descrição do Projeto

O projeto proposto visa dimensionar um estacionamento com cobertura fotovoltaica ligada à rede. Além disso, serão propostos outros dois tipos de projetos com inversores com características diferentes. Dessa forma, ficará à disposição de o cliente (no caso a Universidade de Brasília) a decisão sobre qual modelo escolher.

Como a Universidade de Brasília já possui outros projetos fotovoltaicos implantados em sua rede, este projeto se aproximará ao máximo de um projeto profissional. Por este motivo, serão observados os dados solarimétricos mais aproximados da realidade; possíveis sombreamentos do local escolhido; melhor posicionamento para os painéis

fotovoltaicos; instalações elétricas de acordo com as normas vigentes; estrutura do estacionamento e *payback* para o projeto.

4.2 Definição do Local

Para a definição do local em que será construído o estacionamento fotovoltaico, levou-se em consideração o sombreamento e a orientação das vagas de estacionamento a serem utilizadas para localizar a cobertura. Sendo assim, foi escolhido para aplicação da cobertura fotovoltaica uma parte do estacionamento dos edifícios Pavilhão João Calmon e Pavilhão Anísio Teixeira, visto que, o sombreamento e a aproximação à instalação elétrica da UnB estão mais favoráveis para a implementação deste projeto. A área demarcada em vermelho na Figura 4.1, será definida como o local da instalação do estacionamento solar.

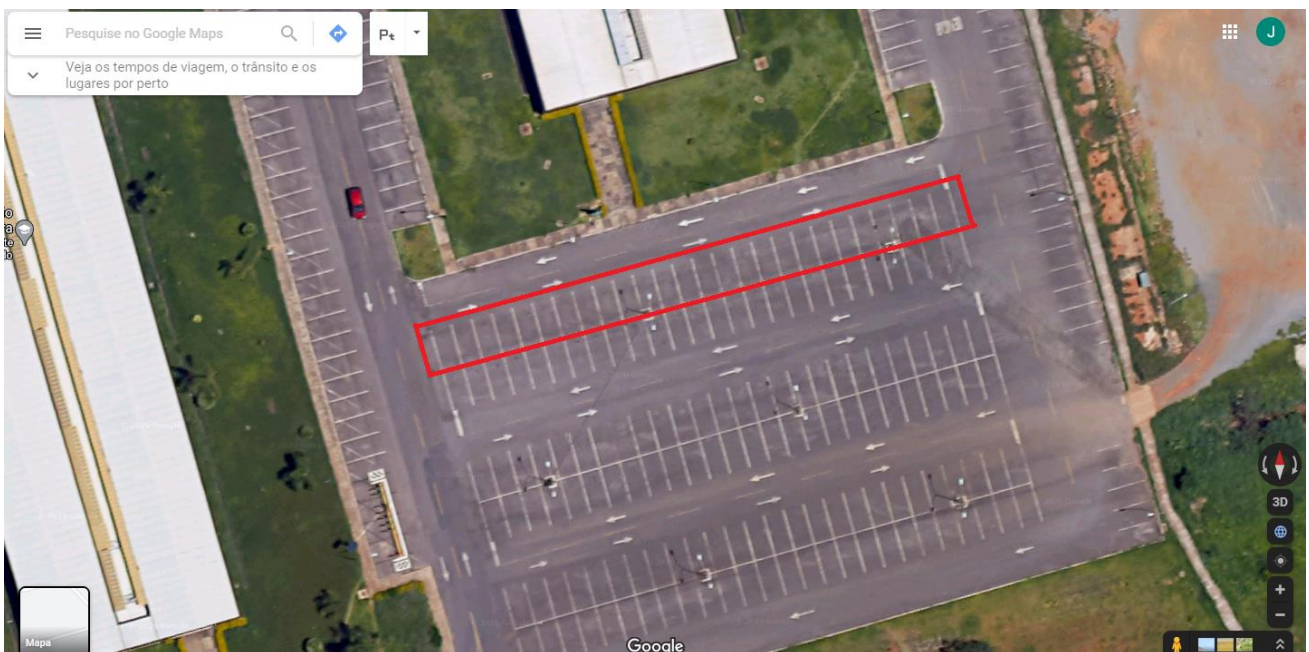


Figura 4.1 Local do estacionamento fotovoltaico nos Pavilhões João Calmon e Anísio Teixeira [25].
Fonte: Google Maps.

4.3 Estrutura da Cobertura

Para a definição da estrutura do estacionamento, foi solicitado o orçamento para a empresa Sonnen Energia, a qual se dispôs a fornecê-lo, como pode ser visto no anexo E, juntamente com o *layout* e as dimensões da estrutura a ser instalada no estacionamento.

Os anexos F e E apresentam o *layout* completo e o orçamento para as 26 vagas a serem instaladas as estruturas para a cobertura, como observa-se na Figura 4.2.

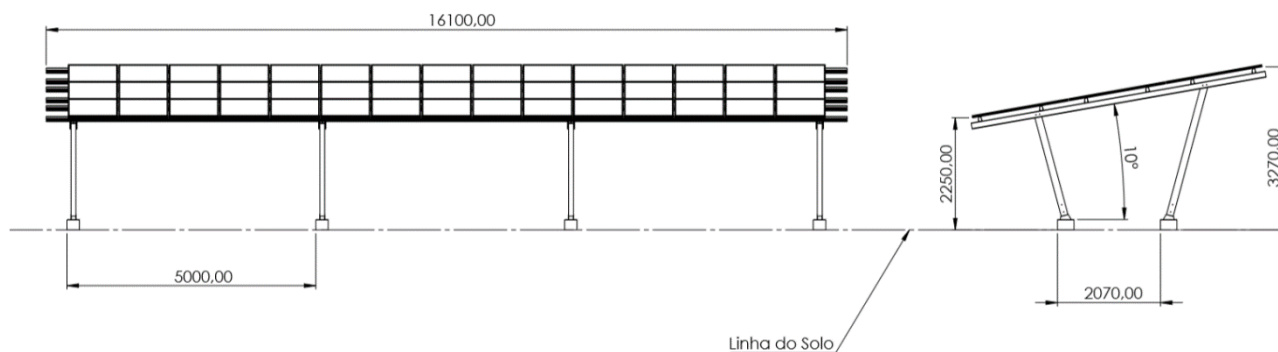


Figura 4.2 Layout da estrutura do estacionamento para receber os painéis fotovoltaicos.
Fonte: Empresa Sonnen Engenharia.

Como descrito no anexo do orçamento da estrutura, o custo para a construção da estrutura da cobertura nas 26 vagas do estacionamento será de R\$54.886,83.

Uma exemplificação da estrutura a ser instalada está na Figura 4.3, onde pode ser observada a disposição dos painéis fotovoltaicos em cima da estrutura dos estacionamentos.



Figura 4.3 Projeto da Sonnen Energia em parceria com a Solarfix, para a instalação do estacionamento fotovoltaico.
Fonte: Rede social da Sonnen Energia

Além disso, a estrutura das 26 vagas poderá suportar até 192 módulos fotovoltaicos. Isto possibilita adotar os 192 módulos como a base para os cálculos a serem feitos com relação ao dimensionamento do sistema fotovoltaico do estacionamento.

4.4 Inclinação e Orientação

Como visto anteriormente, para o correto dimensionamento do sistema fotovoltaico é necessária a orientação espacial dos módulos fotovoltaicos para o maior aproveitamento da radiação solar. Portanto, é necessário saber a latitude do local de implantação e instalação dos módulos fotovoltaicos, bem como seu hemisfério. Sabendo que a Universidade de Brasília se encontra no Plano Piloto, é possível utilizar sua latitude para conhecimento dos seus dados solares.

Utilizando a ferramenta de internet *Google Maps*, observa-se que as coordenadas geográficas do Plano Piloto serão $15^{\circ}75'91''S$ e $47^{\circ}87'00''W$. Além disso, a irradiação solar no local da instalação pode ser obtida de forma gratuita e confiável pelo site do CRESEB (Centro de referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito). A partir das coordenadas geográficas, obtém-se o índice de irradiação solar pelo site do CRESEB, como mostrado na Figura 4.4.

Cálculo no Plano Inclinado

Estação: Brasília
Município: Brasília, DF - BRASIL
Latitude: 15,801° S
Longitude: 47,849° O
Distância do ponto de ref. (15,765079° S; 47,869921° O): 4,6 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
<input type="checkbox"/>	Plano Horizontal	0° N	5,42	5,74	5,05	5,06	4,83	4,70	4,95	5,77	5,70	5,59	5,08	5,44	5,28	1,08
<input checked="" type="checkbox"/>	Ângulo igual a latitude	16° N	5,01	5,50	5,10	5,45	5,56	5,61	5,83	6,47	5,91	5,45	4,75	4,98	5,47	1,72
<input type="checkbox"/>	Maior média anual	18° N	4,94	5,45	5,08	5,48	5,63	5,70	5,92	6,53	5,91	5,41	4,69	4,90	5,47	1,84
<input type="checkbox"/>	Maior mínimo mensal	5° N	5,32	5,70	5,10	5,22	5,09	5,01	5,26	6,03	5,80	5,58	5,00	5,32	5,37	1,03

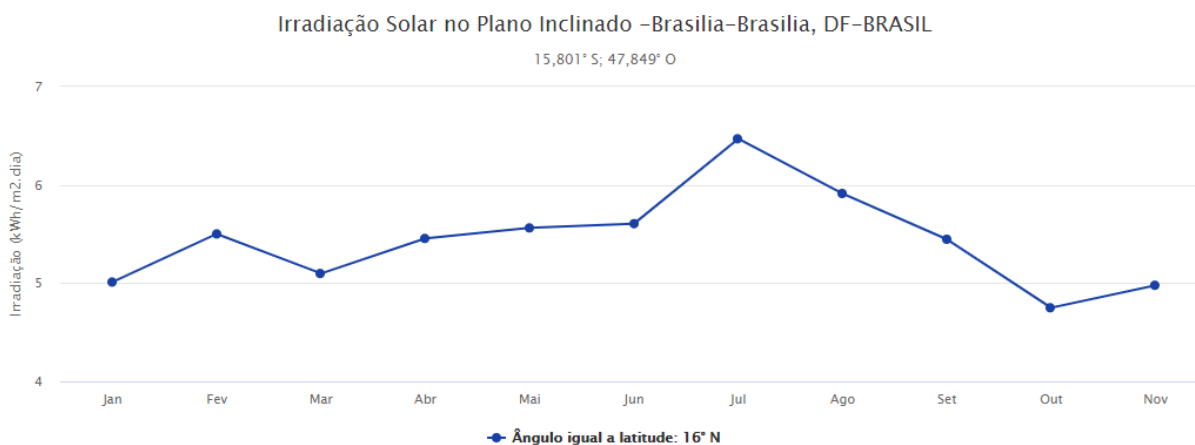


Figura 4.4 Curva de irradiação solar em Brasília no período de 1 ano e com inclinação de 16° [19].

Outra fonte confiável de informação para os dados solarimétricos é o SAM (*System Advisor Model*), um software de modelagem gratuito e tecno-econômico que facilita a tomada de decisões para simulações de fontes renováveis de energia, dentre elas a energia fotovoltaica [24]. Dentro desse software é possível utilizar a base de dados presente no

NSRDB (*National Solar Radiation Database*), que compõe uma coleção completa de valores meteorológicos dos Estados Unidos e um subconjunto cada vez maior de locais internacionais, dentre eles locais no Brasil [23]. Conforme a figura 4.5.

brasilia_-15.793400_-47.882293_psmv3_60_tmy	-15.79	-47.9	-3	1073	1888715	NSRDB
---	--------	-------	----	------	---------	-------

SAM scans the following folders on your computer for valid weather files and adds them to your Solar Resource library. To use weather files stored on your computer, click Add/remove Weather File Folders and add folders containing the files.

C:\Users\Dell\SAM Downloaded Weather Files

Add/remove weather file folders...
Refresh library

Download Weather Files

The NSRDB is a database of thousands of weather files that you can download and add to your solar resource library: Download a default typical-year (TMY) file for most long-term cash flow analyses, or choose files to download for single-year or P50/P90 analyses. See Help for details.

One location
 Multiple locations
 60-minute
 30-minute
 Legacy data (advanced)

Type a location name, street address, or latitude and longitude
 Download files for all years (P50/P90)
 Download and add to library...

[For locations not covered by the NSRDB, click here to go to the SAM website Weather Page for links to other data sources.](#)

Weather Data Information

The following information describes the data in the highlighted weather file from the Solar Resource library above. This is the file SAM will use when you click Simulate.

Weather file: C:\Users\Dell\SAM Downloaded Weather Files\brasilia_-15.793400_-47.882293_psmv3_60_tmy.csv View data...

Header Data from Weather File

Latitude	-15.79	DD	Station ID	1888715
Longitude	-47.9	DD	Data Source	NSRDB
Time zone	GMT -3			
Elevation	1073	m		

For NSRDB data, the latitude and longitude shown here from the weather file header are the coordinates of the NSRDB grid cell and may be different from the values in the file name, which are the coordinates of the requested location.

Annual Averages Calculated from Weather File Data

Global horizontal	5.74	kWh/m ² /day
Direct normal (beam)	5.90	kWh/m ² /day
Diffuse horizontal	1.92	kWh/m ² /day
Average temperature	20.8	°C
Average wind speed	2.1	m/s

Optional Data

Maximum snow depth	NaN	cm
Annual albedo	0.152219	

*NaN indicates missing data.

Figura 4.5 Dados solarimétricos do SAM.
Fonte: System Advisor Model.

A partir desse modelo, constata-se que a irradiação solar (I_{ss}) para o Plano Piloto será de:

$$I_{ss} = 5,74 \text{ kWh/m}^2/\text{dia} \quad (4.1)$$

Como o Plano Piloto está contido na área de Brasília, utiliza-se da tabela 4.1 o ângulo de inclinação dos módulos fotovoltaicos de acordo com a latitude da localização de onde será feita a instalação dos módulos.

Tabela 4.1 Relação entre ângulo do painel fotovoltaico e a latitude [9].

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	$\alpha = \text{latitude} + 15^\circ$

Logo, em virtude da latitude do plano piloto, de acordo com a tabela 4.1, o ângulo de inclinação dos módulos (α) será:

$$\alpha = \text{latitude} \quad (4.2)$$

Portanto, o ângulo de inclinação dos módulos fotovoltaicos será de 15°. Além disso, como o Plano Piloto encontra-se no hemisfério sul, a orientação dos módulos será voltada para a direção geral do norte geográfico, visto que essa configuração acarretará em um melhor aproveitamento da luz do Sol ao longo do dia.

4.5 Módulo Fotovoltaico

A escolha do módulo fotovoltaico deu-se em função da utilização com sucesso dos módulos de 405 *Wp* (*Watt pico*) da *Canadian Hiku*, modelo CS3W 405P, como demonstrado na Figura 4.6

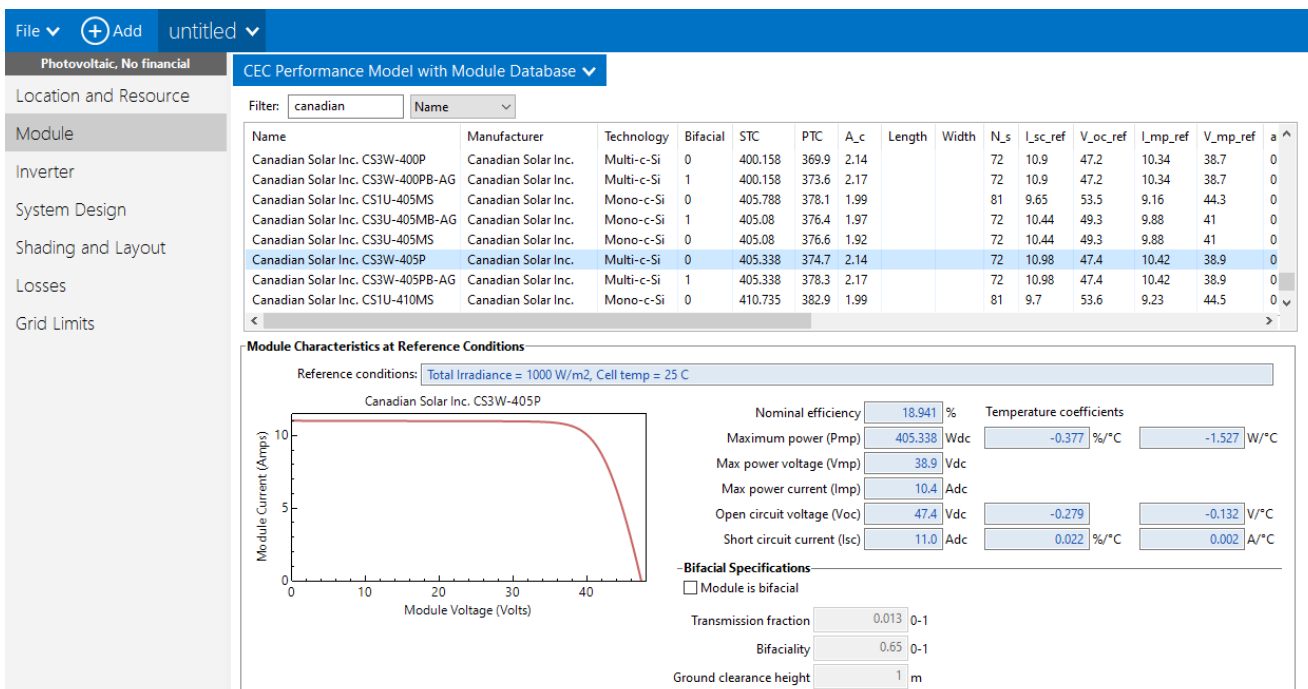


Figura 4.6 Detalhe do módulo fotovoltaico CS3W 405P da *Canadian*.
Fonte: SAM

As especificações técnicas disponibilizadas pela empresa *Canadian* constam no anexo A. Obtidos estes dados, é possível dimensionar por completo o sistema de geração fotovoltaica a partir do estacionamento com cobertura de módulos fotovoltaicos *Canadian* de 405 Wp.

4.6 Inversores

Para que os inversores sejam definidos, é necessário determinar os parâmetros básicos do nosso sistema. Como observado nos capítulos 4.3, 4.4 e 4.5, os valores base para este projeto serão:

- **26 Vagas;**
- **Estrutura com suporte para 192 módulos fotovoltaicas;**
- **Módulo solar *Canadian* de 405Wp;**
- **Irradiação Solar de 5,74 kWh/m²/dia.**

A partir desses dados, é possível fazer todo o levantamento do sistema de geração. Primeiramente, obtém-se a área do módulo fotovoltaico CS3W 405P, a partir dos dados presentes no manual do módulo solar *Canadian* presente no anexo A deste projeto. Portanto, a área será:

$$A_m = 2,108 * 1,048 = 2,209 \text{ m}^2 \quad (4.3)$$

A partir destas informações, é possível calcular a potência instalada do sistema de geração (P_{inst}) e a energia produzida diariamente por cada módulo (E_{Md}).

$$P_{inst} = P_m * N_m \quad (4.4)$$

$$P_{inst} = 77,76 \text{ kWp} \quad (4.5)$$

A potência dos módulos é dada pelo P_m e o número de módulos é dado por N_m . Já a energia produzida diariamente por cada módulo é dada pela equação:

$$E_{Md} = A_m * \eta * I_{ss} \quad (4.6)$$

$$E_{Md} = 2,209 * 0,1831 * 5,74 = 2,2962 \text{ Kwh/dia} \quad (4.7)$$

Nesta equação, I_{ss} é a irradiação solar no plano piloto, de acordo com o SAM, e η representa o rendimento do módulo fotovoltaico, presente no anexo A.

Para esse projeto, serão elaboradas três abordagens de inversores, em que cada uma das abordagens irá propor visões diferentes do sistema fotovoltaico. Na primeira abordagem, será proposta a utilização de micro inversores, visando assim a baixa tensão (120Vcc) no lado contínuo, utilizando o micro inversor da *Canadian* modelo CSI-1KTL1P-GI-FL.

Na segunda abordagem será proposta a utilização de inversores WEG modelo SIW300H-M050 de 5000W, em que sua tensão de operação será entre 260V/480V no lado tensão contínua. Ainda, será proposta uma terceira abordagem com a utilização de inversores WEG modelo SIW500H-ST020 de 20000W, em que sua tensão de operação será entre 160V/950V no lado de tensão contínua.

Para definir os arranjos dos módulos fotovoltaicos, é necessário, primeiramente, observar os dados técnicos de cada inversor, juntamente com os dados do módulo fotovoltaico. Para obter-se o número de módulos em série que o inversor suporta, é preciso saber a faixa de operação que o MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) suporta, juntamente com a tensão máxima de entrada do inversor e a corrente máxima de entrada.

Para o dimensionamento das séries fotovoltaicas, primeiramente é necessário saber a quantidade de módulos fotovoltaicos que o inversor suporta, a quantidade de módulos em série por MPPT, a quantidade de módulos em paralelo por MPPT e a distribuição de séries

fotovoltaicas para todo o sistema de geração.

Utilizando as equações da Apostila de Instalação de Sistemas Fotovoltaicos, é possível observar na tabela 4.2 abaixo as configurações para cada caso de inversores.

Para a construção desta tabela, serão utilizadas equações para o cálculo de número máximo de módulos fotovoltaicos para determinado inversor, número máximo e mínimo para módulos em série para cada MPPT dos inversores. A partir dessas informações, será possível obter a configuração do sistema fotovoltaico.

Para o cálculo do número máximo de módulos por inversor, será utilizada a seguinte equação:

$$N_{mod} = \frac{P_{inv}}{P_{mod}}, \quad (4.8)$$

Onde N_{mod} é o número máximo de módulos que o inversor suporta, P_{inv} é a potência do inversor, presente nos anexos, e P_{mod} é a potência do módulo fotovoltaico a qual também está presente nos anexos.

Para calcular o número mínimo e máximo de módulos em série na série fotovoltaica, será utilizada a seguinte equação:

$$\frac{V_{invMin}}{V_{mod}} \leq N_{mods} \leq \frac{V_{invMax}}{V_{mod}}, \quad (4.9)$$

Onde N_{mods} é o número de módulos em série por série fotovoltaica, V_{invMin} é a tensão mínima de entrada que o MPPT do inversor em questão suporta, V_{invMax} é a tensão máxima de entrada que o MPPT do inversor suporta e V_{mod} é a tensão de operação do módulo fotovoltaico na STC (*Standard Test Conditions*) em que as condições de teste são padronizadas em $25^{\circ}C$ e irradiância de $1000 W/m^2$.

Para calcular o número mínimo e máximo de módulos em paralelo na série fotovoltaica, será utilizada a seguinte equação:

$$N_{modp} \leq \frac{I_{invMax}}{I_{mod}}, \quad (4.10)$$

Onde I_{invMax} é a corrente máxima de entrada do inversor e I_{mod} é a corrente do módulo fotovoltaico.

A partir dos dados presentes nos anexos A, B, C e D, é possível elaborar as três configurações de sistema de geração fotovoltaico, como pode ser visto na tabela abaixo.

Tabela 4.2 Configuração dos inversores com relação ao módulo fotovoltaico CS3W 405p

	P_{inv} (W)	V_{invMin} (V)	V_{invMax} (V)	I_{invMax} (A)	N_{mod} (u)	N_{mods} (u)	N_{modp} (u)	V_{out} (V)	I_{out} (A)
CSI-1KTL1P-GI-FL	1200	90	500	11	2,96	$3 < x < 12$	1,06	220	5,2
SIW300H-M050	5000	120	480	11	12,35	$3 < x < 12$	1,06	220	25
SIW500H-ST020	20000	160	950	22	49,38	$4,1 < x < 24$	2,11	220	33,5

Tabela 4.3 Dados do módulo fotovoltaico Canadian CS3W 405P

	P_{mod} (Wp)	V_{mod} (V)	I_{invMax} (A)
Canadian CS3W 405P	405	38,9	10,42

Ou seja, para a configuração com o inversor *Canadian* CSI-1KTL1P-GI-FL, serão utilizados 3 módulos fotovoltaicos CS3W 405P de 405wp em série com apenas uma *string*. Podendo assim, usufruir de todo o potencial do inversor de modo a possuir uma tensão de, aproximadamente, 120V no lado contínuo e 220V no lado de corrente alternada, com a corrente alternada de 5.2 A e energia gerada de 1200W por inversor.

Para o inversor WEG SIW300H-M050, teremos a configuração de 12 módulos fotovoltaicos em série com apenas uma série fotovoltaica, tendo a tensão do lado contínuo em torno de 460V e a tensão do lado de corrente alternada de 220V com de valor 25A e gerando aproximadamente 4900W por inversor.

Já para o cenário com o inversor WEG SIW500H-ST020, teremos configuração de 24 módulos fotovoltaicos em série e 2 série fotovoltaica em paralelo, nesse caso a tensão do lado contínuo será de 930V e a tensão do lado de corrente alternada de 220V com valor de 33,5A e gerando aproximadamente 19400W por inversor.

4.7 Instalação Elétrica

Para a instalação elétrica do sistema fotovoltaico por completo, será necessário saber a espessura do filamento do lado CC (corrente contínua) e lado CA (corrente alternada), disjuntores de proteção do lado CC e lado CA, fusíveis, DPS (dispositivo de proteção contra surtos). Para tanto, serão utilizados os dados obtidos anteriormente para que seja possível adequar da melhor forma os dispositivos ao sistema fotovoltaico gerador.

Segundo *Rosa, P.; Santos, E. "Apostila de Instalação de Sistemas Fotovoltaicos: Módulo 1". [S.l.]: ECODOT, 2016*, a corrente a ser suportada pelos cabos do lado CC, do

sistema fotovoltaico, deve ser maior ou igual à corrente de curto-circuito dos módulos em 25% [10]. Além disso, a seção do cabeamento CC pode ser obtida matematicamente pela equação abaixo:

$$S = \frac{L * P}{\rho * e * U^2} \quad , (4.11)$$

Onde S é a seção mínima do cabo [mm^2], L é o comprimento do cabo [m], P é a potência do sistema [W], ρ é condutividade elétrica do material, no caso seria o cobre (56 s. m/mm^2), e é a queda de tensão (3%) e U é a tensão de trabalho [V] [2].

Entretanto, os sistemas de microgeração e minigeração utilizam os condutores padrão provenientes de fábrica juntamente aos módulos, de modo a facilitar a utilização.

Além disso, a seção desse cabeamento é de 4mm^2 com isolamento de dupla camada HEPR 90°C , o que torna sua aplicação própria para esse fim. Para o lado de corrente alternada (CA), será utilizada a corrente proveniente dos inversores para o cálculo da seção do cabeamento CA. Dessa forma, será necessário avaliar cada configuração de inversores para descobrir a corrente de cada sistema.

Para o caso em que será utilizado o inversor CSI-1KTL1P-GI-FL, que possui a corrente do lado CA em 5,2 A, o cabo até o disjuntor do quadro geral será de $2,5\text{mm}^2$, de acordo com a tabela da NBR-5410/2004 (presente no anexo H deste trabalho), porém, serão 64 inversores distribuídos nas 3 fases que alimentam o prédio do PJC (Pavilhão João Calmon). Neste caso, serão ligados o conjunto de 4 inversores em paralelo para cada disjuntor. Serão 16 disjuntores para serem distribuídos entre as 3 fases. Ficando assim 2 fases com 5 disjuntores e 1 fase com 6 disjuntores.

Para o caso em que será utilizado o inversor SIW300H-M050 com a corrente do lado CA em 25 A, o cabo até o disjuntor do quadro geral será de $2,5\text{mm}^2$, de acordo com a tabela da NBR-5410/2004 (presente no anexo H deste trabalho), visto que, serão 16 inversores distribuídos em 3 fases que alimentam o prédio do PJC. Nesse caso, não serão colocados inversores em paralelos no mesmo disjuntor, com isso, cada inversor terá seu próprio disjuntor que em seguida será distribuído nas fases que alimentam o PJC.

Por último, no caso em que será utilizado o inversor SIW500H-ST020 com a corrente do lado CA em 33,5 A, o cabo até o disjuntor do quadro geral será de 4mm^2 , de acordo com a tabela da NBR-5410/2004 (presente no anexo H deste trabalho), visto que, serão 4 inversores distribuídos em 3 fases que alimentam o prédio do PJC. No caso deste inversor, também não serão colocados inversores em paralelo no mesmo disjuntor, logo, cada inversor também terá seu próprio disjuntor, o qual em seguida será distribuído nas fases

que alimentam o PJC.

Como pode ser visto no diagrama unifilar desse projeto nos Anexos I, J e K, serão utilizados disjuntores de CC e CA, DPS (dispositivo de proteção contra surtos) CC e CA e fusíveis de CC.

Para o cálculo do disjuntor de CC, será observada a corrente proveniente dos módulos fotovoltaicos, onde cada caso deverá ser analisado. Além disso, será aplicado o método de cálculo presente no livro do Hélio Creder (Instalações Elétricas), que consiste na satisfação de 3 condições:

$$I_B \leq I_N \quad (4.12)$$

$$I_N \leq I_Z \quad (4.13)$$

$$I_Z \leq 1,45I_Z \quad (4.14)$$

Onde I_B é a corrente proveniente do projeto, I_N é a corrente nominal do dispositivo de proteção, I_Z é a capacidade de condução de corrente de condutores vivos, de acordo com o tipo de instalação e I_2 é a corrente convencional de atuação dos dispositivos de proteção em função de I_N .

Para o caso do circuito com módulos fotovoltaicos *Canadian CS3W 405P* de corrente de curto circuito igual a 10,98 A contínua, o disjuntor para esse circuito será de 16 Amperes, de acordo com as equações acima descritas.

Como o único caso em que há séries fotovoltaicas em paralelo, a corrente proveniente dos módulos será de 22 A, ou seja, o disjuntor para esse circuito será de 32 A, de acordo com as equações acima descritas. Ainda no lado de corrente contínua, restam dois dispositivos a serem dimensionados.

Um desses dispositivos é o fusível do lado CC, que será de 15 amperes no primeiro e no segundo caso. Já no terceiro caso, serão 2 série fotovoltaica em paralelo, logo, a corrente proveniente dos módulos fotovoltaicos será de 22 A. Com isso, o fusível para esse sistema fotovoltaico será de 25 A. Por fim, o dimensionamento do dispositivo de proteção contra surtos (DPS), para isso, é necessário identificar qual será a tensão máxima de entrada dos inversores para que possamos escolher o melhor DPS para as características desse sistema. No primeiro e segundo caso (Inversores CSI-1KTL1P-GI-FL e SIW300H-M050), teremos uma tensão máxima de entrada igual a 600V, ou seja, precisaremos de um DPS de corrente contínua de até 600V para a proteção dos nossos dois primeiros casos.

Para o terceiro caso (inversor SIW500H-ST020), teremos uma tensão máxima de entrada igual a 1080V, ou seja, será necessário um DPS de até 1080V para a proteção do sistema fotovoltaico. Com isso, pode-se definir para esse sistema o DPS CC de 1000V.

Para os 3 casos, serão utilizados o dispositivo de proteção contra surtos (DPS) de 275Vca e 45kA, visto que, os três circuitos trabalharam a 220Vca no lado alternado.

Para se dimensionar os disjuntores do lado de corrente alternada (CA), será aplicado o mesmo princípio utilizado no cálculo dos disjuntores CC, ou seja, seguindo os passos anteriormente mencionados, para o primeiro caso, tem-se disjuntores de 10 A logo após os DPS de corrente alternada. Além disso, serão colocados disjuntores de 32 A para os circuitos com 4 inversores em paralelo, depois disso, serão colocados os 16 disjuntores dos conjuntos de 4 inversores distribuídos nas 3 fases de alimentação do prédio do PJC.

Para o segundo caso, serão utilizados disjuntores de 32 A após o DPS CA de cada inversor, com isso, será possível ligar cada disjuntor desse circuito às 3 fases que alimentam o prédio do PJC.

Para o terceiro caso, serão utilizados disjuntores de 50 A após o DPS CA de cada inversor, em seguida, serão ligados os disjuntores à alimentação do prédio do PJC, de forma a distribuir entre as 3 fases de alimentação. Além desses dispositivos mencionados, também será colocado em cada caso uma chave seccionadora para a separação do sistema fotovoltaico das instalações elétricas do PJC.

4.8 Cenário de Perdas

Para a análise das perdas em um sistema fotovoltaico, é preciso destacar os principais fatores que afetam seu desempenho. Tem-se como fatores: o sombreamento, o acúmulo de sujeira sobre os módulos, a temperatura, o *mismatch*, a degradação e a condição das células. [11]. Além disso, existe a eficiência média dos componentes de um sistema fotovoltaico.

Tomando como base o cenário de perdas acima, será analisado cada componente deste circuito elétrico, de acordo com sua ficha técnica, de modo a obter o cenário mais próximo da realidade. Logo, será obtida a tabela abaixo para o cenário do projeto:

Tabela 4.5 Tabela de perdas do projeto fotovoltaico
Fonte: Próprio autor

Fonte de Perda	Percentual de Perda
Temperatura dos módulos	1,2%
Perdas nas conexões	0,5%
Perdas nos condutores	2%
Eficiência do inversor (1200; 5000; 20000)	(2,5%; 1,4%; 1,35%)
Sombreamento	0%
Sujeira nos módulos	2%
Alteração na orientação dos módulos	5%
TOTAL DE PERDA	(13,2%; 12,1%; 12,05%)

4.9 Geração de Energia Fotovoltaica

Para calcular quanto de energia elétrica será gerada pelo estacionamento solar, será utilizada a equação abaixo:

$$E_M = A_m * \eta * I_{ss} [2] \quad (4,15)$$

Onde: E_M é a energia produzida no dia por cada módulo, A_m é a área do módulo fotovoltaico utilizado, η é a eficiência do módulo fotovoltaico utilizado e I_{ss} é a radiação solar incidente no local dos módulos.

Utilizando os dados obtidos nos anexos e nos tópicos passados, é possível calcular que a produção diária por cada módulo fotovoltaico será de:

$$E_M = 2,324 \text{ kWh} \quad (4.16)$$

Levando em consideração o cenário de perdas anteriormente descrito, é possível fazer uma estimativa mais precisa da produção diária de cada módulo fotovoltaico. Logo, no novo cenário, a produção diária de energia elétrica será de:

$$E_M = 2,324 * (1 - 0,132) = 2,017 \text{ kWh} \quad (4.17)$$

$$E_M = 2,324 * (1 - 0,121) = 2,043 \text{ kWh} \quad (4.18)$$

$$E_M = 2,324 * (1 - 0,1205) = 2,044 \text{ kWh} \quad (4.19)$$

Com isso, tem-se que no primeiro cenário com inversor de 1200 W será gerado, em média, 2,017 kWh por módulo fotovoltaico. Já para os inversores de 5000 W e 20000 W, serão gerados, em média, 2,043 kWh por módulo fotovoltaico.

Além disso, é possível estimar quanto será gerado por ano, para cada cenário de projeto, como demonstra a tabela 4.6 abaixo.

Tabela 4.6 Geração elétrica por cenário

Cenário	Geração diária (kWh)	Geração anual (kWh)
CSI-1KTL1P-GI-FL	387,264	139.415,04
SIW300H-M050	392,256	141.212,16
SIW500H-ST020	392,448	141.281,28

4.10 Orçamento

Para o levantamento do orçamento de cada cenário, serão utilizados dados obtidos em orçamentos de empresas no mercado, pesquisas feitas em páginas de vendas varejistas e trabalhos anteriormente publicados como Lucas Tamanini Camargo. Projeto de Sistemas Fotovoltaicos conectados à Rede Elétrica. 2017. 101 p. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Elétrica Universidade Estadual de Londrina, Londrina.

O orçamento será dividido em três partes para cada cenário, e em seguida, será feito um levantamento com relação à atratividade e dados econômicos para cada cenário. Desse modo, serão propostas algumas alternativas de um projeto para a melhor satisfação do cliente (no caso a Universidade de Brasília).

A divisão deste orçamento será entre o custo dos módulos, custo da instalação elétrica e custo da estrutura do estacionamento, juntamente com a mão de obra.

Para o orçamento da instalação elétrica, serão utilizados os valores presentes nas lojas e sites de venda de material elétrico no Distrito Federal.

Tabela 4.7 Orçamento instalação elétrica

Material	Preço Cenário com o inversor CSI-1KTL1P-GI-FL (R\$)	Preço Cenário com o inversor SIW300H-M050 (R\$)	Preço Cenário com o inversor CSI- SIW500H-ST020 (R\$)
Cabos (média)	1.200,00	1.200,00	1.200,00
Duto de fiação elétrica	250,00	250,00	250,00
Chave seccionadora + Fusível CC	1.600,00	400,00	100,00
Dispositivo Contra Surto (DPS) CC	8.000,00	2.000,00	500,00
Disjuntor CC	6.400,00	1.600,00	800,00
Disjuntor CA	1.600,00	800,00	200,00
Dispositivo Contra Surto (DPS) CA	4.320,00	2.160,00	540,00
Chave seccionadora + Fusível CA	400,00	400,00	400,00
TOTAL	23.770,00	8.810,00	3.990,00

Para o levantamento do preço da estrutura do estacionamento, será utilizado o orçamento feito pela empresa Sonnen Energia, mediante prévia autorização. Além disso,

estimou-se o preço da mão de obra técnica para a instalação de todo o sistema fotovoltaico.

Tabela 4.8 Orçamento estrutural do estacionamento

Material	Preço (R\$)
Estrutura do estacionamento	54.866,83
Mão de obra Técnica	10.000,00
TOTAL	64.866,83

Por fim, foi feito um levantamento do preço dos módulos fotovoltaicos e dos inversores, de acordo com páginas da internet de empresas varejistas para a obtenção do preço mais aproximado possível da realidade.

Tabela 4.9 Orçamento dos módulos e inversores.

Material	Preço Cenário com o inversor CSI-1KTL1P-GI-FL (R\$)	Preço Cenário com o inversor SIW300H-M050 (R\$)	Preço Cenário com o inversor CSI- SIW500H-ST020 (R\$)
Módulo fotovoltaico <i>Canadian</i> 405Wp	178.756,00	178.756,00	178.756,00
Inversor Fotovoltaico	134.400,00	89.600,00	84.000,00]
TOTAL	313.156,00	268.356,00	262.756,00

Obtidos todos esses dados, foi possível calcular o custo total de cada cenário dos projetos de geração elétrica por meio de um estacionamento com cobertura fotovoltaica.

Tabela 4.10 Custo total por cenário

Cenários	Custo Total (R\$)
CSI-1KTL1P-GI-FL	401.792,83
SIW300H-M050	342.032,83
SIW500H-ST020	331.612,83

5 RESULTADOS

5.1 Simulações do Projeto

Para a simulação dos cenários propostos, utilizou-se o *software System Advisor Model (SAM)* para comparação com os resultados teóricos realizados. Dessa forma, é possível notar que os resultados teóricos obtidos são próximos dos simulados.

Para o primeiro cenário, as simulações foram feitas com os módulos fotovoltaicos da *Canadian* modelo CS3W 405p de 405 W_p , em conjunto com o micro inversor da *Canadian* modelo CSI-1KTL1P-GI-FL de 1200 W . As alterações mais significativas que diferenciaram os cenários com relação à sua energia elétrica produzida foram a eficiência dos inversores e a perda por ligações elétricas. Comparando o resultado teórico obtido, observa-se a aproximação desses resultados pois, no resultado teórico, a energia elétrica produzida no primeiro cenário foi de 139.415,04 kWh/ano enquanto o simulador avaliou em 133.226,00 kWh/ano .

Metric	Value
Annual energy (year 1)	133,226 kWh
Capacity factor (year 1)	19,5%
Energy yield (year 1)	1,712 kWh/kW
Performance ratio (year 1)	0,78

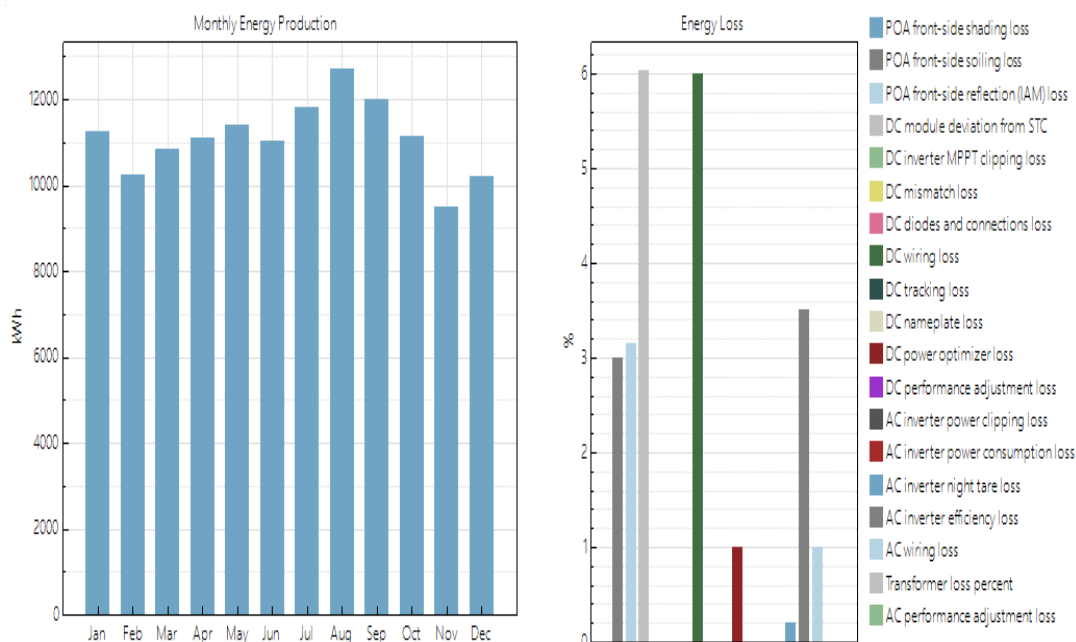


Figura 5.1 Simulação do cenário 1.

Para o segundo cenário, a simulação também foi feita com os módulos fotovoltaicos da *Canadian* modelo CS3W 405p de 405 W_p , juntamente com o inversor da *WEG* modelo SIW500H-ST020 de 20.000 W . Nesse caso, a alteração mais significativa que diferenciou do primeiro e do segundo cenário, com relação a sua energia elétrica produzida, também foi a eficiência dos inversores e a menor perda por ligações elétricas.

Comparando o resultado teórico obtido, observa-se a aproximação desses

resultados, pois no resultado teórico, a energia elétrica produzida no terceiro cenário foi de 141.212,16 *kWh/ano* , enquanto o simulador avaliou em 139.249,00 *kWh/ano*. Isso representou uma aproximação muito relevante com relação ao resultado teórico.

Metric	Value
Annual energy (year 1)	139,249 kWh
Capacity factor (year 1)	20,4%
Energy yield (year 1)	1,789 kWh/kW
Performance ratio (year 1)	0,82

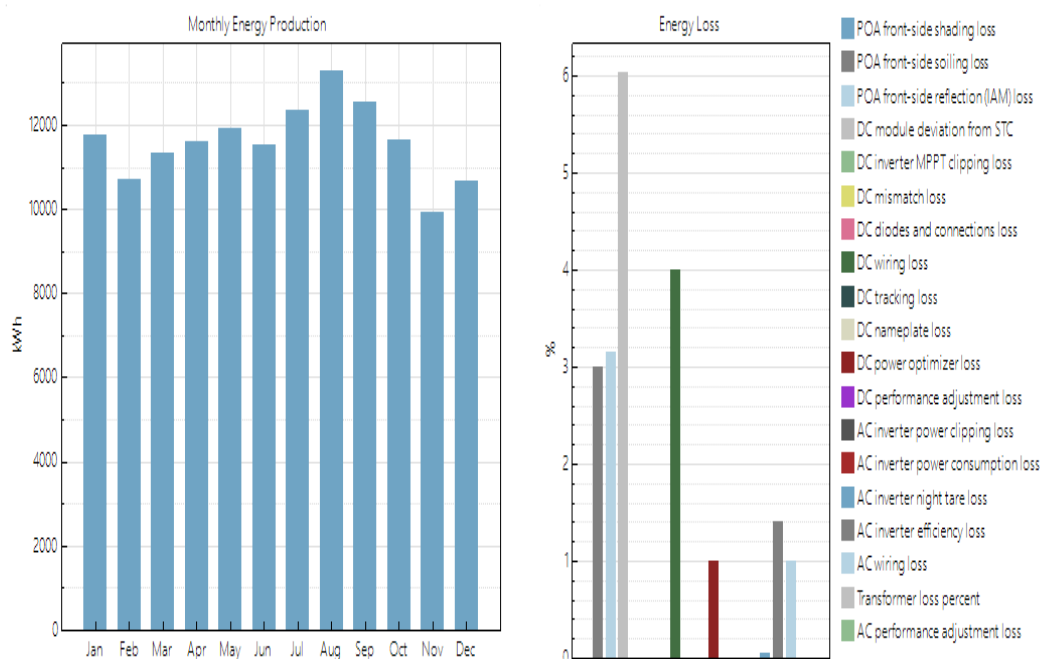


Figura 5.2 Simulação do cenário 2.

Para o terceiro cenário, também simulado com os módulos fotovoltaicos da *Canadian* modelo CS3W 405p de 405 *Wp*, juntamente com o inversor da WEG modelo SIW300H-M050 de 5000 *W*, a alteração mais significativa que diferenciou do cenário 1, com relação à sua energia elétrica produzida, foi a eficiência dos inversores e a menor perda por ligações elétricas.

Comparando o resultado teórico obtido, observa-se a aproximação desses resultados, pois no resultado teórico, a energia elétrica produzida no segundo cenário foi de 141.281,28 *kWh/ano*, enquanto o simulador avaliou em 140.812,00 *kWh/ano*. Isso representou uma aproximação muito relevante com relação ao resultado teórico.

Metric	Value
Annual energy (year 1)	140,812 kWh
Capacity factor (year 1)	20.7%
Energy yield (year 1)	1,809 kWh/kW
Performance ratio (year 1)	0.83

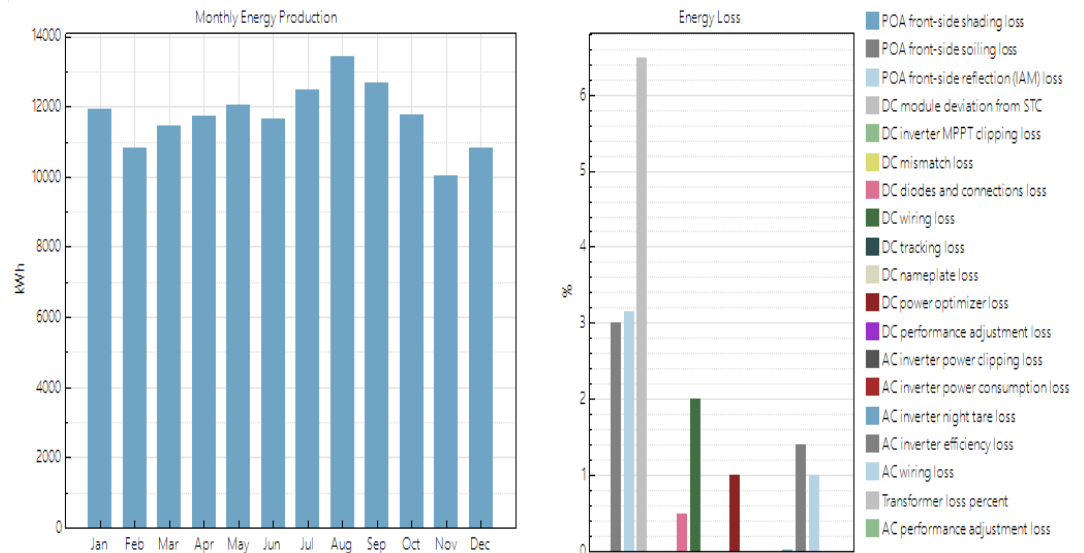


Figura 5.3 Simulação do cenário 3.

5.2 Payback

Por definição, *Payback* é o retorno, em unidade de tempo, sobre o investimento inicial de um projeto. Logo, o *Payback* representará o tempo necessário para que o investimento inicial feito no projeto seja recebido de volta, e em seguida, comece a ter o lucro proveniente do negócio. [2].

Para o caso do projeto em questão, o lucro proveniente do estacionamento fotovoltaico será dado pela geração de energia elétrica no ano (*kWh/ano*), de cada cenário proposto. Além disso, será utilizada a tarifa de energia elétrica cobrada do conjunto de prédios Residenciais da colina, em destaque o Bloco E, situada próximo aos pavilhões onde está sendo feito este projeto, geridas pela Fundação Universidade de Brasília.

Utilizou-se a tarifa média referente aos meses de agosto, julho e maio de 2020 cobrada do Bloco E da colina, sendo essa tarifa em torno de 0,70 R\$/kWh, como pode ser observado no anexo G.

Com isso, é possível calcular o *payback* referente aos cenários propostos, de acordo com a equação abaixo.

$$Payback(\text{anos}) = \frac{\text{Custo do projeto (cenários)}}{\text{Energia Gerada} \left(\frac{\text{kWh}}{\text{ano}} \right) * \text{Tarifa média}}, \quad (5.1)$$

O resultado apresenta-se na tabela abaixo, correspondente ao *payback*, em que a coluna da esquerda está relacionada aos cenários com diferentes configurações do sistema

fotovoltaico, a partir dos diferentes inversores utilizados.

Tabela 5.1 Payback dos cenários fotovoltaicos

Cenários	Payback (anos)
CSI-1KTL1P-GI-FL	4
SIW300H-M050	3,36
SIW500H-ST020	3,26

Dessa forma, pode-se observar que o retorno previsto para esse projeto teria o melhor resultado utilizando a configuração com o inversor SIW500H-ST020 de 20000 W, sendo um retorno de aproximadamente 3 anos e 3 meses. Além disso, é possível notar o retorno previsto para as outras configurações, em que a configuração com SIW300H-M050 de 5000 W trará um retorno em 3 anos e 4 meses e a configuração com CSI-1KTL1P-GI-FL com micro inversor de 1200 W trará um retorno em 4 anos.

Outra forma para obter a atratividade de um projeto pode ser utilizando o cálculo de rentabilidade, ou seja, a rentabilidade dará a taxa de retorno sobre o investimento do projeto.[2] Para que se possa obter a rentabilidade, deve-se primeiramente obter, no caso de sistemas fotovoltaicos, a Economia de energia no ano (R\$/ano) e o Investimento inicial sobre o projeto. Com isso, torna-se possível obter a rentabilidade de projeto para cada cenário e comparar com a rentabilidade de investimentos de mercado de forma a demonstrar o quão atrativo o projeto de sistema fotovoltaico se torna.

$$Rentabilidade = \frac{Economia\ de\ energia}{Investimento\ inicial}, \quad (5.2)$$

Tabela 5.2 Rentabilidade por cenário fotovoltaico

Cenários	Rentabilidade (%)
CSI-1KTL1P-GI-FL	24,28%
SIW300H-M050	28,9%
SIW500H-ST020	29,82%

Obtidas as rentabilidades dos cenários, pode-se comparar com a rentabilidade de investimentos mais conhecidos no ambiente de investidores tradicionais.

Tabela 5.3 Comparativo de rentabilidade em 2020

Investimento	Rentabilidade em 2020 (a.a)
---------------------	------------------------------------

DOLAR COMERCIAL (PTAXV)	38,21%
Sistema Fotovoltaico	29,82%
Multimercado	11,44%
Tesouro IGPM 2031	10,84%
Poupança	4,55%

Conclui-se que, com um investimento em sistema fotovoltaico é possível obter uma rentabilidade atraente para o mercado, principalmente por possuir baixo risco, pois a geração do sistema dependerá apenas de condições climáticas históricas e de manutenção preventiva de baixo custo como a limpeza dos módulos.

6 DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

Conforme foi observado no desenvolvimento deste trabalho, foi dimensionado e projetado um sistema fotovoltaico gerador de energia elétrica a partir de um estacionamento com cobertura de módulos fotovoltaicos (*Carport*) e conectados à rede elétrica. Além disso, foi possível estimar três diferentes cenários, os quais se diferenciam em maior parte pelos inversores utilizados e pela tensão de operação do lado CC (corrente contínua). Visto que o estacionamento fotovoltaico possui grande fluxo de pessoas durante os dias letivos da Universidade de Brasília, e para uma maior segurança dos usuários do estacionamento, seria importante levar em consideração a tensão de operação nestes sistemas e disponibilizar três cenários a serem analisados e posteriormente escolhido pelo cliente (Universidade de Brasília).

O estacionamento fotovoltaico gerador de energia elétrica obteve como base uma estrutura de *Carport* utilizada no mercado em que disponibilizava o espaçamento para 192 módulos fotovoltaicos de, aproximadamente, $2m \times 1m$ para 26 vagas de estacionamento próximas ao pavilhão João Calmon no Campus Darcy Ribeiro. A partir desta base de 192 módulos, foi possível estipular, usando módulos fotovoltaicos de $405 Wp$ da fabricante *Canadian* que, no total, apresentou uma potência instalada de $77,76 kWp$, gerando, aproximadamente, $140 MWh$ ao ano, podendo economizar aproximadamente R\$98.000,00 ao ano se for considerada a tarifa de energia elétrica aproximada cobrada pela CEB (Companhia Elétrica de Brasília) de R\$0,70/ kWh dos blocos residenciais da Colina da Universidade de Brasília em especial e em anexo a este trabalho o Bloco E.

No quesito segurança, observa-se que o primeiro cenário no qual a tensão próxima aos carros estacionados é a mais baixa, corresponde ao cenário que possui o maior custo, menor rentabilidade e maior *payback*. Por outro lado, o terceiro cenário com maior rentabilidade e menor *payback* corresponde ao cenário em que a tensão no lado CC está mais elevada.

Por fim, nota-se a partir dos cálculos realizados que o projeto do estacionamento com cobertura de módulos fotovoltaicos conectados à rede elétrica está de acordo com a literatura vigente no momento e que a partir das simulações realizadas, é possível confirmar o que foi realizado no decorrer do projeto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

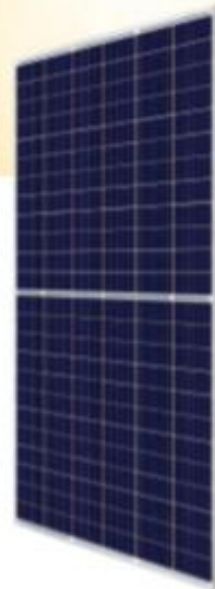
- 1 PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. Rio de Janeiro: CEPEL, 2014.
- 2 Lucas Tamanini Camargo. Projeto de Sistemas Fotovoltaicos conectados à Rede Elétrica. 2017. 101 p. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Elétrica Universidade Estadual de Londrina, Londrina.
- 3 Renata Pereira Braga. Energia Solar Fotovoltaica: Fundamentos e Aplicações. Universidade Federal do Rio de Janeiro Escola Politécnica, UFRJ, RJ, 2008.
- 4 CÂMARA, C. F. Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica. Universidade Federal de Lavras, UFLA, MG, 2011.
- 5 GRIMM, Alice Marlene. Meteorologia Básica. Universidade Federal do Paraná, 1999. Disponível em: <http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap2/cap2-1.html>. Acesso em: 23/05/2020.
- 6 Fundamentos de Eletrônica. Instituto Universitário de Lisboa, 2005. Disponível em: <http://cadeiras.iscte.pt/fe/semiconductores.pdf>. Acesso em: 27/05/2020.

- 7 Efeito Fotovoltaico. Empresa WGSOL, 2020. Disponível em: <https://wgsol.com.br/o-efeito-fotovoltaico-o-solfabricando-eletricidade/efeito-fotovoltaico/>. Acesso em: 15/06/2020.
- 8 Processo de Czochralski. Wikipédia, 2020. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Processo_de_Czochralski. Acesso em: 15/06/2020.
- 9 VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações. São Paulo: Érica, 2012
- 10 ROSA, P.; SANTOS, E. Apostila de Instalação de Sistemas Fotovoltaicos: Módulo 1. [S.I.]: ECODOT, 2016.
- 11 Tronco Silva, P. H.; Florian, F.; Pestana F. A. B. Estudo de Perdas em Sistemas Fotovoltaicos. UNIARA (Universidade de Araraquara), 2018.
- 12 FOSTER, R.; GHASSEMI, M.; COTA, A. *Solar energy: renewable energy and the environment*. [S.I.]: CRC Press, 2009.
- 13 Rentabilidade Acumulada. Tesouro Direto, 2020. Disponível em: www.tesourodireto.com.br/mercado-de-titulos-publicos/rentabilidade-acumulada.html. Acesso em: 27/08/2020.
- 14 Tabela de Rentabilidade. Banco Bradesco, 2020. Disponível em: www.banco.bradesco/html/prime/produtos-servicos/investimentos/fundos/tabela-de-rentabilidade.shtm. Acesso em: 27/08/2020.
- 15 Hierarquia Fotovoltaica. Eletrônica de Potência, Célula fotovoltaica: Tudo que você precisa saber. Caio Moraes, 5 de maio de 2020. Disponível em: <https://eletronicadepotencia.com/celula-fotovoltaica/>.– Acesso em 07/10/2020.
- 16 Ministério de Minas e Energia. Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2019 ano base 2018: Rio de Janeiro, 2019.
- 17 Reis, Lineu Belico dos, Geração de Energia Elétrica / Lineu Belico dos Reis. – 3. Ed. Ver., ampl. E atual. – Barueri: Manole, 2017.

- 18 KOLODZEI, Stephen Lukas Ferraz; OLIVEIRA, Bruna Santos de; COSTA, Vinicius Eduard. Estudo de viabilidade técnica e econômica para implantação de estacionamento fotovoltaico no campus ecoville da UTFPR. 2018. 124 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT), Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Curitiba, 2018.
- 19 Componentes de um Sistema Fotovoltaico. Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito, 2020. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=341. Acesso em: 08/09/2020.
- 20 A Aceleração da Energia Solar Fotovoltaica no Mundo. Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica, 2018.
Disponível em: <http://www.absolar.org.br/noticia/noticias-externas/a-aceleracao-da-energia-solar-fotovoltaica-no-mundo.html>. Acesso em: 10/09/2020.
- 21 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.
- 22 Geração elétrica por região no mundo. Empresa Brasileira de Energia, 2018. Disponível em: www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/anuario-estatistico-de-energia-eletrica. Acesso em: 21/10/2020.
- 23 Dados Solarimétricos. *National Solar Radiation Database*, 2020. Disponível em: www.nsrdb.nrel.gov/. Acesso em 25/10/2020.
- 24 Modelo de orientador do sistema. SAM (*System Advisor Model*). Disponível em: <http://www.sam.nrel.gov/>. Acesso em 25/10/2020.
- 25 Localização do estacionamento do Pavilhão João Calmon. Disponível em: <https://www.google.com.br/maps/@-15.7593958,-47.870301,191m/data=!3m1!1e3>. Acesso em 28/10/2020.

ANEXOS

ANEXO A – Manual Canadian



HiKu

SUPER HIGH POWER POLY PERC MODULE

395 W ~ 420 W

CS3W-395 | 400 | 405 | 410 | 415 | 420P

MORE POWER



24 % higher power than conventional modules



Up to 4.5 % lower LCOE
Up to 2.7 % lower system cost



Low NMOT: 42 ± 3 °C
Low temperature coefficient (Pmax):
-0.37 % / °C



Better shading tolerance

MORE RELIABLE



Lower internal current,
lower hot spot temperature



Minimizes micro-crack impacts



Heavy snow load up to 5400 Pa,
wind load up to 3600 Pa*

* For detail information, please refer to Installation Manual.



linear power output warranty*



enhanced product warranty on materials
and workmanship*

*According to the applicable Canadian Solar Limited Warranty Statement.

MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATES*

ISO 9001:2015 / Quality management system
ISO 14001:2015 / Standards for environmental management system
OHSAS 18001:2007 / International standards for occupational health & safety

PRODUCT CERTIFICATES*

IEC 61215 / IEC 61730; VDE / CE / MCS / KS / DN-METRO
UL 1703 / IEC 61215 performance; CEC listed (US)
UL 1703; CSA / IEC 61701; ED2; VDE / IEC 62716; VDE / IEC 60068-2-68; SGS
UNI 9177 Reaction to Fire: Class 1 / Take-e-way



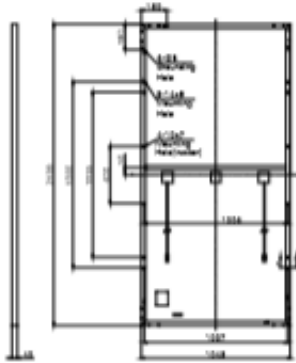
* As there are different certification requirements in different markets, please contact your local Canadian Solar sales representative for the specific certificates applicable to the products in the region in which the products are to be used.

CANADIAN SOLAR INC. is committed to providing high quality solar products, solar system solutions and services to customers around the world. No. 1 module supplier for quality and performance/price ratio in IHS Module Customer Insight Survey. As a leading PV project developer and manufacturer of solar modules with over 38 GW deployed around the world since 2001.

CANADIAN SOLAR INC.

545 Speedvale Avenue West, Guelph, Ontario N1K 1E6, Canada, www.canadiansolar.com, support@canadiansolar.com

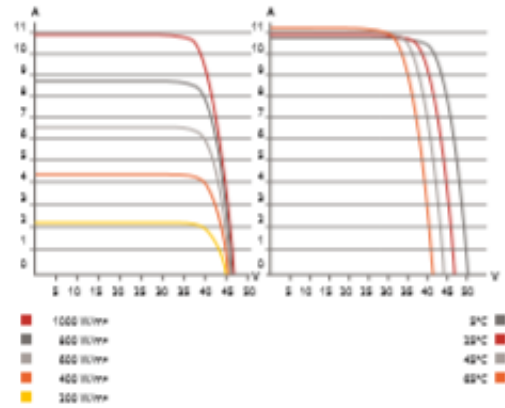
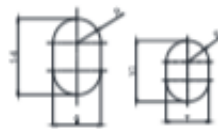
Rear View



Frame Cross Section A-A



Mounting Hole

**ELECTRICAL DATA | STC***

CS3W	395P	400P	405P	410P	415P	420P
Nominal Max. Power (P _{max})	395 W	400 W	405 W	410 W	415 W	420 W
Opt. Operating Voltage (V _{mp})	38.5 V	38.7 V	38.9 V	39.1 V	39.3 V	39.5 V
Opt. Operating Current (I _{mp})	10.26 A	10.34 A	10.42 A	10.49 A	10.56 A	10.64 A
Open Circuit Voltage (V _{oc})	47.0 V	47.2 V	47.4 V	47.6 V	47.8 V	48.0 V
Short Circuit Current (I _{sc})	10.82 A	10.90 A	10.98 A	11.06 A	11.14 A	11.26 A
Module Efficiency	17.88%	18.11%	18.33%	18.56%	18.79%	19.01%
Operating Temperature	-40°C – +85°C					
Max. System Voltage	1500V (IEC/UL) or 1000V (IEC/UL)					
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 1703) or CLASS C (IEC 61730)					
Max. Series Fuse Rating	20 A					
Application Classification	Class A					
Power Tolerance	0 – + 5 W					

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

ELECTRICAL DATA | N_{MO}T*

CS3W	395P	400P	405P	410P	415P	420P
Nominal Max. Power (P _{max})	294 W	297 W	301 W	305 W	308 W	312 W
Opt. Operating Voltage (V _{mp})	35.8 V	36.0 V	36.1 V	36.3 V	36.5 V	36.7 V
Opt. Operating Current (I _{mp})	8.21 A	8.27 A	8.33 A	8.39 A	8.45 A	8.51 A
Open Circuit Voltage (V _{oc})	44.1 V	44.3 V	44.4 V	44.6 V	44.8 V	45.0 V
Short Circuit Current (I _{sc})	8.73 A	8.79 A	8.86 A	8.92 A	8.99 A	9.08 A

* Under Nominal Module Operating Temperature (N_{MO}T), irradiance of 800 W/m² spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

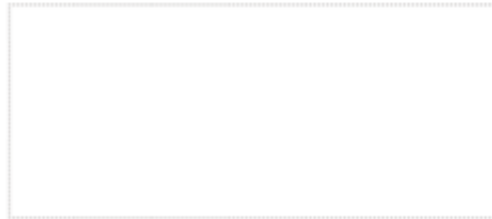
MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Poly-crystalline
Cell Arrangement	144 [2 X (12 X 6)]
Dimensions	2108 X 1048 X 40 mm (83.0 X 41.3 X 1.57 in)
Weight	24.9 kg (54.9 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame	Anodized aluminium alloy, crossbar enhanced
J-Box	IP68, 3 bypass diodes
Cable	4 mm ² (IEC), 12 AWG (UL)
Cable Length (Including Connector)	Portrait: 500 mm (19.7 in) (+) / 350 mm (13.8 in) (-); landscape: 1400 mm (55.1 in); leap-frog connection: 1670 mm (65.7 in)*
Connector	T4 series or H4 UTX or MC4-EVO2
Per Pallet	27 pieces
Per Container (40' HQ)	594 pieces

* For detailed information, please contact your local Canadian Solar sales and technical representatives.

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (P _{max})	-0.37 % / °C
Temperature Coefficient (V _{oc})	-0.29 % / °C
Temperature Coefficient (I _{sc})	0.05 % / °C
Nominal Module Operating Temperature	42 ± 3°C

PARTNER SECTION

* The specifications and key features contained in this datasheet may deviate slightly from our actual products due to the on-going innovation and product enhancement. Canadian Solar Inc. reserves the right to make necessary adjustment to the information described herein at any time without further notice.

Please be kindly advised that PV modules should be handled and installed by qualified people who have professional skills and please carefully read the safety and installation instructions before using our PV modules.

CANADIAN SOLAR INC.

545 Speedvale Avenue West, Guelph, Ontario N1K 1E6, Canada, www.canadiansolar.com, support@canadiansolar.com

March 2020. All rights reserved, PV Module Product Datasheet VS-59_0N

SIW300H E SIW500H - INVERSORES STRING

Eficiência e segurança em energia solar



Motores | Automação | Energia | Transmissão & Distribuição | Tintas

ANEXO B



Inversor String SIW300H - M050

Inteligente

- Topologia do inversor de alta eficiência, eficiência máxima de 98,6%, eficiência europeia de 98,0%

Eficiente

- Fácil instalação por apenas uma pessoa com peso de 10,6 kg
- Conector CA otimizado para rápida ligação
- Configuração rápida do inversor via APP

Seguro

- Interface integrada de armazenamento de energia *Plug & Play*
- Dotado de seccionamento CC

Confiável

- Instalável ao tempo (IP65) com convecção natural (mais eficiente)
- Proteção contra surtos integrada para CC e para CA



Curva de Eficiência

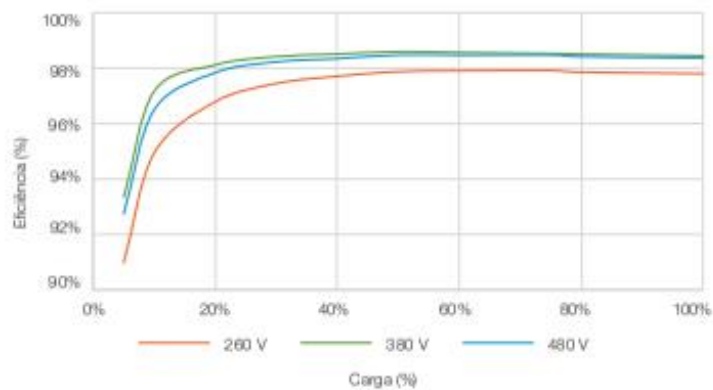
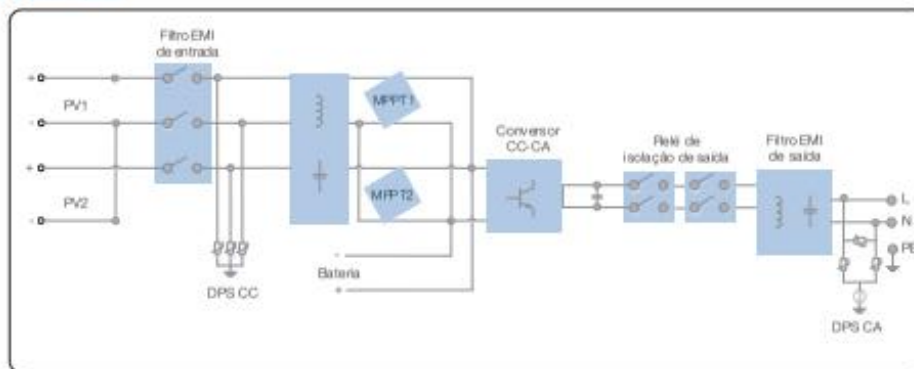


Diagrama do Circuito



SIW300H - M050

Inversor String SW300H - M050

Especificações técnicas	SW300H - M050	
Eficiência		
Eficiência máxima	98,6%	
Eficiência europeia	98%	
Entrada		
Tensão de entrada máxima	600 V	
Faixa de tensão de operação ¹⁾	90 V – 600 V	
Tensão de partida	120 V	
Faixa de tensão MPPT em máxima potência	260 V – 480 V	
Tensão de entrada nominal	380 V	
Corrente de entrada máxima por MPPT	11 A	
Corrente de curto-circuito máxima	15 A	
Número de MPPTs	2	
Número máximo de entradas por MPPT	1	
Saída		
Conexão à rede	Monofásica	
Potência nominal de saída	5.000 W ²⁾	
Potência aparente máxima	5.500 VA ³⁾	
Tensão de saída nominal	230 V / 230 V / 240 V	
Frequência de rede CANominal	50 Hz / 60 Hz	
Corrente de saída máxima	25 A ⁴⁾	
Fator de potência ajustável	0,8 adiantado ... 0,8 atrasado	
Distorção harmônica total máxima	≤3%	
Proteção		
Proteção anti-filamento	Sim	
Proteção contra polaridade CC invertida	Sim	
Monitoramento da isolação	Sim	
Proteção contra raios CC	Sim	
Proteção contra raios CA	Sim	
Monitoramento de correntes residuais	Sim	
Proteção contra sobrecorrente CA	Sim	
Proteção contra curto-circuito CA	Sim	
Proteção contra sobretensão CA	Sim	
Proteção contra sobretensão	Sim	
Dados gerais		
Faixa de temperatura de operação	-30 a +60 °C (redução acima de 45 °C à Potência nominal de saída)	
Umidade relativa de operação	0% RH – 100% RH	
Altitude de operação	0 – 4.000 m (redução acima de 4.000 m)	
Resfriamento	Convecção natural	
Display	Indicadores LED	
Comunicação	RS485, WLAN	
Peso (incluindo suporte de montagem)	10,6 kg	
Dimensão (incluindo suporte de montagem)	375 × 375 × 161,5 mm	
Grau de proteção	IP65	
Modo de operação	com bateria	On-Grid ⁵⁾
	sem bateria	Grid-zero ⁶⁾
Compatibilidade da bateria		
Bateria	LG Chem RESU 7H_R / 10H_R	
Faixa de tensão	350 – 450 V _{cc}	
Corrente máxima	10 A	
Comunicação	RS485	
Conformidade com normas		
Segurança	EN/IEC 62109-1, EN/IEC 62109-2	
Normas de conexão à rede	G83/2, G59/3, EN 50438, CB 0-21, VDE-AR-N-4105, UTE C15-712-1, AS 4777	

Notas: 1) Somente aplicável a string FV. A tensão de entrada máxima e o limite superior da tensão de operação serão reduzidos a 495 V quando o inversor conecta-se a uma bateria e opera com ela.

2) AS4777:4.990 W

3) VDE-AR-N 4105:4.600 VA / AS4777:4.990 VA.

4) AS4777:4.990 VA.

5) AS4777:21,7 A.

6) Não opera Off-Grid.

ANEXO C



Inversor String SIW500H - ST020

Inteligente

- 2 MPPTs para adaptação versátil a diferentes tipos ou quantidades de módulos construídos com diferentes alinhamentos
- Monitoramento inteligente de 4 strings e 80% de economia de tempo na detecção de falhas
- Portas RS485 e USB para conectividade e gerenciamento de dados

Eficiente

- Eficiência máx. de 98,65% e 98,30%
- Fácil instalação com peso de 25 kg

Seguro

- Seccionadora CC integrada, segurança e praticidade para manutenção
- Supressores de surto Tipo II para CC e CA
- Proteção contra falta à terra
- Proteção contra corrente de fuga (DR)

Confiável

- Sem necessidade de ventiladores externos, pois conta com tecnologia de resfriamento natural
- Grau de proteção IP65



Curva de Eficiência

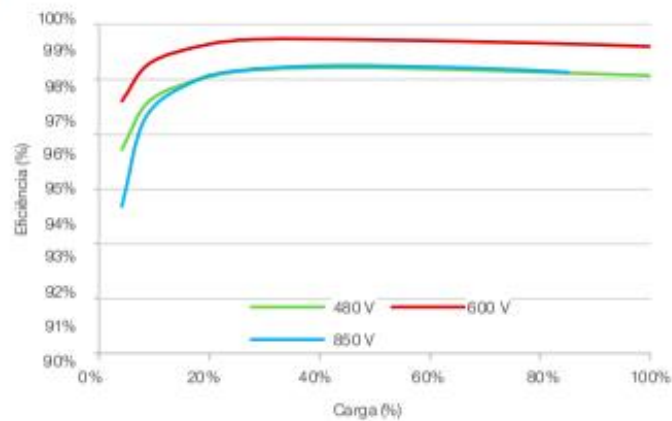
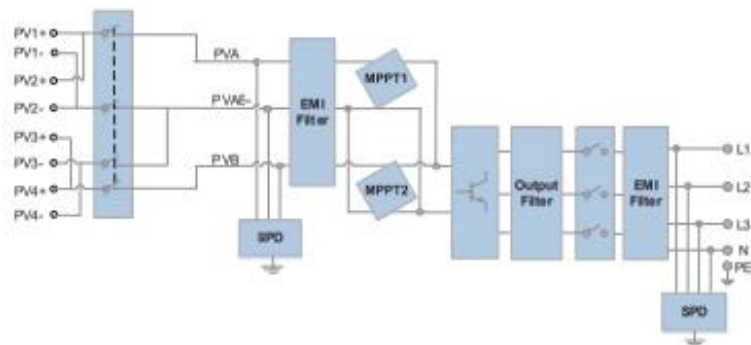


Diagrama do Circuito



Inversor String SIW500H - ST020

Especificações técnicas	SIW500H - ST020
Eficiência	
Eficiência máxima	98,65%
Entrada	
Tensão de entrada máxima	1.080 V
Corrente máxima por MPPT	22 A
Faixa de tensão MPPT em máxima potência	160 V – 950 V
Número máximo de entradas	4
Número de rastreadores MPPT	2
Saída	
Potência ativa CA nominal	20.000 W
Tensão de saída nominal (FNFP)	220 V (F-N) / 380 V (F-F), 230 V / 400 V 3F+N+PE
Frequência de rede CANOMINAL	60 Hz
Corrente de saída máxima	33,5 A
Fator de potência ajustável	0,8 LG ... 0,8 LD
Distorção harmônica total máxima	<3%
Proteção	
Seccionadora no lado de entrada	Sim
Proteção anti-ilhamento	Sim
Proteção contra polaridade CC invertida	Sim
Monitoramento de falha de string no arranjo PV	Sim
Supressor de surto CC	Sim
Supressor de surto CA	Sim
Monitoramento da isolação	Sim
Deteção de corrente de fuga	Sim
Comunicação	
RS485	Sim
USB	Sim
Geral	
Dimensões (L x A x P)	525 x 470 x 262 mm
Peso	25 kg
Faixa de temperatura de operação	-25 °C ~ 60 °C
Grau de proteção	IP65
Consumo interno noturno	<1 W
Topologia	Sem transformador





SINGLE PHASE STRING INVERTER

CSI-700TL1P-GI-FL | CSI-1KTL1P-GI-FL | CSI-1.5KTL1P-GI-FL
 CSI-2KTL1P-GI-FL | CSI-2.5KTL1P-GI-FL | CSI-3.0KTL1P-GI-FL

KEY FEATURES

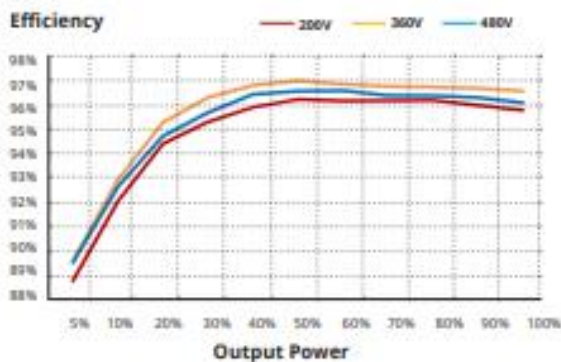
- Max. efficiency up to 97.5%, wide input voltage range
- Integrated DC switch
- Transformerless topology
- Compact design
- Flexible communication connection: supports RF, WiFi, Ethernet



Standard warranty, extension up to 20 years

EFFICIENCY CURVE

CSI-3.0KTL1P-GI-FL @220 Vac



HIGH RELIABILITY

- Advanced thermal design and convection cooling
- Built in over-voltage and over-current protection
- DC reverse polarity and AC short circuit protection

CANADIAN SOLAR INC. is committed to providing high quality solar products, solar system solutions and services to customers around the world. As a leading PV project developer and manufacturer of solar modules with over 30 GW deployed around the world since 2001, Canadian Solar Inc. is one of the most bankable solar companies worldwide.

*For detailed information, please refer to the Installation Manual.

CANADIAN SOLAR INC.

545 Speedvale Avenue West, Guelph, Ontario N1K 1E6, Canada | www.canadiansolar.com

TECHNICAL DATA						
MODEL NAME	CSI-700TL1P-GI-FL	CSI-1KTL1P-GI-FL	CSI-1.5KTL1P-GI-FL	CSI-2KTL1P-GI-FL	CSI-2.5KTL1P-GI-FL	CSI-3.0KTL1P-GI-FL
DC INPUT						
Max. PV power	0.9KW	1.2KW	1.8KW	2.3KW	3KW	3.5KW
Max. DC Input voltage	600V					
Start-up DC Input Voltage	60V					90V
Number of MPPT Trackers	1/1					
MPPT Voltage Range	50-500V			80-500V		
Max. Input Current (Imp)	11A					
Max. Short Circuit Current (Isc)	17.2A					
Number of DC Inputs	1/1					
DC Disconnection Type	Load rated DC switch					
Nominal DC Voltage	230V			330V		
Max. Power per MPPT	0.9KW	1.2KW	1.8KW	2.3KW	3KW	3.5KW
MPPT Full Power Voltage Range	66-500V	94-500V	141-500V	187-500V	234-500V	281-500V
AC OUTPUT						
Rated AC Output Power	0.7KW	1KW	1.5KW	2KW	2.5KW	3KW
Max. AC Output Power	0.8KW	1.1KW	1.7KW	2.2KW	2.8KW	3.3KW
Rated Output Voltage	220V/230V					
OUTPUT VOLTAGE RANGE						
Grid Connection Type	1 Φ / PE					
Rated Grid Output Current	3.2/3.0A	4.5/4.3A	6.8/6.5A	9.1/8.7A	11.4/10.9A	13.6/13A
Max. Output Current	4.4A	5.2A	8.1A	10.5A	13.3A	15.7A
Rated Output Frequency	50HZ/60HZ					
Output Frequency Range	47-52HZ OR 57-62HZ					
Power Factor	0.8 Leading ... 0.8 Lagging					
Current THD	<0.3%					
DC Injection Current	<0.5% In					
Max. Apparent Output Power	0.8KVA	1.1KVA	1.7KVA	2.2KVA	2.8KVA	3.3KVA
SYSTEM						
Topology	Transformerless					
Max. Efficiency	97.2%			97.5%		
EU Efficiency	96.5%			96.8%		
MPPT Efficiency	>99.5%			>99.5%		
Night Consumption	<1W (Night)					
ENVIRONMENT						
Protection Degree	IP65					
Cooling	Natural convection					
Operating Ambient Temperature Range	-25°C to +60°C					
Storage Temperature Range	-40°C to +70°C					
Operating Humidity	0-100%					
Operating Altitude	4000m					
Noise Emission(typical)	<20dB					
GENERAL DATA						
Display	LCD, 2*20 Z.					
Communication Connections	WIFI/RS485 Optional					
Dimensions (W*H*D)	310W*373H*160D (mm)					
Net Weight	8.5kg			8.8kg		
Installation Angle	90 degrees from horizontal					
DC Inputs	MC4					
Warranty	5 Years					
SAFETY						
Safety and EMC Standard	IEC62109-1/-2, NB/T 32004					
Grid Standard	EN50438, GB312, AS4777.2-2015, VDE0126-1-1, IEC61727, VDE N4105, NBR-16149/NBR-16150					

The specification and key features described in this datasheet may deviate slightly and are not guaranteed. Due to on-going innovation, research and product enhancement, Canadian Solar Inc. reserves the right to make any adjustment 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 binding contract made by the parties governing all transactions related to the purchase and sale of the products described herein.

Caution: For professional use only. The installation and handling of PV equipment requires professional skills and should only be performed by qualified professionals. Please read the safety and installation instructions before using the product.

ANEXO E

SONNEN ENERGIA LTDA

CNPJ: 17.318.905/0001-07

IE: 1090374353

Data: 01/07/20

Hora: 10:00:33

Página: 1

Orçamento

PROPOSTA COMERCIAL SONNEN ENERGIA

Lógica

Data Orçamento	01/07/20	Data Previsão	01/07/20	Data Validade	11/07/20	Orçamento	7545	Ver.	1	
CFOP	6.101 - VENDAS DE PRODUÇÃO									
Usuário	EDUARDO									
Representante	8 - EDUARDO ECKERT				E-mail:					
Cliente	1780-JOSÉ ARTHUR MARTINS FARIAS				Contato					
Solicitante	ZOSÉ ARTHUR									
CNPJ/CPF	I.E. ISENTO				Fone		Fax			
E-mail										
Tabela de Venda	-CENTRO-OESTE									
Modalidade Cobrança	08-DEPOSITO EM CONTA			Condição de Pagto		A VISTA				
Endereço de Entrega	QUADRA 105, ÁGUAS CLARAS NORTE									
Complemento	APTO 704									
Cidade Entrega	BRASÍLIA		Bairro		CENTRO	UF	DF	CEP	70048-900	
Depósito	SONNEN ENERGIA LTDA									
Transportadora	0-							Valor Frete	0,00	
Redespacho	0-							% Frete	0,00	

Seq	Qtde	Código	NCM	Produto	UM	Vlr.Unit.	Vlr. Total	Vlr. IPI
1	1,000	5000300113	76042100	CARPORT NÃO ANOD. 10", 26 VAGAS 2,5 METROS, 192 MÓDULOS, SEM VEDAÇÃO	UN	54.886,83	54.886,83	0,00

Valor Total Itens	54.886,83
Valor IPI	0,00
Valor Desconto	0,00
Valor Frete	0,00
Valor TOTAL	54.886,83

SANTA MARIA, 01 de Julho de 2020

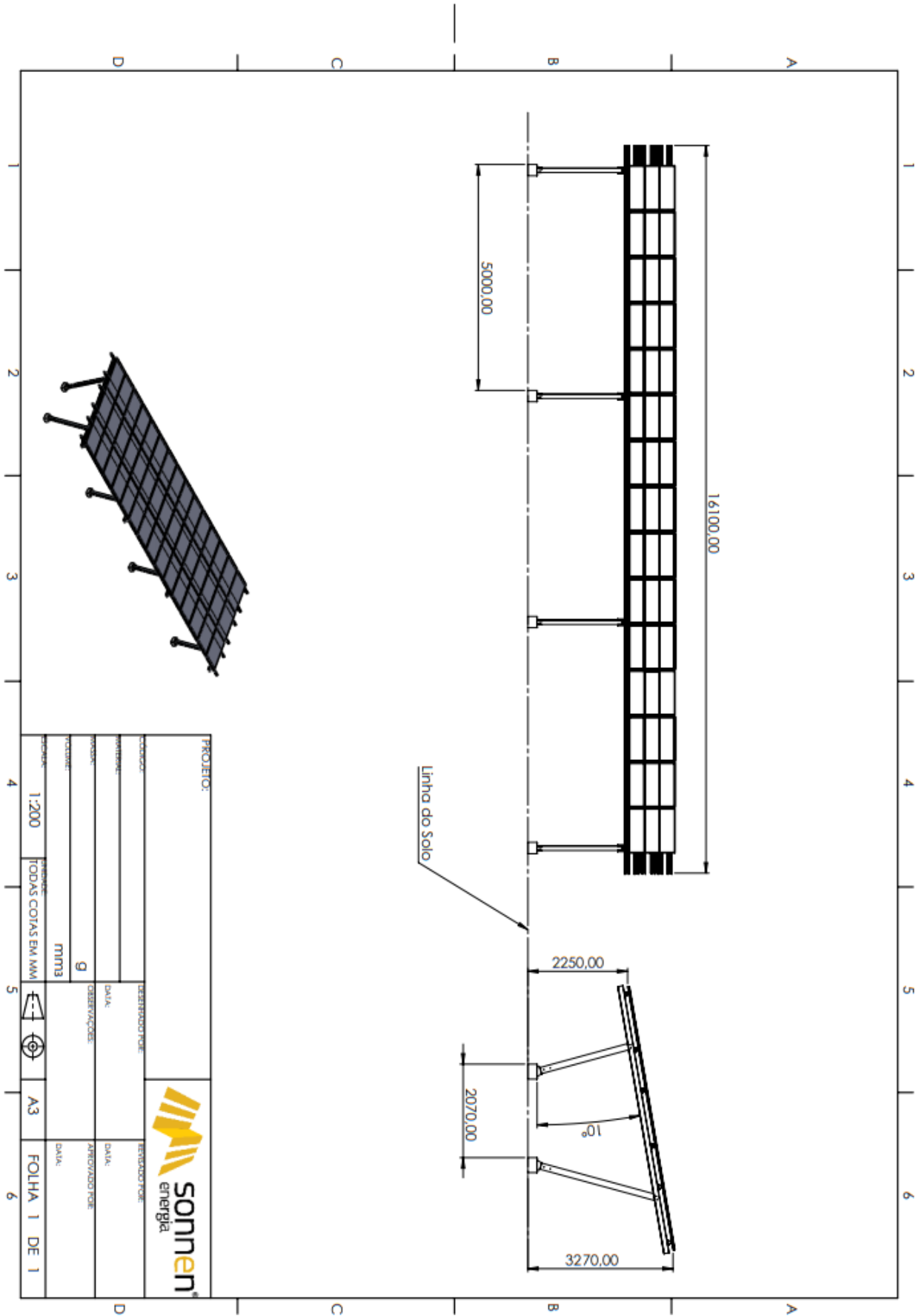
JOSÉ ARTHUR MARTINS FARIAS

SONNEN ENERGIA LTDA
17.318.905/0001-07

Condições Gerais de Venda:


- 1- Orçamento sujeito a confirmação pela Vendedora quanto a concessão de crédito;
- 2- Não serão aceitas devoluções após 30 dias a contar do recebimento da mercadoria, sem prévio entendimento com a área de vendas;
- 3- Não recebemos devoluções de mercadoria com avaria na entrega sem comprovante da transportadora acusando a irregularidade, solicitamos conferência exata do material;
- 4- A compradora suportará quaisquer modificações nas incidências tributárias que venham a ocorrer até a efetiva entrega;
- 5- Para dirimir quaisquer questões advindas desta compra, as partes elegem o foro central da comarca de SANTA MARIA-RS;
- 6- Especificações técnicas: Poderão, a critério da empresa, sofrer mudanças sem prévio aviso.
- 7- A Sonnen se isenta de responsabilidade quanto à falta de material devido à montagens diferentes do layout previsto na proposta.
- 8- A Sonnen não se responsabiliza pelo tipo de solo de instalação da estrutura.
- 10- O prazo de entrega são contados a partir do pagamento da entrada do pedido
- 11- Os prazos de pagamentos são conforme estipulados na condição comercial.

ANEXO F



ANEXO G

NOTA FISCAL / FATURA DE ENERGIA ELÉTRICA / SERVIÇOS SÉRIE U Nº 00002175707
 Nota fiscal emitida por processamento eletrônico de dados - Sistema laser REGIME ESPECIAL - ATO DECLARATÓRIO Nº 005/2006
 A dispensa da ADF se encontra no Art. 95 § 4º do Dec. 18.955/97 (RICMS).



CEB
DISTRIBUIÇÃO

SIA Área Especial C
CEP: 71215-902 - BRASÍLIA - DF
CNPJ: 07.532.699/0001-92 CF/DF: 07.456.933/001-

FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
UNB BL E SV
BRASÍLIA
00.038.174/0001-43

1060899

PARA CONTATO COM A CEB
INFORME ESTE NÚMERO
DE IDENTIFICAÇÃO

472202 - 7

Mês Faturado
07/2020

Vencimento
18/08/2020

Total kWh faturado
1930

	kWh TOT/PIA	Injetado TOT/PIA	kWh F.Posta	Injetado F.Posta	kWh Intermed.	Injetado Intermed.	kWh Reservado	Injetado Reservado
Leit. Atual:	3417							
Leit. Ant.:	3224							
Constante:	10							
Apurada:	1930							
Resíduo:	0							
Medido:	1930							
Faturado:	1930							

Dados da Unidade Consumidora

CNPJ/CPF: 00.038.174/0001-43
 Número da UC: 459483
 Classificação: P. PÚBLICO
 Medidor(ES): 115589

Datas

Leitura Atual: 13/07/2020
 Leitura Anterior: 12/06/2020
 Próximo Mês: 13/08/2020
 Apresentação: 30/07/2020
 Número Dias: 31

CONSUMO ENERGIA ATIVA	1930 x 0,7204599	1.390,48
CONTRIBUICAO DE I. PÚBLICA		168,45
PIS LEI 10833/03 0,65%		-9,33
COFINS LEI 10833/03 3,00%		-41,71
IR-ENERGIA LEI 10833/03 1,20%		-14,48
CSLL LEI 10833/03 1,00%		-13,30

23106.066023/2020-56
 data: 17/08/2020
 OB: 807554

Subvencao tarifa: *****0,00

Total de fatura - bruto..	1.559,13
Base calculo Imp.federal:	1.390,48
Total impostos federais..	61,32
Total de fatura - líquido:	1.477,81

Historico de consumo (kWh)

Jun/2020	1830	Des/2019	1800
Jul/2020	1870	Nov/2019	2040
Abr/2020	2090	Out/2019	1850
Mai/2020	1770	Set/2019	1970
Fev/2020	1690	Ago/2019	2120
Jan/2020	2210	Jul/2019	1840

Indicadores de Continuidade

ASA NORTE			
Per. 05/2020			
	Trimestral	Anual	
	Limite	Apurado	Apurado
DEC	4,59	0,00	0,7
FIC	2,98	0,00	1,0
DMC	2,52	0,00	


Encargo ao sist. distribuição

Nominal	380	R\$:	*****462,05
Limite Ind.	345	Mês de ref.:	05/2019
Limite Sup.	398		


Total a Pagar - R\$ *****1.477,81

Reservado ao fisco: **B33C.4DE2.6719.0AF2.2568.23D7.F502.C17C**

DIC: tempo, em horas, que o cliente ficou sem energia elétrica. FIC: número de vezes que o cliente ficou sem energia elétrica.
 DMC: duração máxima de interrupção contínua. O cliente tem o direito de solicitar a apuração dos indicadores DIC, FIC e DMC.



83640000144 778100053850 410047220224 000000000000 04722022 07/2020 18/08/2020



38541004722022

R\$*****1.477,81

Mod. in0001.cdb/batch



DISTRIBUIÇÃO
S/A Área Especial C
CEP: 71215-902 - BRASÍLIA - DF
CNPJ: 07.522.869/0001-92 CF/DF: 07.488.935/001-

NOTA FISCAL / FATURA DE ENERGIA ELÉTRICA / SERVIÇOS SÉRIE U Nº 05003076732
Nota fiscal emitida por processamento eletrônico de dados - Sistema Iaser REGIME ESPECIAL - ATO DECLARATÓRIO Nº 005/2008
A dispensa da AIDF se encontra no Art. 95 § 4º do Dec. 18.955/97 (RICMS).

FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
UNB BL E SV
BRASÍLIA
00.038.174/0001-43 1060899

PARA CONTATO COM A CEB
INFORME ESTE NÚMERO
DE IDENTIFICAÇÃO

472202 - 7

Mês Faturado

06/2020

Vencimento

18/07/2020

Total kWh faturado

1830

	kWh TOT/PTA	Injetado TOT/PTA	kWh F.Posta	Injetado F.Posta	kWh Intermed.	Injetado Intermed.	kWh Reservado	Injetado Reservado
Leit. Atual:	3224							
Leit. Ant.:	3041							
Constante:	10							
Apurada:	1830							
Resíduo:	0							
Medido:	1830							
Faturado:	1830							

Dados da Unidade Consumidora

CNPJ/CPF: 00.038.174/0001-43

Número da UC: 459483

Classificação: P. PUBLICO

Medidor(ES): 115689

Datas

Leitura Atual: 12/06/2020

Leitura Anterior: 14/05/2020

Próximo Mês: 13/07/2020

Apresentação: 01/07/2020

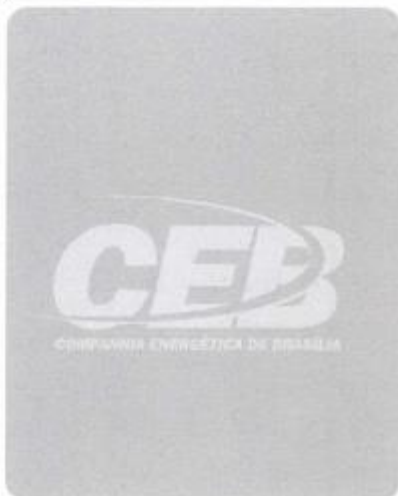
Número Dias: 29

CONSUMO ENERGIA ATIVA 1830 x 0,7254025 1.327,48
CONTRIBUICAO DE I. PUBLICA 168,65
PIS LRI 10833/03 0,65% -6,62
COFINS LRI 10833/03 3,00% -39,83
IR-ENERGIA LRI 10833/03 1,20% -15,92
CSEL LRI 10833/03 1,06% -13,27

23306.054921/2020-20

data: 35/07/20

09: 806350



Subvencao tarifa: *****0,00

Total da fatura - bruto.: 1.496,13
Base calculo imp.federal.: 1.327,48
Total impostos federais.: 77,63
Total da fatura - liquido: 1.418,50

Total a
Pagar - R\$ *******1.418,50**

Indicadores de Continuidade

ASA NORTE

ref: 04/2020

	Limite	Apurado	Apurado	Apurado
DIC	4,39	1,43	0,7	15,5
FIC	2,98	2,00	1,0	9,0
DMC	2,52	1,35		

Tensão de Fornecimento

Normal

Limite inf.

Limite Sup.

Encargo uso sist. distribuição

R\$: *****916,41

Mês de ref.: 04/2019

Impostos

	Base de cálculo:	Alíquota:	
ICMS incluído no valor da tarifa:	1.327,48	25,00%	331,87
ICMS sobre valor da subvenção:			0,00
Valor total do ICMS:			331,87
Valor PIS / PASEP:	0,84%		8,49
Valor COFINS:	2,95%		39,16

Composição da tarifa

RES. ANEEL 166/05		
Energia:	53,00%	19,87
Distribuição:	14,11%	4,38
Transmissão:	5,47%	1,70
Tributos:	10,81%	5,72
Encargos Setoriais:	10,02%	3,11
Perdas sist. elétrico:	6,59%	2,04

Historico de consumo (kWh)

Mês/2020	1870	Nov/2019	2040
Abr/2020	2090	Out/2019	1850
Mar/2020	1770	Set/2019	1970
Fev/2020	1690	Ago/2019	2120
Jan/2020	2210	Jul/2019	1840
Dez/2019	1880	Jun/2019	1940

Reservado ao fisco: **84EC.75F6.DCDC.90CA.E2E3.E01D.9B8C.F812**

DIC: tempo, em horas, que o cliente ficou sem energia elétrica. FIC: número de vezes que o cliente ficou sem energia elétrica.
DMC: duração máxima de interrupção contínua. O cliente tem o direito de solicitar a suspensão das averbações DIC, FIC e DMC.



838209000146

18500063869

510647220221

000000000000

04722022

06/2020 18/07/2020



38551004722022

R\$*****1.418,50

Mod. INF001.cdb/bohem



CEB
 S/A Área Especial C
 CEP: 71215-902 - BRASÍLIA - DF
 CNPJ: 07.522.889/0001-82 C.F.D.P.: 07.468.939/001-

FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
 UNE BL E SV
 70904-110 - BRASÍLIA-DF
 00.038.174/0001-43

01060899

PARA CONTATO COM A CEB
 INFORME ESTE NÚMERO
 DE IDENTIFICAÇÃO

SEGUNDA VIA

472.202-7

Mês Faturado
 04/2020

Vencimento
 29/05/2020

	DEB TC/PJA	CREDITO TC/PJA	DEB F.Ponta	CREDITO F.Ponta	DEB Intermed.	CREDITO Intermed.	DEB Reservado	CREDITO Reservado
Leit. Abat:	2654							
Leit. Ant.:	2645							
Constante:	10							
Apurada:	3090							
Resíduo:	0							
Média:	2090							
Faturado:	2090							

Dados da Unidade Consumidora
 CNPJ/CPF: 00.038.174/0001-43
 Número da UC: 459483
 Classificação: P. PÚBLICO
 Medidor(ES): 0000115589

Dados
 Leitura Atual: 14/04/2020
 Leitura Anterior: 12/03/2020
 Próximo mês: 14/05/2020
 Apresentação: 04/05/2020
 Número Dias: 33



CONSUMO ENERGIA ATIVA	2090 KWH	X	0,7237799	1.512,70
CONTRIBUICAO DE I. PUBLICA				166,65
COFINS LEI 10833/03				45,38-
IR-ENERGIA LEI 10833/03				18,15-
CSLL LEI 10833/03				15,12-
PIS LEI 10833/03				9,83-

23J06.043778/2020-82
 data: 29/05/2020
 OB: 804678

SUBVENCAO TARIFA: *****0,00

Total da fatura - bruto..	1.681,35
Base calculo imp.federais	1.512,70
Total impostos federais..	88,48
Total da fatura - liquido	1.592,87

Total a
 Pagar - R\$ **1.592,87**

Histórico de consumo (kWh)

MAR/2020	6001770	SET/2019	0001970
FEV/2020	5001690	AGO/2019	0002120
JAN/2020	0002210	JUL/2019	0001940
DEZ/2019	0001800	JUN/2019	0001840
NOV/2019	0002040	MAI/2019	0002430
OUT/2019	0001950	ABR/2019	0001990

Indicadores de Continuidade

ASA NORTE		Semenal		Anual	
Limite	Apurado	Limite	Apurado	Limite	Apurado
DC	4,99	0,71	9,19	7,53	10,30
HC	2,90	1,00	6,10	5,00	12,20
SNC	2,62	0,73			

Tabela de Fornecimento		Encargo aos sít. distribuição	
Nominal	RS:	Nominal	RS:
Limite Inf.	301	348	
Limite Sup.	331	390	

Impostos

Base de cálculo:	1.512,70	Alíquota:	25,00%
ICMS incluído no valor da tarifa:			378,17
ICMS sobre valor da subvenção:			0,00
Valor total de ICMS:			378,17
Valor PIS / PASSEP:		0,6100%	
Valor COFINS:		2,6000%	

Composição da tarifa	
REG. AREEE 100/05	
Energia:	45,00% 690,86
Distribuição:	14,11% 152,76
Transmissão:	5,47% 59,22
Outros:	18,81% 430,24
Encargos Setoriais:	10,02% 106,48
Perdas atel. elétricas:	8,39% 71,34

RESERVADO AO FISCO 10B3.6FBB.FF42.4510.4FE8.2FE9.7580.F4CD

CEC: tempo, em horas, que o cliente ficou sem energia elétrica. FIC: número de vezes que o cliente ficou sem energia elétrica.

CMC: duração máxima de interrupção contínua. O cliente tem o direito de solicitar a suspensão dos equipamentos CEC, FIC e CMC.

836500000150 928700053855 710047220227 000000000000



04722022 04/2020 29/05/2020
 38571004722022
 00000001592877
 R\$ 1.592,87

Mod.5v2d/tp2/6.cad / Rev. 4/99

ANEXO H

Condutores: cobre e alumínio

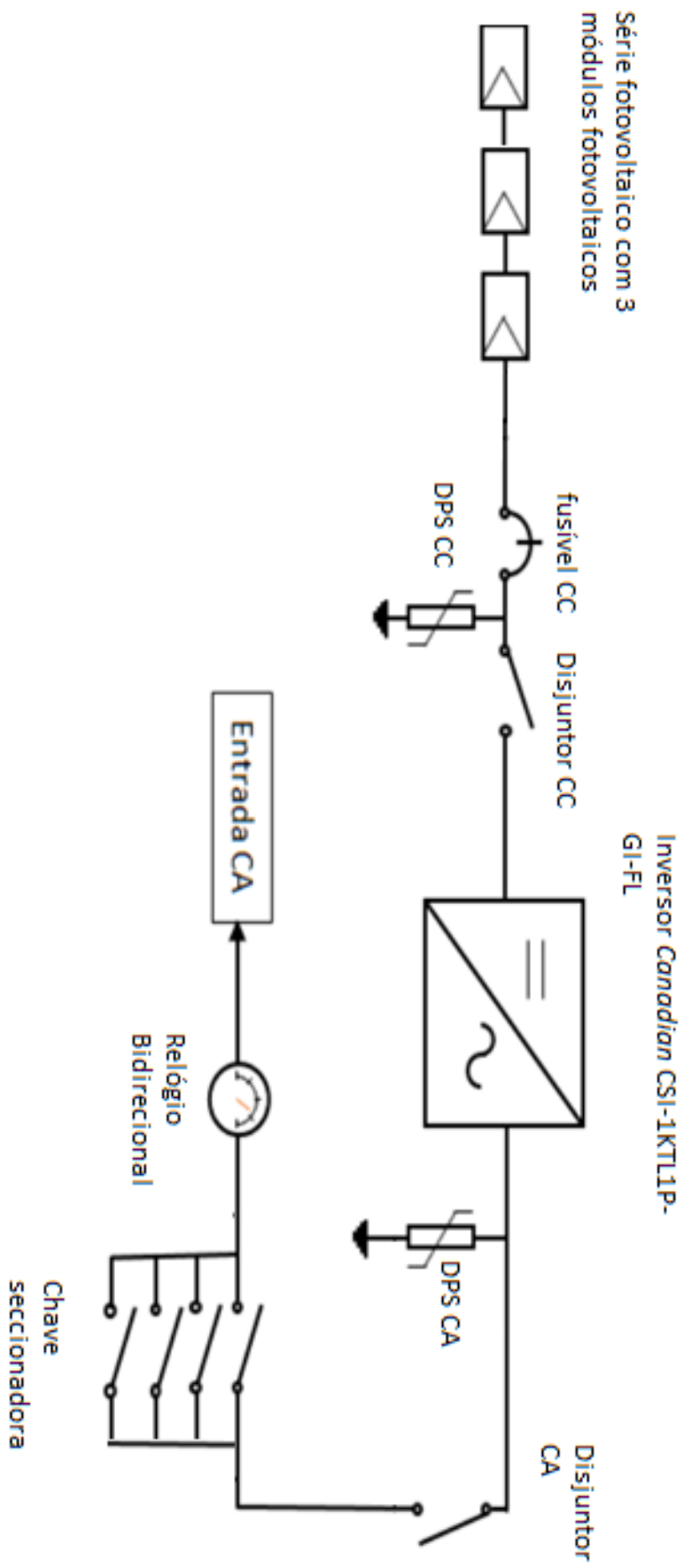
Isolação: EPR ou XLPE

Temperatura no condutor: 90°C

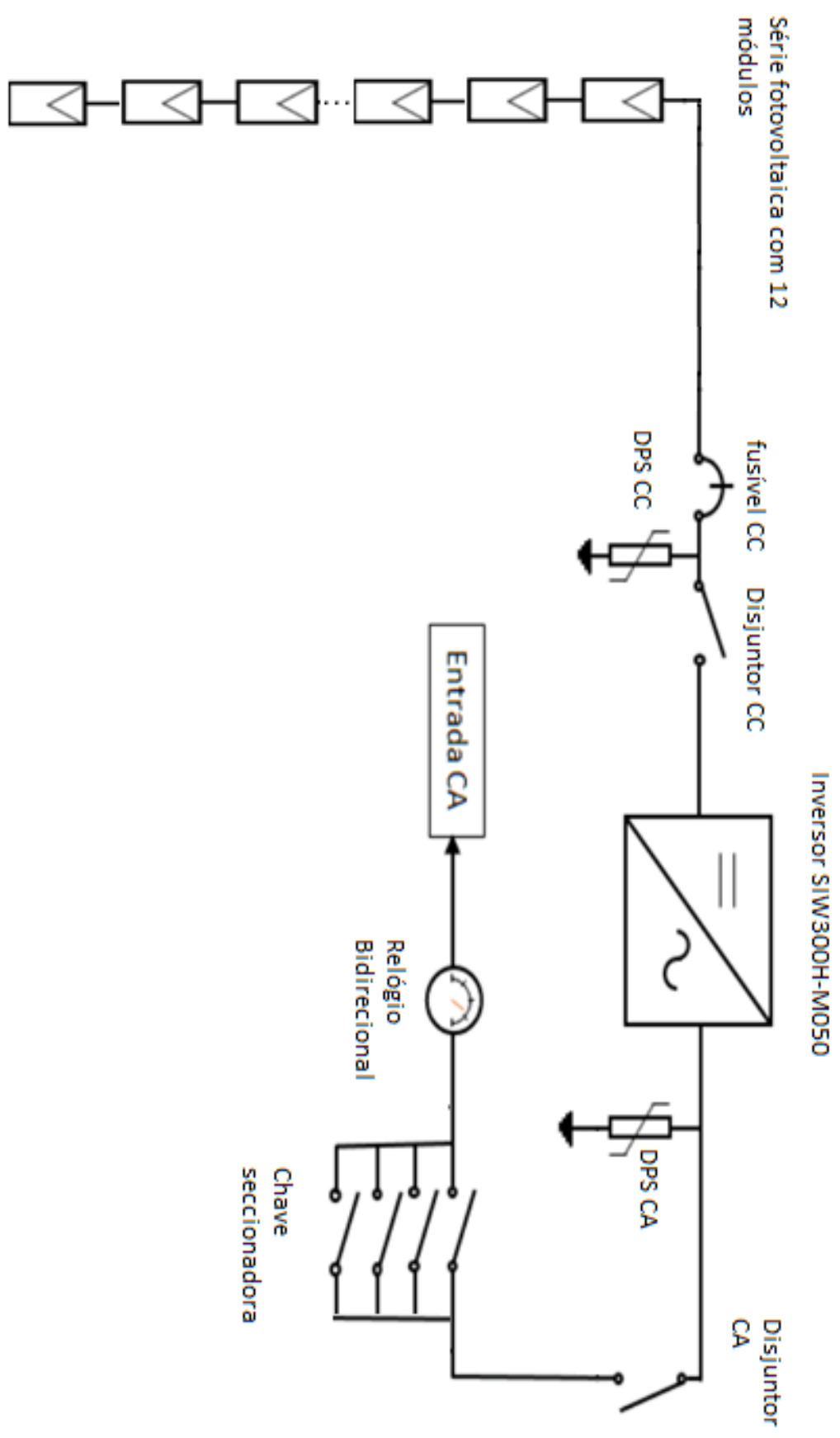
Temperaturas de referência do ambiente: 30°C (ar), 20°C (solo)

Seções nominais mm ²	Métodos de referência indicados na tabela 33											
	A1		A2		B1		B2		C		D	
	Número de condutores carregados											
	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
Cobre												
0,5	10	9	10	9	12	10	11	10	12	11	14	12
0,75	12	11	12	11	15	13	15	13	16	14	18	15
1	15	13	14	13	18	16	17	15	19	17	21	17
1,5	19	17	18,5	16,5	23	20	22	19,5	24	22	26	22
2,5	26	23	25	22	31	28	30	26	33	30	34	29
4	35	31	33	30	42	37	40	35	45	40	44	37
6	45	40	42	38	54	48	51	44	58	52	56	46
10	61	54	57	51	75	66	69	60	80	71	73	61
16	81	73	76	68	100	88	91	80	107	96	95	79
25	106	95	99	89	133	117	119	105	138	119	121	101
35	131	117	121	109	164	144	146	128	171	147	146	122
50	158	141	145	130	198	175	175	154	209	179	173	144
70	200	179	183	164	253	222	221	194	269	229	213	178
95	241	216	220	197	306	269	265	233	328	278	252	211
120	278	249	253	227	354	312	305	268	382	322	287	240
150	318	285	290	259	407	358	349	307	441	371	324	271
185	362	324	329	295	464	408	395	348	506	424	363	304
240	424	380	386	346	546	481	462	407	599	500	419	351
300	486	435	442	396	628	553	529	465	693	576	474	396
400	579	519	527	472	751	661	628	552	835	692	555	464
500	664	595	604	541	864	760	718	631	966	797	627	525
630	765	685	696	623	998	879	825	725	1 122	923	711	596
800	885	792	805	721	1 158	1 020	952	837	1 311	1 074	811	679
1 000	1 014	908	923	826	1 332	1 173	1 088	957	1 515	1 237	916	767
Alumínio												
16	64	58	60	55	79	71	72	64	84	76	73	61
25	84	76	78	71	105	93	94	84	101	90	93	78
35	103	94	96	87	130	116	115	103	126	112	112	94
50	125	113	115	104	157	140	138	124	154	136	132	112
70	158	142	145	131	200	179	175	156	198	174	163	138
95	191	171	175	157	242	217	210	188	241	211	193	164
120	220	197	201	180	281	251	242	216	280	245	220	186
150	253	226	230	206	323	289	277	248	324	283	249	210
185	288	256	262	233	368	330	314	281	371	323	279	236
240	338	300	307	273	433	389	368	329	439	382	322	272
300	387	344	352	313	499	447	421	377	508	440	364	308
400	462	409	421	372	597	536	500	448	612	529	426	361
500	530	468	483	426	687	617	573	513	707	610	482	408
630	611	538	556	490	794	714	658	590	821	707	547	464
800	708	622	644	566	922	830	760	682	958	824	624	529
1 000	812	712	739	648	1 061	955	870	780	1 108	950	706	598

ANEXO I



ANEXO J



ANEXO K

