

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
ESPECIALIZAÇÃO EM ENERGIAS RENOVÁVEIS

EVERSON FELICIO DOS PASSOS

**ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA PARA IMPLANTAÇÃO DE UM
SISTEMA FOTOVOLTAICO EM UMA LOJA DE DEPARTAMENTOS**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA
2015

EVERSON FELICIO DOS PASSOS

**ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA PARA IMPLANTAÇÃO DE UM
SISTEMA FOTOVOLTAICO EM UMA LOJA DE DEPARTAMENTOS**

Monografia apresentada ao Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Energias Renováveis.

Orientador: Prof. Dr. Jair Urbanetz Junior

CURITIBA
2015

TERMO DE APROVAÇÃO

EVERSON FELICIO DOS PASSOS

ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA PARA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO EM UMA LOJA DE DEPARTAMENTOS

Esta Monografia de Especialização foi apresentada no dia 19 de agosto de 2015, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Energia Renováveis – Departamento Acadêmico de Eletrotécnica – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O aluno foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Jair Urbanetz Junior

Coordenador de Curso de Especialização em Energias Renováveis

Prof. Dr. Paulo Cícero Fritzen

Chefe do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Jair Urbanetz Junior
Orientador - UTFPR

Prof. Esp. Carlos Henrique Karan Salata
UTFPR

Prof. Dr. Gerson Máximo Tiepolo
UTFPR

O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso

Em memória de Esmael Felício dos
Passos, pela sabedoria, exemplo e contra
exemplo de vida, que conduziu e
incentivou minha educação.

RESUMO

A crescente demanda por energia elétrica somada a busca por fontes renováveis de energia vem gerando atratividade do consumidor final por energia elétrica proveniente de irradiação solar. No entanto os principais equipamentos dos SFVCR (Sistema Fotovoltaico Conectado a Rede Elétrica) são oriundos de fora do país dificultando assim a escolha e a adequação desses equipamentos dentro a realidade brasileira. Portanto, esse trabalho teve como objetivo avaliar a viabilidade técnica quanto a utilização de uma fonte de energia limpa, a energia solar, através da instalação de um SFVCR em uma loja de departamentos no estado do Paraná. Foram analisados tecnologias, dados de irradiação solar e normatização. Concluído com o dimensionamento dos principais equipamentos do SFVCR.

Palavras-chave: Sistema fotovoltaico; Energia solar; Viabilidade Técnica.

ABSTRACT

The growing demand for electricity coupled with the search for renewable energy sources is generating attractiveness of the final consumer for electricity from solar irradiation. However the main equipment of Grid-Connected Photovoltaic System are from outside the country hindering the choice and suitability of such equipment within the Brazilian reality. Therefore, this study aimed to assess the technical feasibility as the use of a clean energy source, solar energy, by installing a Grid-Connected Photovoltaic System in a department store in the state of Paraná. Technology, solar irradiation data and standardization were analyzed. Completed with the sizing of the main equipment of a Grid-Connected Photovoltaic System.

Keywords: Grid-Connected Photovoltaic System; Solar Energy; Technical Feasibility.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Variação em % de consumo de energia 2013/2012	13
Figura 2 - Matriz elétrica brasileira ano base 2014.....	14
Figura 3 - Posição da terra e dos hemisférios durante a rotação em torno do sol.....	20
Figura 4 - Distribuição da radiação solar	21
Figura 5 - Componentes da radiação solar.....	22
Figura 6 - Piranômetro fotovoltaico	23
Figura 7- Pireliômetro	24
Figura 8 - Mapa de irradiação solar global horizontal média anual	25
Figura 9 - Mapa fotovoltaico do estado do Paraná	26
Figura 10 - Mapas fotovoltaicos do estado do Paraná, Alemanha, Itália e Espanha.....	27
Figura 11 - Estrutura básica de uma célula fotovoltaica de silício destacando: (1) região tipo n; (2) região tipo p, (3) zona de carga espacial, onde se formou a junção pn e o campo elétrico; (4) geração de par elétron lacuna; (5) filme antirreflexo; (6) contatos metálicos.	29
Figura 12 - Produção mundial de células fotovoltaicas	30
Figura 13 - Célula fotovoltaica de silício cristalino	31
Figura 14 - Fabricação de tarugos (lingotes) de m-Sipela técnicas de <i>float-zone</i> (FZ) e <i>Czochralski</i>	32
Figura 15- Célula de silício monocristalino.....	32
Figura 16 - Células de silício policristalino	33
Figura 17- Exemplo de painel solar de a-Si.....	35
Figura 18 - Painel solar fabricado diretamente nas telhas de vidro	35
Figura 19 - Exemplo de painel solar flexível	35
Figura 20 - Área necessária da tecnologia escolhida para gerar 1 kWp.....	37
Figura 21 - Sistema fotovoltaico conectado a rede (SFVCR).....	37
Figura 22 - Esquemático do SFVCR	38

Figura 23 - Planta Situação da Loja de Departamento	40
Figura 24 - Latitude e longitude da Loja de departamento	41
Figura 25 - Desvio azimutal da Loja	41
Figura 26 – Área disponível para instalação dos módulos	42
Figura 27 - Fator de espaçamento versus latitude local da instalação	43
Figura 28 - Altura versus angulo de inclinação	43
Figura 29 - Módulo de Silício policristalino JAP6 60-265/3BB	44
Figura 30 - Módulos instalados inclinados no sentido horizontal	44
Figura 31 - Módulos instalados inclinados no sentido vertical	45
Figura 32 - Distância entre coordenadas da loja com o Atlas Brasileiro de Energia Solar	46
Figura 33 - Banco de dados do SWERA inserido no <i>software</i> Radasol	46
Figura 34 - Comparativo de inversor com e sem transformador de acoplamento	50
Figura 35 - Relação de inversores homologados na COPEL	51
Figura 36 - Diagrama de bloco do inversor TRIO 27.6-TL-OUTD (ABB)	53
Figura 37 - Parâmetros elétricos do modulo JAP6 60-265/3BB	54
Figura 38 - Diagrama da <i>String</i>	55
Figura 39 - Circuito CA (saída do inversor)	57
Figura 40 - Acesso de micro geração fotovoltaica com uso de inversor	60
Figura 41 - Diagrama unifilar geral	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Consumo de energia elétrica no mundo por região (TWh).....	13
Tabela 2 - Irradiação incidente (kWh/m ²) Lojas Coppel Fazendinha (Lat. -25,52° Long-49,37°).....	47
Tabela 3 - Histórico de consumo da Loja Coppel unidade Fazendinha	49
Tabela 4 - Proteção mínima em relação a potência instalada	50
Tabela 5 - Comparativo de inversores das fabricantes ABB versus POWER-ONE.....	52
Tabela 6 – Cálculo dos condutores para o inversor 01 e 02	56
Tabela 7 - Cálculo dos condutores para o inversor 03.....	57
Tabela 8 - Dimensionamento dos condutores CA	58

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agencia Nacional Das Águas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
a-Si	Silício Amorfo
BEN	Balanco Energético Nacional
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CdTe	Telureto de Cádmio
CIGS	Disseleneto de Cobre, Gálio e Índio
CIS	Disseleneto de Cobre e Índio
COPEL	Companhia Paranaense de Energia
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito
EC	<i>European Commission</i>
EIA	<i>Energy Information Administration</i>
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
EPR	Etileno Propileno
FV	Fotovoltaico
GaAs	Arseneto de Gálio
GW	Giga Watt
IEA	<i>International Energy Agency</i>
kW	Kilo Watt
MPPT	<i>Maximum Power Point Tracker</i>

m-Si	Silício Monocristalino
MW	Mega Watt
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
NTC	Norma Técnica Copel
PRODIST	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional
PIB	Produto Interno Bruto
p-Si	Silício Policristalino
SFV	Sistema Fotovoltaico
SFVCR	Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede Elétrica
SWERA	<i>Solar and Wind Energy Resources Assessment</i>
TE	Tarifa de Energia Elétrica
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Wh	Watt hora
Wp	Watt Pico
www	<i>World Wide Web</i> (Rede de Alcance Mundial)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	TEMA	15
1.1.1	Delimitação do Tema	15
1.2	PROBLEMAS E PREMISSAS	16
1.3	OBJETIVOS	16
1.3.1	Objetivo Geral	16
1.3.2	Objetivos Específicos	16
1.4	JUSTIFICATIVA	17
1.5	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	17
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO	17
2	REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1	ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	19
2.1.1	História	19
2.2	RADIAÇÃO SOLAR	19
2.2.1	Componentes da Radiação Solar	21
2.2.2	Instrumentos Medição da Radiação Solar	23
2.2.3	Radiação Solar no Brasil	24
2.2.4	Radiação Solar no Estado do Paraná	26
2.3	CÉLULA FOTOVOLTAICA	28
2.3.1	Tipos de células fotovoltaicas	30
2.3.1.1	Silício Cristalino	30
2.3.1.2	Filmes finos	33
2.4	SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A REDE (SFVCR)	37
2.4.1	INVERSOR	38
3	PROJETO DO SFVCR	39
3.1	INTRODUÇÃO	39
3.2	LOCALIZAÇÃO DO IMÓVEL	39
3.3	LOCALIZAÇÃO DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS	42

3.4	LEVANTAMENTO DO RECURSO SOLAR DISPONÍVEL.....	45
3.5	ENERGIA GERADA PELOS MÓDULOS.....	47
3.6	LEVANTAMENTO DO CONSUMO DA LOJA	48
3.7	DIMENSIONAMENTO DO INVERSOR	49
3.7.1	Escolha do inversor	49
3.7.2	Dimensionamento das Séries (<i>strings</i>)	52
3.8	DIMENSIONAMENTO DE CABOS.....	56
3.8.1	Dimensionamento dos condutores no lado CC.....	56
3.8.2	Dimensionamento do transformador de acoplamento	57
3.8.3	Dimensionamento dos condutores CA e disjuntor de proteção CA.....	57
3.9	ACESSO A CONCESSIONÁRIA LOCAL.....	59
4	CONCLUSÃO	61
	REFERÊNCIAS.....	62
	APÊNDICE.....	65
	ANEXOS	66

1 INTRODUÇÃO

O crescimento da população mundial, associado ao desenvolvimento tecnológico e industrial, está ocasionando um grande aumento de consumo elétrico. A Tabela 1 mostra esse crescimento e devido a isso, propulsiona o avanço de diferentes formas de geração de energia.

Tabela 1 - Consumo de energia elétrica no mundo por região (TWh)

	2006	2007	2008	2009	2010	Δ% (2010/09)	Part. % (2010)
<i>Mundo</i>	16.391,5	17.151,4	17.445,0	17.360,3	18.466,5	6,4	100,0
<i>Ásia & Oceania</i>	5.490,6	6.000,2	6.198,5	6.473,9	7.052,7	8,9	38,2
<i>América do Norte</i>	4.543,9	4.630,5	4.601,9	4.422,4	4.599,6	4,0	24,9
<i>Europa</i>	3.306,4	3.345,1	3.378,2	3.219,0	3.369,7	4,7	18,2
<i>Eurásia</i>	1.194,2	1.226,8	1.243,6	1.181,1	1.246,0	5,5	6,7
<i>América do Sul e Central</i>	806,1	844,6	874,3	877,6	929,7	5,9	5,0
<i>Oriente Médio</i>	557,2	582,9	622,6	656,2	709,2	8,1	3,8
<i>África</i>	493,2	521,4	525,8	530,0	559,6	5,6	3,0

Fonte: *U.S. Energy Information Administration (EIA)*; Elaboração: Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2013).

Segundo o gráfico apresentado na Figura 1 do Balanço Energético Nacional (Empresa de Pesquisa Energética, 2014), o crescimento de energia elétrica no Brasil cresce mais que o Produto Interno Bruto - PIB.

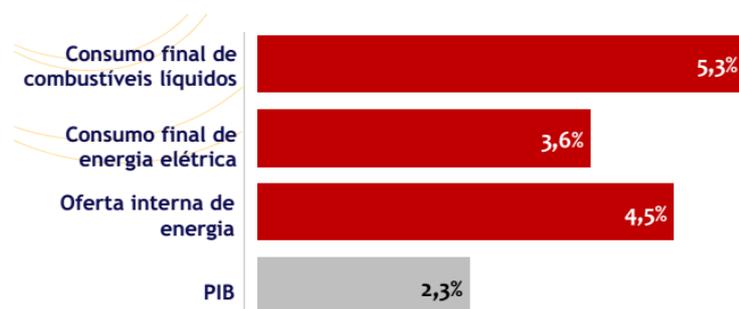


Figura 1 - Variação em % de consumo de energia 2013/2012

Fonte: Balanço energético nacional (Empresa de Pesquisa Energética, 2014).

A matriz elétrica brasileira, conforme gráfico apresentado na Figura 2, tem como as maiores fontes geradoras de energia, oriundas de potenciais hidráulicos (65,2%). Mesmo, sendo essa uma opção limpa de energia, com baixa emissão de gases poluentes, a energia hidráulica gera problemas socioambientais, tais como: o deslocamento de populações inteiras dos arredores das barragens e a modificação das áreas de ocupação de espécies do local.

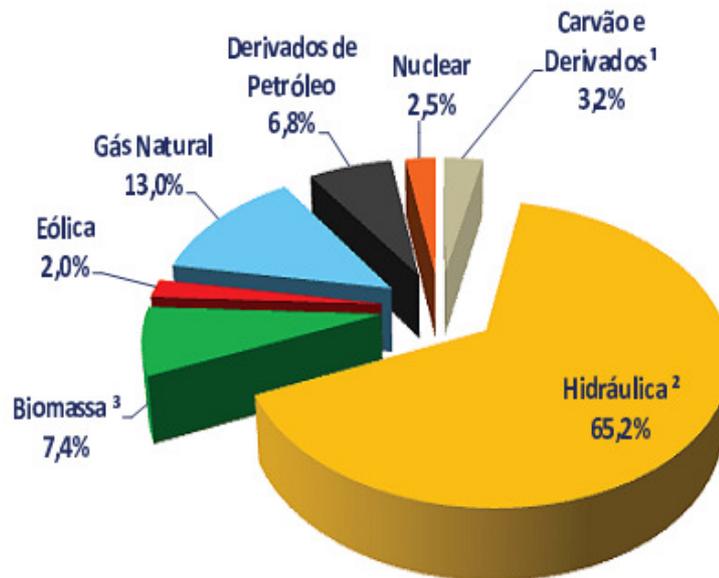


Figura 2 - Matriz elétrica brasileira ano base 2014

Fonte: Balanço energético nacional (Empresa de Pesquisa Energética - EPE, 2015).

Do ponto de vista em utilização de energias renováveis, o país está em uma situação favorável, porém o ônus é a dependência climática, pois se não precipitar no local certo, os níveis nos reservatórios, poderão ficar abaixo da capacidade média de armazenamento de água, prejudicando desta forma a oferta de energia elétrica. Este cenário por mais apocalíptico que seja, está sendo real na atual conjuntura brasileira, segundo dados da ANA (Agência Nacional das Águas, 2013, p. 3).

A precipitação média anual (histórico de 1961-2007) no Brasil é de 1.761mm, variando de 500mm no semiárido do Nordeste a mais de 3.000mm na Amazônia. Em 2009 a chuva média no País excedeu, em mais de 15%, o valor médio histórico em cinco regiões hidrográficas. Outras quatro regiões também registraram valores acentuados, entre 10 e 15%. Por outro lado, em 2012 o volume médio de chuva no País foi de 1.651mm, abaixo da média histórica, e cinco regiões hidrográficas tiveram precipitações bem abaixo desta média.

Em consequência disso, estão sendo utilizadas outras fontes de energias para suprir a demanda por eletricidade, tais como: a eólica, fotovoltaica, e termoelétrica, tendo essa última, um crescimento de 18% segundo o EPE (2015, p. 40), na qual, comprovadamente uma fonte, que degrada o meio ambiente, carbonizando a matriz brasileira e aumentando consideravelmente o custo final da energia elétrica.

No ano de 2014 segundo Borba (2015), o custo da energia no Paraná, teve um aumento de 23,9%, impactando diretamente na economia, residencial, comercial e industrial.

Uma possibilidade para a mudança desse cenário é o uso da energia gerada pelo Sol. Esta é uma fonte inesgotável, gratuita e de fácil manutenção, além de baixo impacto ambiental.

1.1 TEMA

Viabilidade técnica de implantação de SFVCR em uma loja de departamento.

1.1.1 Delimitação do Tema

A disponibilização de energia elétrica a partir do aproveitamento da energia solar através de painéis fotovoltaicos, e a sua conexão com a rede elétrica de distribuição, é uma realidade em diversos países e vem crescendo e se consolidando como uma forma sustentável de obtenção de eletricidade (LISITA, 2005), caracterizando-se como um processo de cogeração.

Sendo assim, visto a necessidade e o aprofundamento dos conhecimentos em torno dessa energia renovável, este estudo visa analisar tecnicamente a implantação de um sistema fotovoltaico distribuído em uma loja de departamentos do Paraná, conectado à rede elétrica.

1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS

Segundo Tiepolo *et al.*, (2014, p. 15) o estado do Paraná tem índice de irradiação solar superior a maiorias dos países europeus, mas este insumo não é suficiente para impulsionar a geração fotovoltaica na região que apresenta números de produção quase inexpressível frente a outras fontes de energia elétrica.

O grande obstáculo é o preço da implantação do SFVCR, segundo Portal Solar (2015) o custo instalado está em entre R\$ 5.000,00/kWp a R\$ 9.000,00/kWp. Os altos preços para instalação é justificado pela escassez da manufatura desses equipamentos no Brasil. Conseqüentemente agrega aos produtos de importação grandes cargas tributárias e variação cambial.

Além dos fatores econômicos há uma necessidade de tropicalização dos principais componentes do SFVCR junto às normativas e regulamentações locais. Desta forma esse estudo visa realizar o levantamento, de diferentes tecnologias e dimensionar um SFVCR para uma loja de departamento.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Analisar a viabilidade técnica da implantação de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede Elétrica (SFVCR) de distribuição em uma loja de departamentos no Estado do Paraná.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Revisar a bibliografia relacionada ao tema energia solar fotovoltaica;
- Levantar histórico das faturas de energia elétrica;
- Dimensionar o potencial de irradiação solar de acordo com as coordenadas geográficas do local de estudo;
- Projetar o sistema SFVCR;
- Prospectar equipamentos para a implementação do projeto.

1.4 JUSTIFICATIVA

A loja de departamentos a ser analisada, tem um elevado consumo elétrico durante o período de incidência solar, principalmente no verão, devido à utilização de ar-condicionado. Este atributo faz da implantação do SFVCR ser uma excelente possibilidade para a geração de energia, dado que, no momento em que a energia está sendo produzida e utilizada, o consumidor não irá usar a energia da concessionária, ocasionando uma economia representativa no final do mês.

1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Segundo Gil (2010, p. 27) “este tipo de pesquisa é aplicada, pois está voltada a aquisição de conhecimento com vistas à aplicação numa situação específica”.

Por critério de objetivo, a pesquisa descreverá, registrará, analisará e interpretará fenômenos. Conforme Best (1972) *apud* Lakatos e Marconi (2012, p. 6) é classificada como descritiva.

A coleta de dados será angariada em material já publicado. De acordo com Gil (2010, p. 29) é uma pesquisa bibliográfica.

A análise dos dados por Lakatos e Marconi (2012, p. 136) será quantitativo, focalizado em termos das grandezas: energia a ser produzida, potência do sistema fotovoltaico e seu desempenho.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho apresenta a seguinte estrutura:

Capítulo 1: INTRODUÇÃO: Apresenta tema do trabalho, sua delimitação, estabelecendo os problemas e premissas, os objetivos a serem alcançados, justificativas e ainda os procedimentos metodológicos adotados.

Capítulo 2: FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA: Descreve o SFVCR, seus componentes, seu funcionamento e as normas a respeito da integração do sistema a rede. É abordado também, o potencial fotovoltaico no Estado do Paraná.

Capítulo 3: PROJETO DO SFVCR: Inicia com coleta de dados, com o levantamento das despesas mensais da energia elétrica fornecida pela concessionária local e com os valores prospectados dos equipamentos para a implantação de um SFVCR projetado para uma loja de departamentos.

Capítulo 4: CONCLUSÕES: Mostra as conclusões obtidas, que identificam se a implementação do SFVCR na loja de departamentos é viável tecnicamente ou não, finalizando com as considerações finais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico tem como foco a Energia Solar, mais especificamente, a tecnologia de sistema fotovoltaico para geração de energia elétrica no contexto do suprimento de geração distribuída, priorizando a viabilidade técnica, a sustentabilidade e qualidade nesta aplicação. Serão levados em consideração, os índices de irradiação, as tecnologias e os componentes de um SFVCR.

2.1 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

2.1.1 História

A história da geração de energia elétrica a partir da radiação solar teve início em 1839 quando Edmond Bequerel observou o surgimento de uma diferença de potencial entre as extremidades de uma estrutura semicondutora quando se encontrava sob a incidência de luz, esse efeito ficou conhecido como efeito fotovoltaico. Em 1877, os americanos W.G. Adams e R. E. Day utilizaram as propriedades semicondutoras do selênio para desenvolver o primeiro dispositivo sólido de geração por exposição à luz, um avanço do modelo de Bequerel que consistia em eletrólito (VALLÊRA, 2007).

Para o desenvolvimento da tecnologia, no início, foi apoiado por empresas do setor de telecomunicações, de fontes de energia para sistemas instalados em locais remotos. Em sequência veio a chamada “corrida espacial”, onde a célula fotovoltaica era e continua sendo, o recurso mais utilizado, por fornecer segurança, baixo custo e menos peso, em comparação a outras tecnologias e além de tudo isso, ainda fornecem a quantidade de energia necessária para extensos períodos de alimentação de equipamentos eletroeletrônicos no espaço.

2.2 RADIAÇÃO SOLAR

O Sol fornece energia na forma de radiação, que é a base de toda a vida na Terra. No centro do Sol, a fusão transforma núcleos de Hidrogênio em núcleos de

Hélio. Durante este processo, parte da massa é transformada em energia. O Sol é assim um enorme reator de fusão. Devido à grande distância existente entre o Sol e a Terra, apenas uma mínima parte (aproximadamente duas partes por milhão) da radiação solar emitida atinge a superfície da Terra. Esta radiação corresponde a uma quantidade de energia de $1,0 \times 10^{18}$ kWh/ano (PORTAL SOLAR, 2004)

Em seu movimento de translação, o planeta terra descreve em relação à linha do equador, uma trajetória elíptica inclinada em $23,5^\circ$. Essa inclinação provoca variações na posição do sol no horizonte no mesmo horário ao longo do ano, e que por consequência origina as diferentes estações (PINHO; GALDINO, 2006, p. 68).

A posição angular do Sol, ao meio dia solar, em relação ao plano do Equador (Norte positivo) é chamada de Inclinação Solar (δ). Este ângulo, que pode ser visto na Figura 3, varia de acordo com o dia do ano dentro dos seguintes limites: (PINHO; GALDINO, 2006, p. 68).

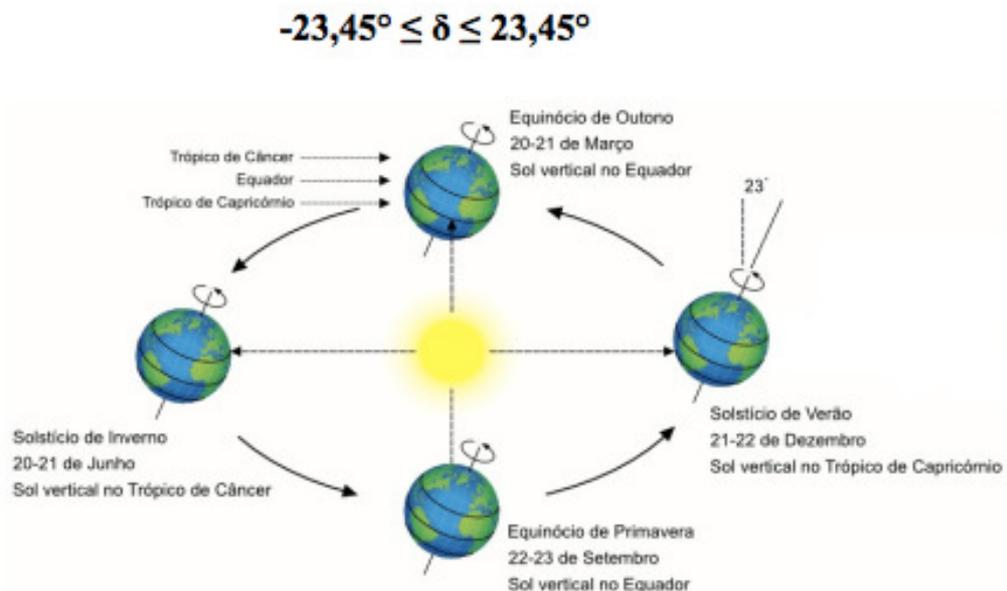


Figura 3 - Posição da terra e dos hemisférios durante a rotação em torno do sol
Fonte: Google imagem (2015).

Durante o ano, a distância entre o Sol e a Terra pode variar entre $1,47 \times 10^8$ km e $1,52 \times 10^8$ km. Este fato influi em uma variação da radiação e, que varia entre 1.325 W/m^2 e 1.412 W/m^2 . O valor médio dessa variação é denominado constante solar, $E_0 = 1.367 \text{ W/m}^2$ (GREENPRO, 2004).

Através da reflexão, absorção (ozônio, vapor de água, oxigênio, dióxido de carbono) e dispersão (partículas de pó, poluição), a atmosfera reduz a irradiação solar a uma pequena parte, como é visto na Figura 4. O valor máximo aproximado que chega a terra é de 1.000 W/m^2 ao meio-dia, em boas condições climáticas (GREENPRO, 2004).

Ao adicionar a quantidade total da radiação solar que incide na superfície terrestre durante o período de um ano, obtém-se a irradiação média global anual, medida em $\text{kWh/m}^2.\text{ano}$ (GREENPRO, 2004).

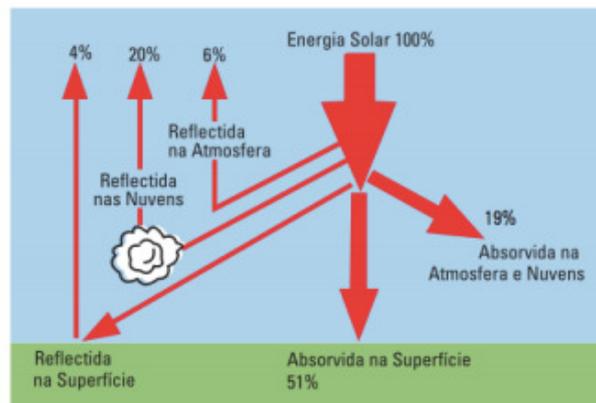


Figura 4 - Distribuição da radiação solar
Fonte: Greenpro (2004).

2.2.1 Componentes da Radiação Solar

Segundo Urbanetz Jr (2015), os componentes de radiação solar, conforme a Figura 5, são:

- **Radiação Direta:** É a fração da radiação que atravessa a atmosfera terrestre sem sofrer qualquer alteração em sua alteração original.
- **Radiação Difusa:** É aquela que ao atravessar a atmosfera, é espalhada pelos gases que a compõem, além de poeiras e nuvens.
- **Radiação devido ao Albedo:** É conhecida como a radiação solar, que, ao incidir sobre qualquer corpo, vai, em maior ou menor quantidade, sofrer uma mudança de direção, sendo reenviada para o espaço por reflexão. A fração de

energia refletida por uma superfície em relação ao total de energia nela incidente (expresso em percentagem).

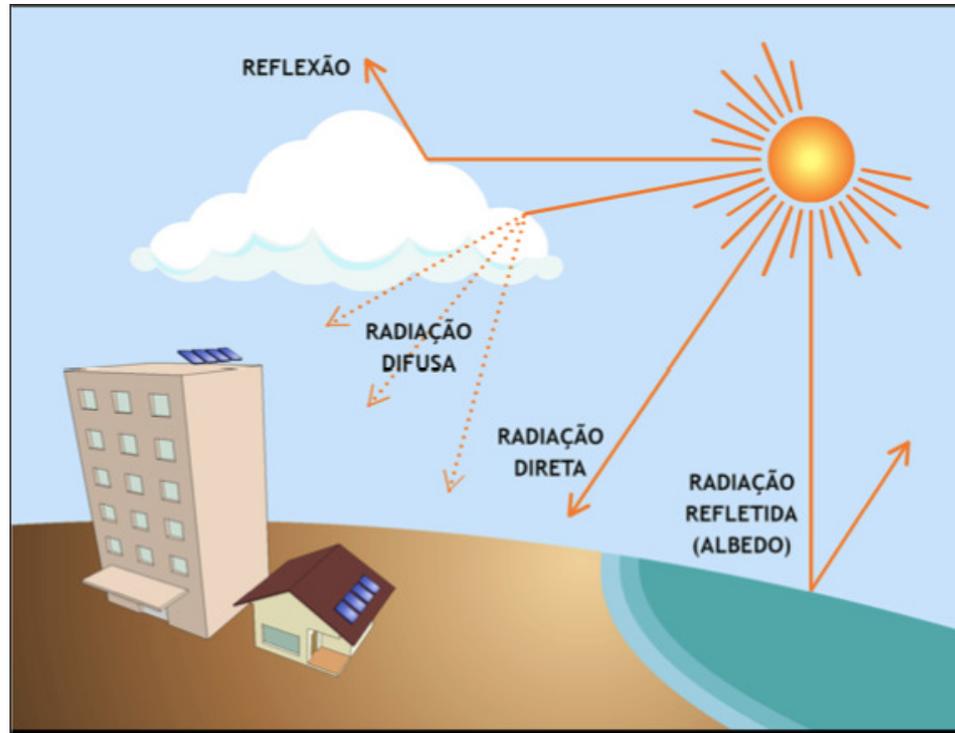


Figura 5 - Componentes da radiação solar
Fonte: Urbanetz Jr (2015).

Conforme Urbanetz Jr (2015) a taxa na qual a radiação solar incide em uma superfície, por unidade de área desta superfície, normalmente medida em Watt por metro quadrado (W/m^2) é chamada de Irradiância. Integrando em uma unidade de tempo, tem-se a irradiação, utilizada para cálculo de projeto de SFVCR.

- Irradiação Global (horizontal) - É recebida em uma superfície plana horizontal, com as componentes direta e difusa.
- Irradiação Total (inclinada) – É recebida em uma superfície plana com inclinação qualquer, com as componentes direta, difusa e devido ao albedo.

2.2.2 Instrumentos Medição da Radiação Solar

A radiação solar é fortemente relacionada pelo local e o clima, e é de extrema importância para o desenvolvimento de projetos que visão a captação e a conversão de energia solar. Medições da radiação solar consistem em medições da radiação globais e/ou direta tiradas periodicamente ao longo do dia.

Os instrumentos normalmente mais utilizados para medições são: o piranômetro (medição da radiação global) e/ou um pireliômetro (medição da radiação direta), apresentados na Figura 6 e Figura 7.



Figura 6 - Piranômetro fotovoltaico
Fonte: Pinho e Galdino (2014).



Figura 7- Pireliômetro
Fonte: Pinho e Galdino (2014).

2.2.3 Radiação Solar no Brasil

O Brasil é privilegiado em radiação solar, conforme pode ser observado na Figura 8, a irradiação solar está entre as mais altas do mundo, variando diariamente e, tendo uma média com o valor máximo de 6,5 kWh/m².dia no norte do estado da Bahia, e a mais baixa de 4,25 kWh/m².dia em Santa Catarina (PEREIRA *et al.*, 2006).

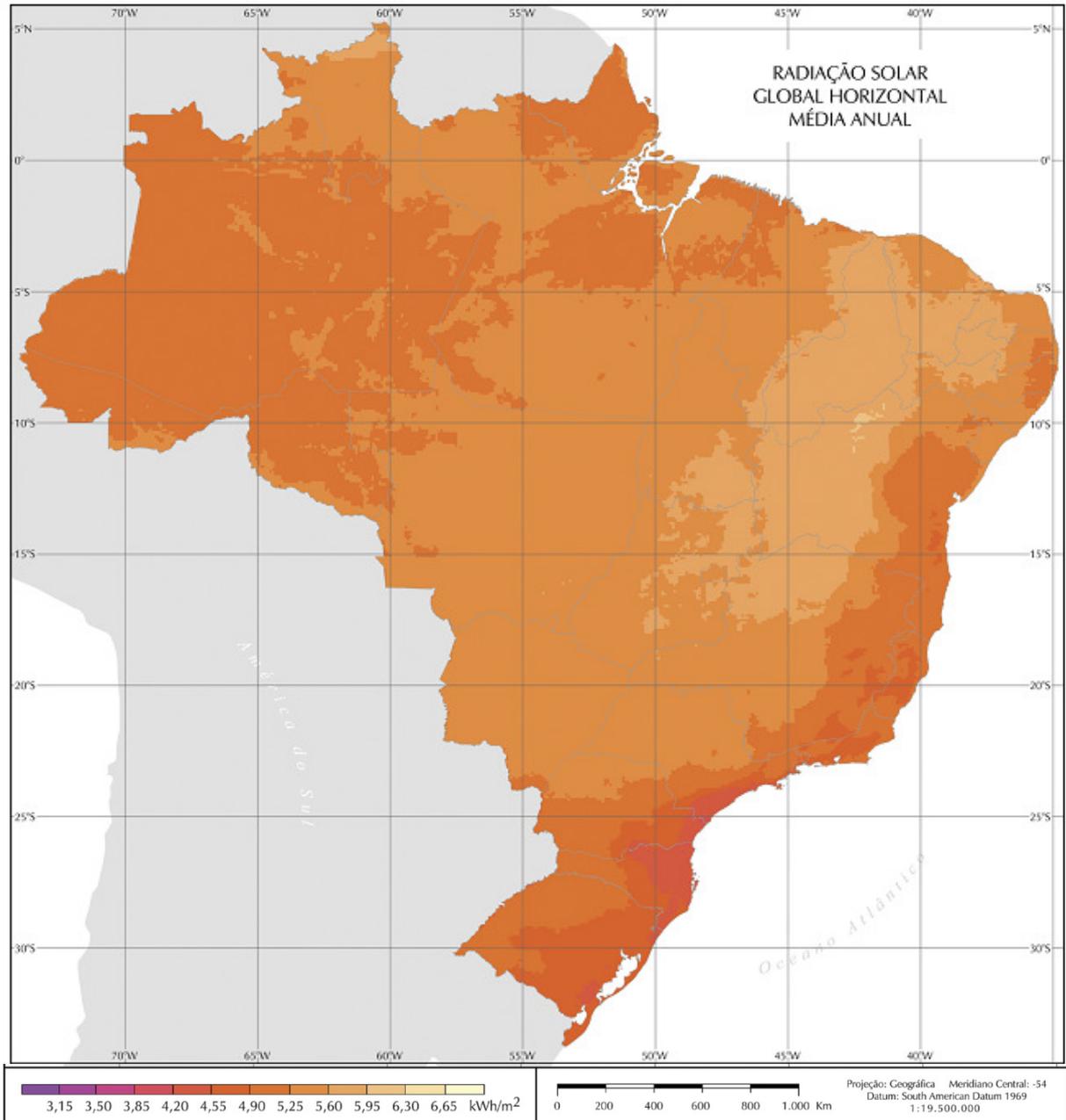


Figura 8 - Mapa de irradiação solar global horizontal média anual
Fonte: Pereira *et al.*, (2006).

Os valores de irradiação solar global incidente em qualquer região do território brasileiro 1.500-2.500 (kWh/m².ano) são superiores aos da maioria dos países da União Europeia, como Alemanha 900-1.250 (kWh/m².ano), França 900-1.650 (kWh/m².ano) e Espanha 1.200-1.850 (kWh/m².ano), onde projetos para aproveitamento de recursos solares, alguns contando com fortes incentivos governamentais, são amplamente disseminados (PEREIRA *et al.*, 2006).

2.2.4 Radiação Solar no Estado do Paraná

O estado do Paraná está localizado na região sul do Brasil, e, muito tem se questionado sobre o seu potencial da energia solar, e da viabilidade da aplicação desta fonte na matriz elétrica. Segundo Tiepolo (2015) o Mapa Fotovoltaico do Estado do Paraná, Figura 9, com os respectivos valores referentes à média anual e médias diárias sazonais, e também uma comparação entre os Mapas Fotovoltaicos do Estado do Paraná com os da Alemanha, Itália e Espanha, Figura 10, países com a maior capacidade instalada na Europa.

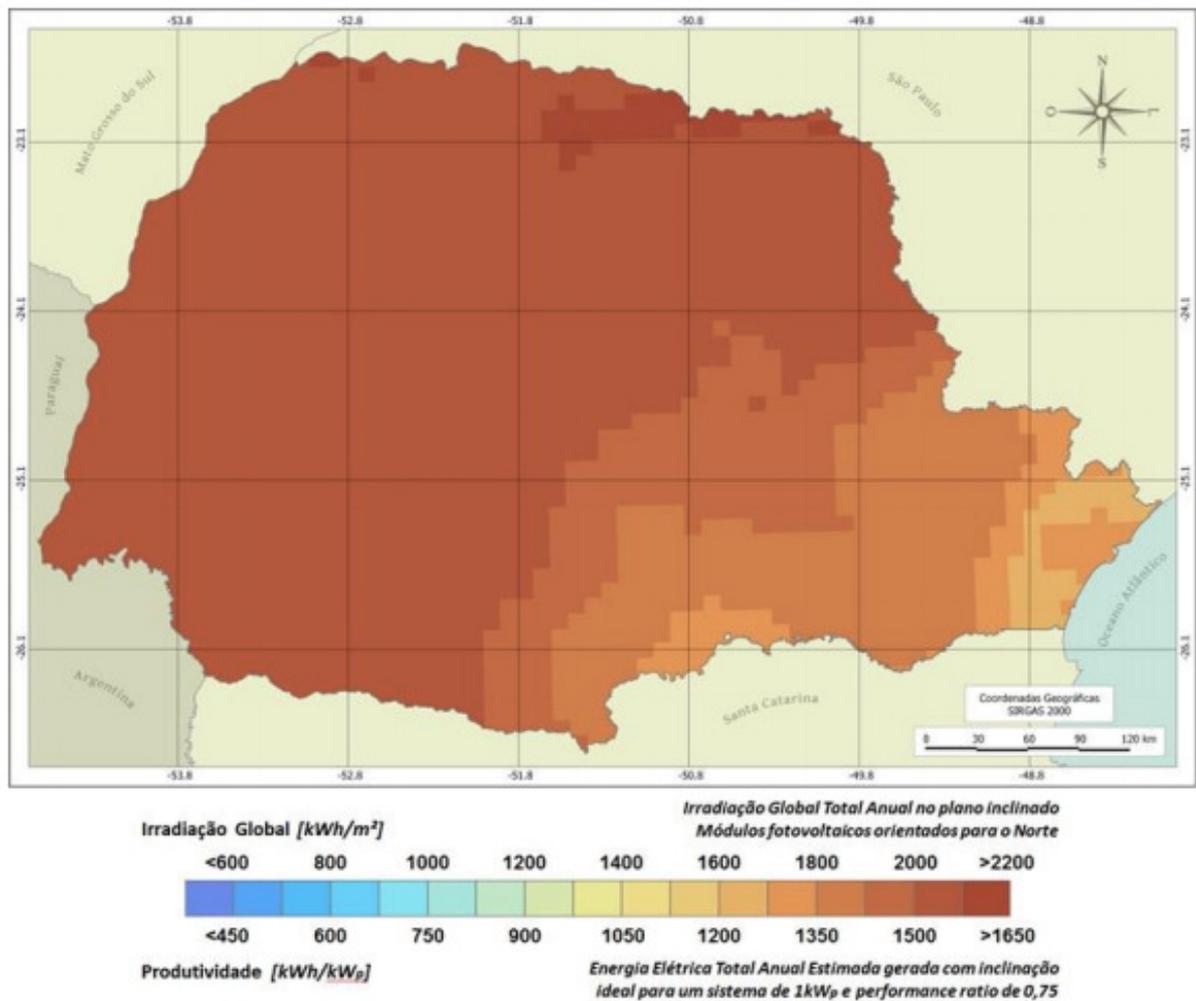


Figura 9 - Mapa fotovoltaico do estado do Paraná
Fonte: Tiepolo (2015).

Comparativamente usando como exemplo a Alemanha, onde até 2012 a capacidade instalada atingiu cerca de 32 GWp (IEA, 2013), os níveis de irradiação solar no plano inclinado encontrados são aproximadamente 40% inferiores aos obtidos no Brasil (TIEPOLO *et al.*, 2014).

Com a geração do Mapa Fotovoltaico do Estado do Paraná e a obtenção dos Mapas Fotovoltaicos dos três países selecionados (*European Commission*, 2012), é possível fazer a comparação “lado a lado” entre estes mapas que apresentam os valores de irradiação e de energia fotovoltaica estimada gerada, conforme mostra a Figura 10, Tiepolo *et al.*, (2014, p. 15).

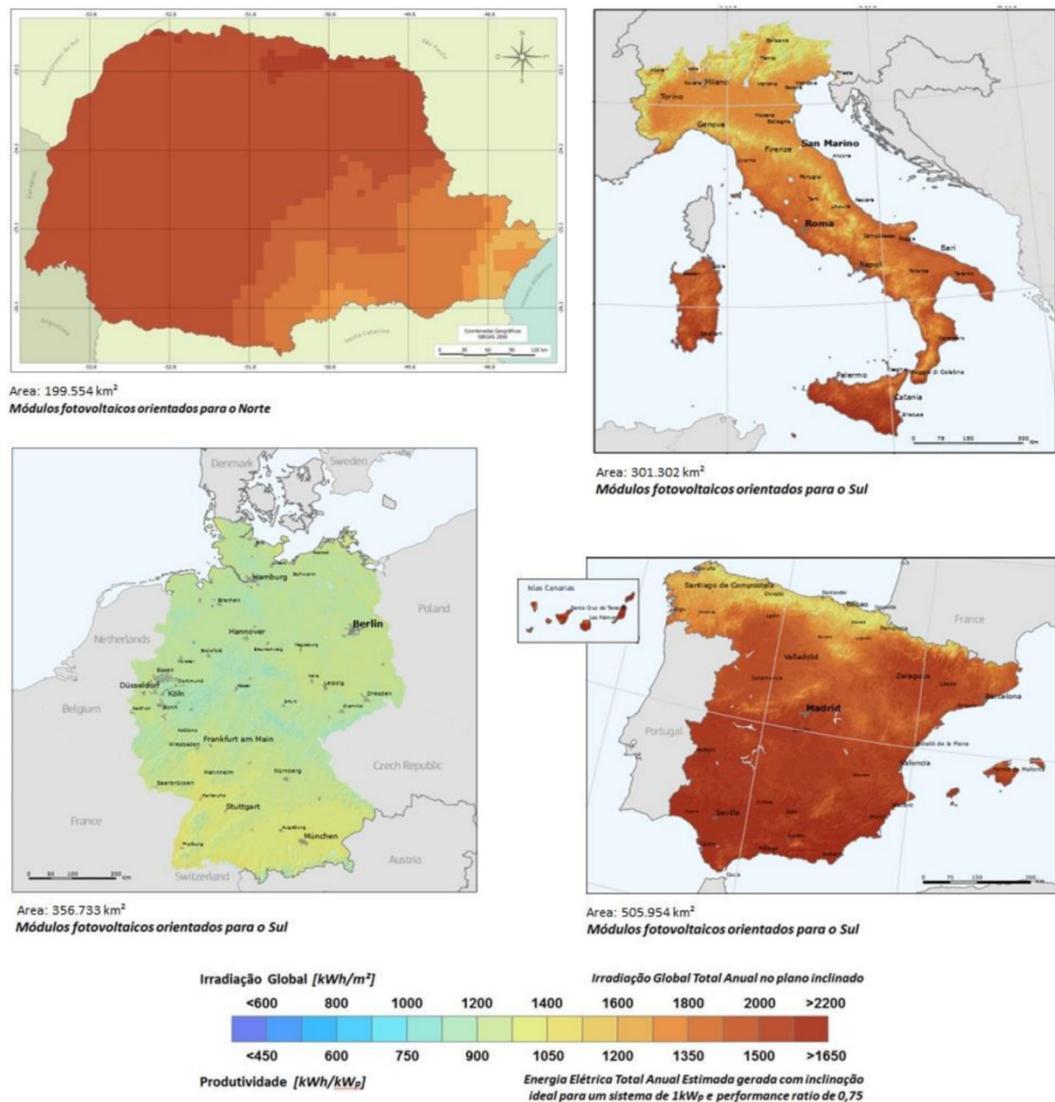


Figura 10 - Mapas fotovoltaicos do estado do Paraná, Alemanha, Itália e Espanha
 Fonte: Tiepolo *et al.*, (2014).

Considerando a média entre os valores mínimo e máximo apresentados nos mapas, a produtividade média encontrada no estado do Paraná é aproximadamente 52% superior ao da Alemanha, 27% superior ao da Itália e 13% superior ao da Espanha. Em comparação com a produtividade diária média encontrada no período de inverno no estado do Paraná, esta é aproximadamente 40% superior ao da Alemanha, 17% superior ao da Itália e 4% superior ao da Espanha. Ainda observando os valores durante o período de inverno no Paraná, o valor mínimo de produtividade diária estimada encontrada foi de 3,09 kWh/kWp, valor ainda muito superior a média entre os valores mínimo e máximo de produtividade diária encontrada na Alemanha, e igual a média da Itália (TIEPOLO *et al.*, 2014).

Estes dados mostram de maneira genérica o grande potencial de geração fotovoltaica existente no Estado do Paraná se comparado com estes três países, que juntos representam aproximadamente 54% do total global instalado (TIEPOLO *et al.*, 2014).

2.3 CÉLULA FOTOVOLTAICA

A célula fotovoltaica é o componente responsável pela conversão de energia solar em energia elétrica. Em síntese é um dispositivo semicondutor que gera uma corrente elétrica quando exposto a luz (radiação solar). Os módulos fotovoltaicos mais conhecidos são fabricados de silício na forma pura.

O silício é o segundo elemento mais abundante na superfície de nosso planeta, mais de 25% da crosta terrestre é silício e ele é 100 vezes menos tóxico que outros elementos (RÜTHER, 1999).

Este elemento passa então por um processo de dopagem (inserção de outros elementos). Mediante a dopagem do silício com o fósforo obtém-se um material com elétrons livres, ou material com portadores de carga negativa (silício tipo N). Realizando o mesmo processo, mas acrescentando boro, obtém-se um material com características inversas (déficit de elétrons), ou material com cargas positivas (silício tipo P). Cada célula solar compõe-se de uma camada fina de material tipo N e outra com maior espessura de material tipo P.

Na prática, para se obter a junção PN da célula parte-se, por exemplo, de uma lâmina de silício já previamente dopada, em sua fabricação, com átomos do tipo P e se introduzem átomos do tipo N, de forma a compensar a região previamente dopada e obter uma região N na lâmina (por isso a maior concentração do dopante tipo N). Isto é feito na prática por meio de introdução do material em um forno a alta temperatura contendo um composto de fósforo em forma gasosa. Da mesma maneira, também se pode formar a junção PN em uma lâmina de silício tipo N, com introdução posterior de átomos tipo P.

A Figura 11 mostra a estrutura física de uma junção PN de uma célula fotovoltaica.

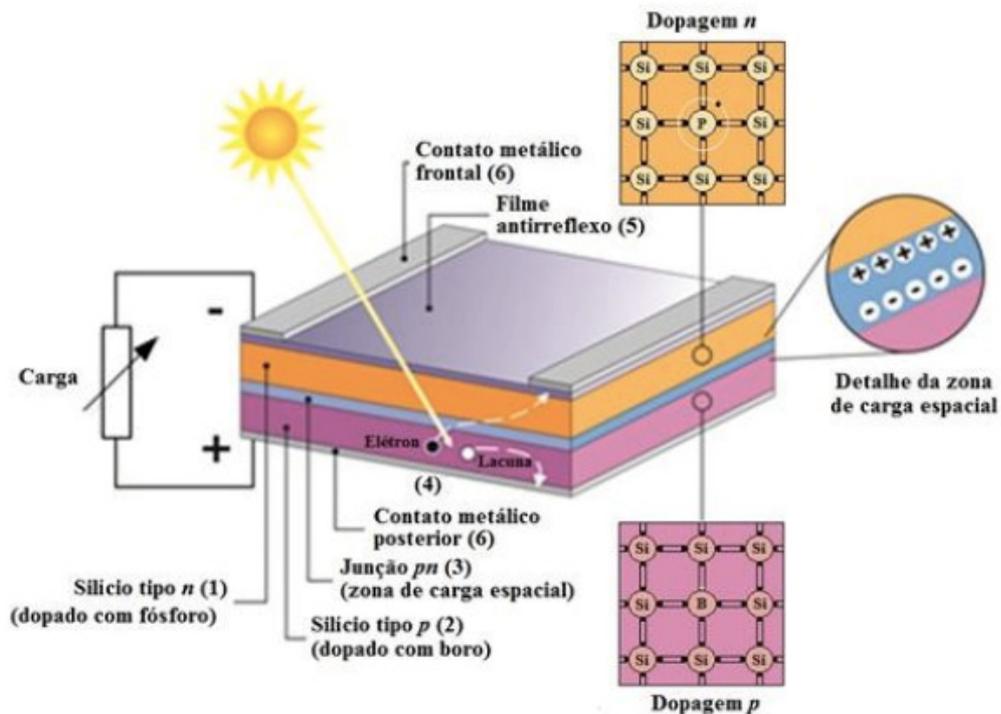


Figura 11 - Estrutura básica de uma célula fotovoltaica de silício destacando: (1) região tipo n; (2) região tipo p, (3) zona de carga espacial, onde se formou a junção pn e o campo elétrico; (4) geração de par elétron lacuna; (5) filme antirreflexo; (6) contatos metálicos.
 Fonte: Pinho e Galdino (2014, p. 112).

Como mostra a Figura 12, a evolução da produção mundial de células fotovoltaicas está se elevando, tendo sido produzidos, em 2012, cerca de 36,2 GWp. Esta potência equivale a mais de duas vezes e meia a potência da usina hidroelétrica de Itaipu, a maior central de produção elétrica do Brasil. Nos últimos

onze anos, o crescimento anual médio da indústria de células e módulos fotovoltaicos foi de 54,2% (PINHO; GALDINO, 2014, p. 54).

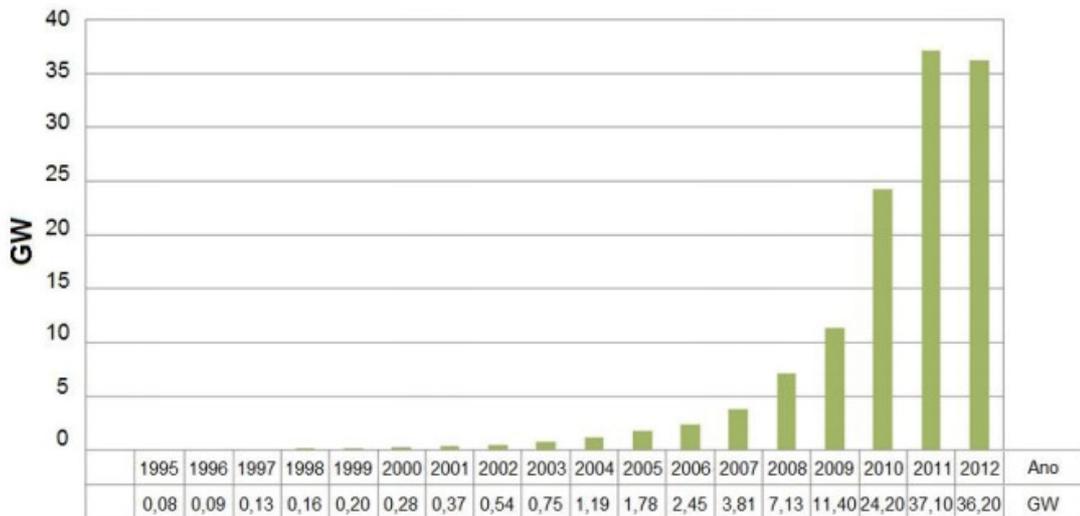


Figura 12 - Produção mundial de células fotovoltaicas
Fonte: Pinho e Galdino (2014, p. 55).

2.3.1 Tipos de células fotovoltaicas

No mercado atual, existe uma diversa variedade de tecnologias e se justifica principalmente pelos diferentes tipos de aplicação. Elas incluem o silício monocristalino (m-Si), silício policristalino (p-Si), tecnologias de filmes finos de silício amorfo (a-Si), micro-amorfos (microcristalino / silício amorfo), telureto de cádmio (CdTe), cobre-índio-gálio-disseleneto (CIGS), concentrador-PV (CPV) e outras tecnologias emergentes. Cada módulo é diferenciado, principalmente, de acordo com o material utilizado, processo de fabricação, eficiência e custo.

2.3.1.1 Silício Cristalino

O Silício Cristalino, Figura 13, domina o mercado fotovoltaico, com uma participação de quase 90% (EPE, 2012), devido a sua disponibilidade e preço. As células podem ser divididas em dois grupos, aquelas produzidas com silício

monocristalino e policristalino e o que os diferenciam é a tecnologia de fabricação da célula.

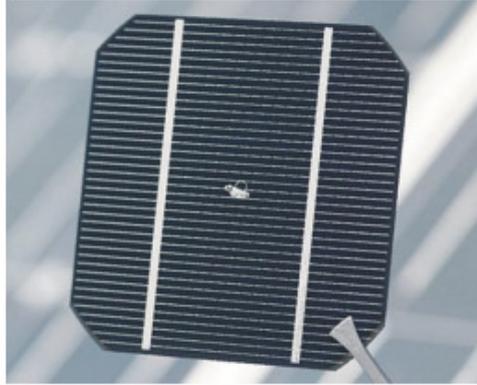


Figura 13 - Célula fotovoltaica de silício cristalino
Fonte: Pinho e Galdino (2014, p. 55).

2.3.1.1.1 Silício Monocristalino (m-Si)

Possui uma estrutura homogênea, que exige silício com elevado grau de pureza, seu método de fabricação consiste na produção de barras de silício que serão cortadas em lâminas finas, que é obtido através do processo *Czochraski* (Si-Cz) ou também pela técnica de fusão zonal flutuante (Si-Fz, *Float Zone*), conforme a Figura 14. A eficiência média das células fotovoltaicas produzidas Si-Cz (m-Si) é de 16,5% (PINHO; GALDINO, 2014, p. 129).

Esse tipo de tecnologia somente é utilizado em aplicações que exigem uma alta eficiência, sabendo que a elevada rigidez no processo de fabricação resulta no encarecimento da produção.

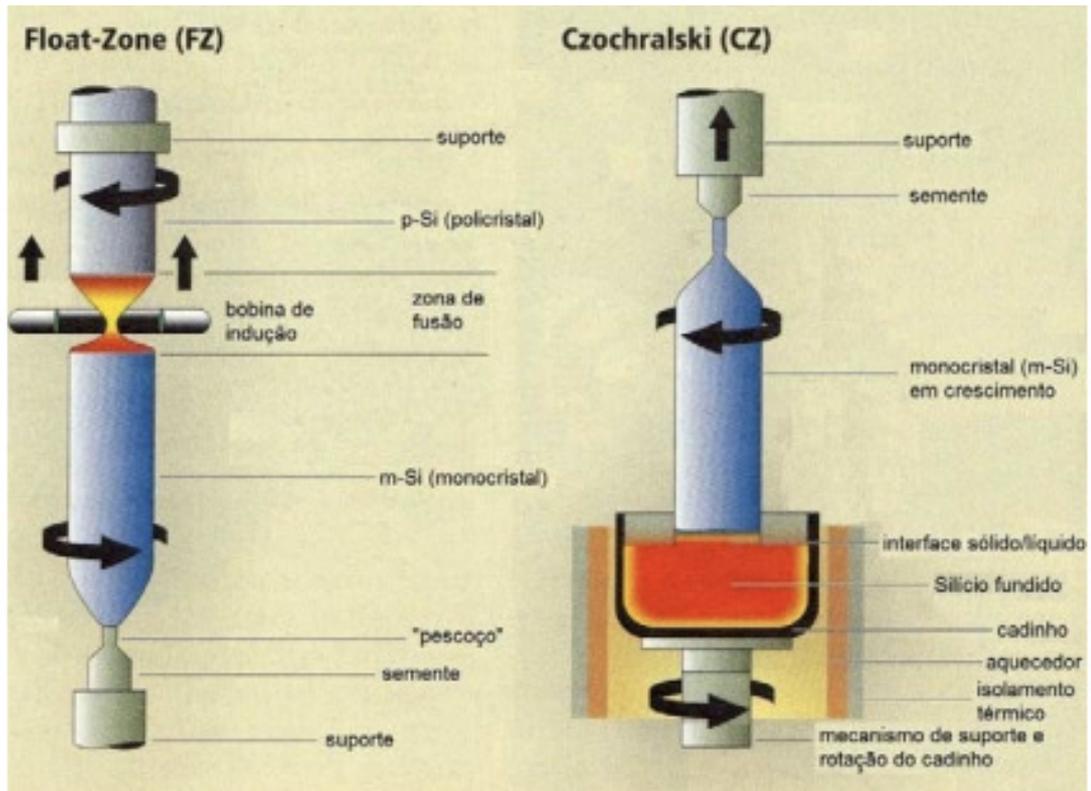


Figura 14 - Fabricação de tarugos (lingotes) de m-Si pela técnicas de *float-zone* (FZ) e *Czochralski*
 Fonte: Pinho e Galdino (2014, p. 129).

A célula de silício monocristalino é fácil de ser reconhecida, ela tem uma cor uniforme, indicando alta pureza, como mostra na Figura 15.



Figura 15- Célula de silício monocristalino
 Fonte: Energias Bienes Comunes (2015).

2.3.1.1.2 Silício Policristalino (p-Si)

Ao contrário das células monocristalinas, as policristalinas (Figura 16) não requerem o processo *Czochralski*. O silício bruto é derretido e derramado em um molde quadrado, que quando esfria, se solidifica e é cortado em pastilhas perfeitamente quadradas. Neste processo, os átomos não se organizam em um único cristal e formam uma estrutura policristalina com superfícies de separação entre os cristais.

Nota-se que há menos rigor na produção dessas células, deixando-as mais baratas e a eficiência também cai um pouco comparando com as células de c-Si.

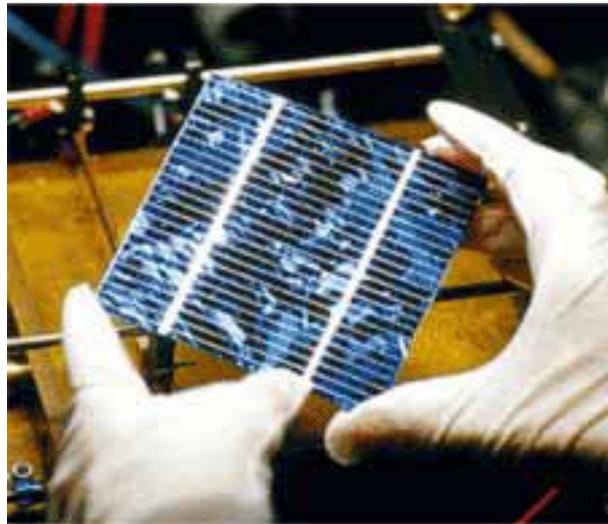


Figura 16 - Células de silício policristalino
Fonte: Enerpoint (2015).

2.3.1.2 Filmes finos

São dispositivos semicondutores finos, que são depositados normalmente em substratos de vidro, plástico ou em folha de metal, que cria células solares de película fina.

Os filmes finos fotovoltaicos têm espessuras que variam de 0,22-1,22 mm dependendo do fabricante, além de ser muito flexível. Os semicondutores mais

comuns usados na produção de filmes finos solares são de silício amorfo (a-Si), telureto de cádmio (CdTe) e disseleneto de cobre, índio e gálio (CIGS) .

2.3.1.2.1 Silício Amorfo (a-Si)

Como a saída de energia elétrica é baixa, as células solares baseadas em silício amorfo, tradicionalmente só foram usadas para aplicações de pequena escala, como em calculadoras de bolso. No entanto, as inovações recentes tornaram-nas mais atraentes para algumas aplicações de larga escala também. Com uma técnica de fabricação chamada de "empilhamento", várias camadas de células solares de silício amorfo podem ser combinadas, o que resulta em taxas mais elevadas de eficiência (tipicamente cerca de 6-8 %). Apenas 1% do silício utilizado em células solares de silício cristalino é necessário em células solares de silício amorfo. Por outro lado, o empilhamento é caro.

O a-Si possibilita, na fase de sua fabricação, que sejam depositados substratos de baixo custo, como vidro (Figura 17 e Figura 18), aço inox e alguns plásticos. O resultado disso são painéis solares flexíveis (Figura 19), inquebráveis, mais leves, semitransparentes (Figura 17), com superfícies curvas (Figura 18), possibilitando um mercado fotovoltaico variado. O a-Si é esteticamente mais atraente, logo é encontrado em aplicações arquitetônicas diversas, substituindo materiais de cobertura de telhados e fachadas na construção civil (RÜTHER, 1999).



Figura 17- Exemplo de painel solar de a-Si
Fonte: R  ther (2004).

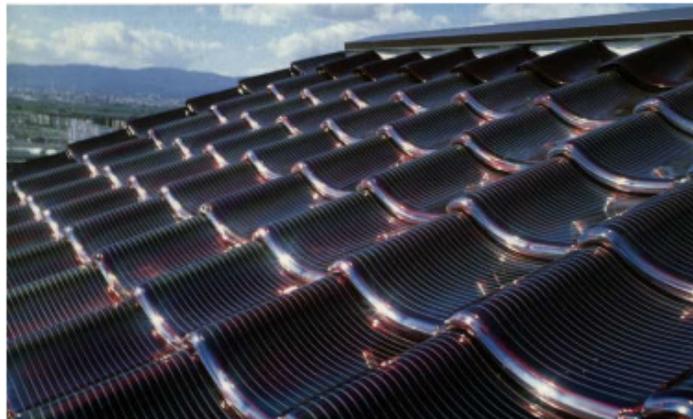


Figura 18 - Painel solar fabricado diretamente nas telhas de vidro
Fonte: R  ther (2004).



Figura 19 - Exemplo de painel solar flex  vel
Fonte: R  ther (2004).

2.3.1.2.2 Telureto de cádmio (CdTe)

É a única tecnologia de painéis solares de película fina que superou o custo-eficiência de células solares de silício cristalino em uma parcela significativa do mercado, pois exige uma menor quantidade de energia para sua produção e está muito perto do espectro solar, tornando-se um semicondutor eficaz e opera normalmente na gama de 11-16%. A sua desvantagem é que o telureto de cádmio é tóxico se ingerido, se seu pó é inalado, ou se for manuseado incorretamente (ou seja, sem luvas apropriadas e outras precauções de segurança).

2.3.1.2.3 Disseleneto de cobre, índio e gálio (CIGS)

Em comparação com as outras tecnologias de filmes finos acima, as células solares CIGS mostram o maior potencial em termos de eficiência. Estas células solares contêm menos quantidades do cádmio material tóxico que é encontrado em células solares de CdTe . A produção comercial de células solares CIGS flexível foi iniciado na Alemanha em 2011. Os índices de eficiência para painéis solares CIGS normalmente operam na faixa de 14-16%.

Na Figura 20 é possível ter uma ideia da eficiência por m^2 das tecnologias pela área necessária para instalar 1 kWp.

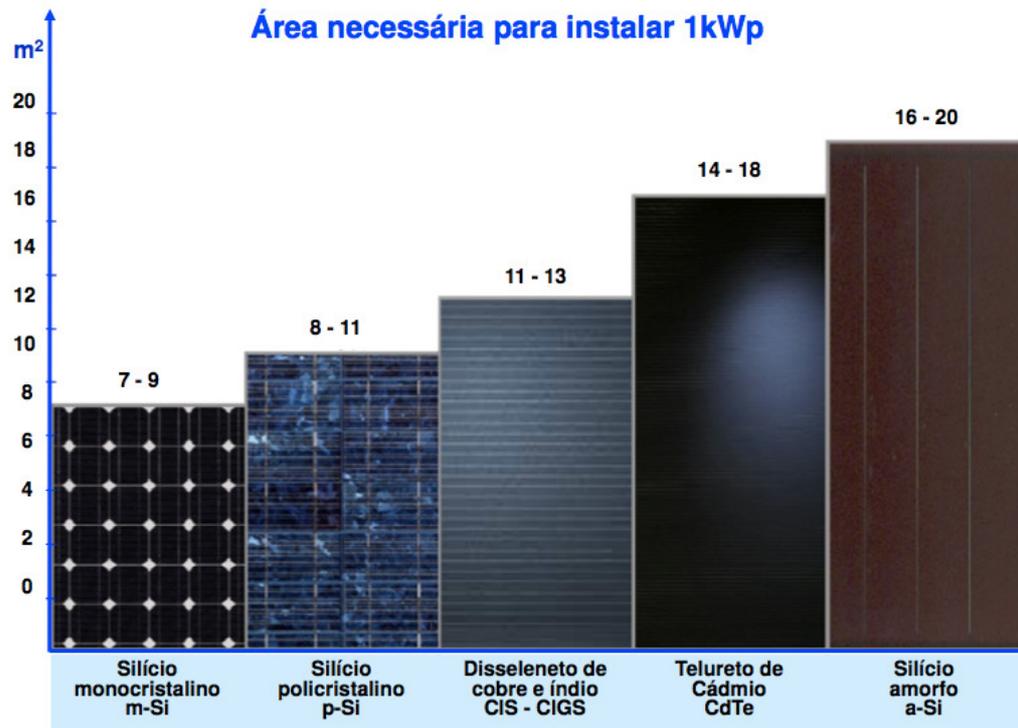


Figura 20 - Área necessária da tecnologia escolhida para gerar 1 kWp
 Fonte: Urbanetz Jr (2015).

2.4 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A REDE (SFVCR)

Segundo Pinho e Galdino (2014, p. 257) o sistema é conectado a rede quando o gerador fotovoltaico entrega a potência diretamente a rede elétrica conforme a Figura 21.

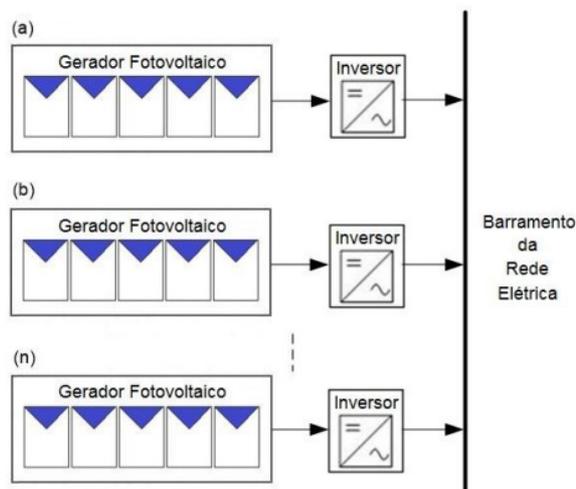


Figura 21 - Sistema fotovoltaico conectado a rede (SFVCR)
 Fonte: Pinho e Galdino (2014).

Segundo a Resolução Normativa nº 482 de 17 de Abril de 2012 a energia elétrica ativa consumida poderá ser compensada pela energia elétrica ativa gerada no SFVCR, essa compensação se daria por forma de credito de energia ativa a ser debitada no prazo de 36 meses após a contabilidade do crédito (ANEEL, 2012).

A Figura 22 é um esquemático com os principais equipamentos do SFVCR o painel fotovoltaico o inversor e o medidor bidirecional de energia.

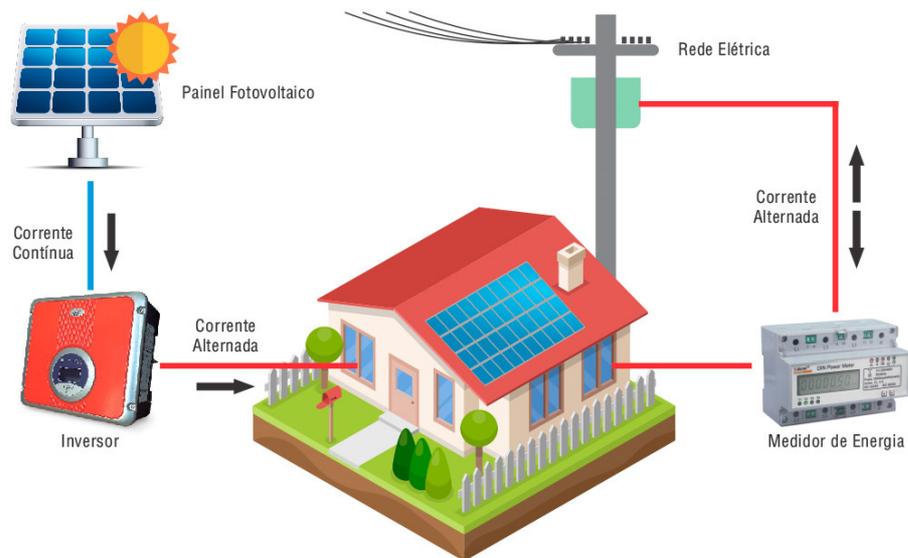


Figura 22 - Esquemático do SFVCR
Fonte: Ajna Solar (2015).

2.4.1 INVERSOR

O inversor é um dispositivo que converte a energia CC recebida dos painéis fotovoltaicos e entrega a rede energia CA. Para Urbanetz Jr (2015), as principais características desses equipamentos são:

- Construídos para operar em paralelo com a rede elétrica;
- Toda a energia gerada nos painéis PV é injetada na rede elétrica;
- Apresentam alta eficiência (> 94%);
- Possuem função de busca do ponto de máxima potência (MPPT);
- Desligam-se automaticamente na ausência da rede elétrica.

3 PROJETO DO SFVCR

3.1 INTRODUÇÃO

Segundo Pinho e Galdino (2014, p. 298), "o projeto de um sistema fotovoltaico envolve orientação dos módulos, disponibilidade de área, estética, disponibilidade do recurso solar, demanda a ser atendida e diversos outros fatores" antes de entrar no detalhe dessas etapas cabe apresentar as premissas para realizações deste projeto.

A primeira delas trata-se das características da edificação e da vizinhança. O empreendimento tem a altura de 13,81 metros e todo o entorno está abaixo deste nível, além disso, o prédio esta na altura limite permitida para este zoneamento, ou seja, não há sombreamento por prédios vizinhos.

A segunda está relacionada à potência total instalada que será limitada pela área disponível no telhado da loja para instalações dos módulos.

A terceira e última é que nenhuma fração de energia servirá como *backup* de energia, adiante será visto no diagrama unifilar geral, que para *backup* de energia a edificação tem banco de baterias (*Nobreak*) e grupo motor gerador a diesel.

3.2 LOCALIZAÇÃO DO IMÓVEL

A loja está localizada na cidade de Curitiba – PR, na Rua Raul Pompéia esquina com a Rua Cidade Laguna, conforme a Figura 23, observa-se ainda que se trata de um terreno de esquina com três frentes.

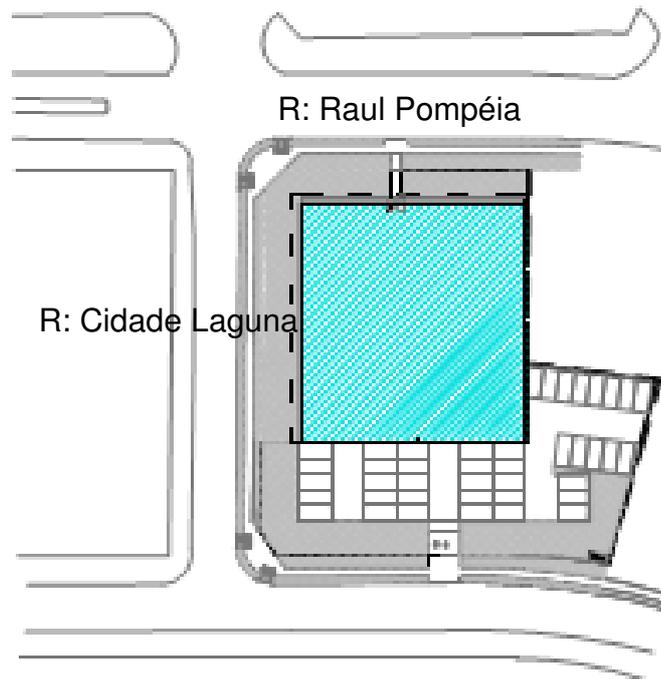


Figura 23 - Planta Situação da Loja de Departamento
Fonte: Autoria própria.

Atendendo os parâmetros da lei de zoneamento da prefeitura o empreendimento está enquadrado no uso misto: comércio, habitação e pequenas indústrias. A altura máxima permitida para construção é de quatro pavimentos, essa informação assegura que futuramente não terá perda de desempenho por sombreamento de prédios vizinhos.

Com auxílio do software do *Google Earth* verificou-se as coordenadas, conforme a Figura 24, onde a Latitude é $-25,48^{\circ}$ (Sul) e a longitude $-49,34^{\circ}$ (Oeste).

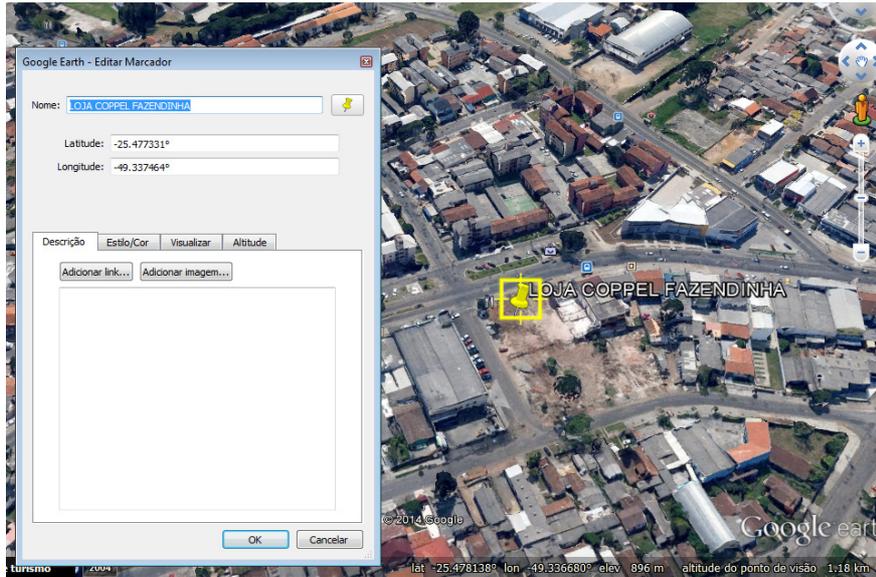


Figura 24 - Latitude e longitude da Loja de departamento
Fonte: Google Earth (2015).

Com o mesmo *software* obtém-se o desvio azimutal tendo como referência uma linha paralela ao terreno vizinho, desta forma, obtém-se desvio azimutal de $158,80^\circ$ ou $-21,20^\circ$, o que representa $21,20^\circ$ oeste, conforme a Figura 25.

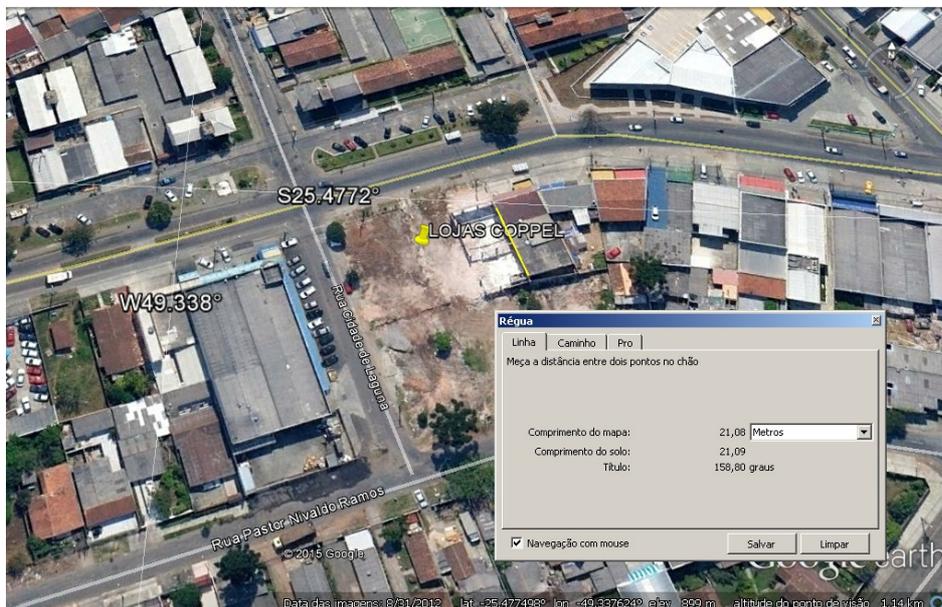


Figura 25 - Desvio azimutal da Loja
Fonte: Google Earth (2015).

3.3 LOCALIZAÇÃO DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

A área disponível sobre o telhado metálico para instalação dos módulos é de 961,24m², na Figura 26, está região corresponde à hachura em azul claro. Levando em conta que a estética do prédio tem que ser conservada, os módulos deverão seguir o alinhamento predial, além disso, um observador ao nível da rua praticamente não conseguirá ver os conjuntos de módulos instalados no telhado.

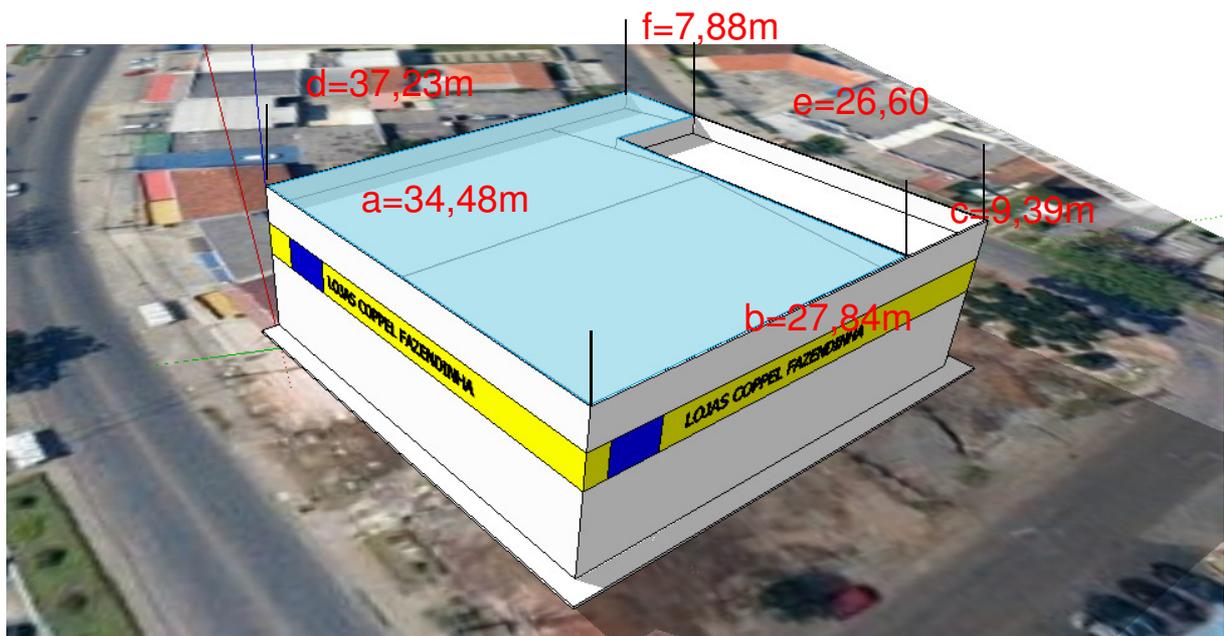


Figura 26 – Área disponível para instalação dos módulos
Fonte: autoria própria.

Considerando as perdas por sombreamento, toda estrutura deverá ficar acima das platibandas, desta forma todo potencial de geração será maximizada.

Segundo Pinho e Galdino (2014, p. 364) a Equação 1 permite a estimativa de distância mínima em que um objeto não gere sombra, principalmente, no momento de melhor irradiância, usualmente, entre as 9 horas e as 15 horas.

$$d = Fe(hob - hi) \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

d - distância mínima a ser mantida entre as fontes geradoras

Fe - fator de espaçamento obtido pela Figura 27

hob - altura do obstáculo

hi - altura de instalação do painel.

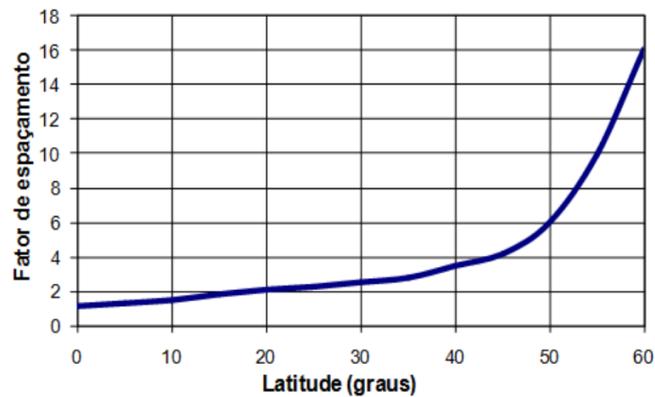


Figura 27 - Fator de espaçamento versus latitude local da instalação
 Fonte: Pinho *et al.* (2008) *apud* Pinho e Galdino (2014).

Conforme a Figura 28, para obter a altura hob , são necessárias as dimensões dos módulos e o ângulo de inclinação do mesmo.

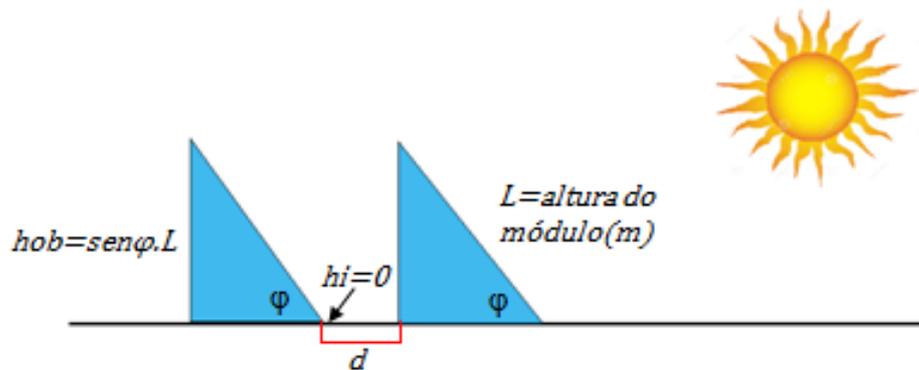


Figura 28 - Altura versus ângulo de inclinação
 Fonte: autoria própria.

Desta forma, como visto no capítulo anterior, a tecnologia de silício policristalino (p-Si) é mais usada e com melhor custo e benefício segundo Pinho e Galdino (2014) é confiável, consolidada e com melhor eficiência comercialmente disponível, sendo assim, será utilizado o módulo de p-Si JAP6 60-265/3BB com potência de 265 Wp da fabricante JASOLAR.

Suas dimensões estão representadas na Figura 29.

Desenhos de Engenharia

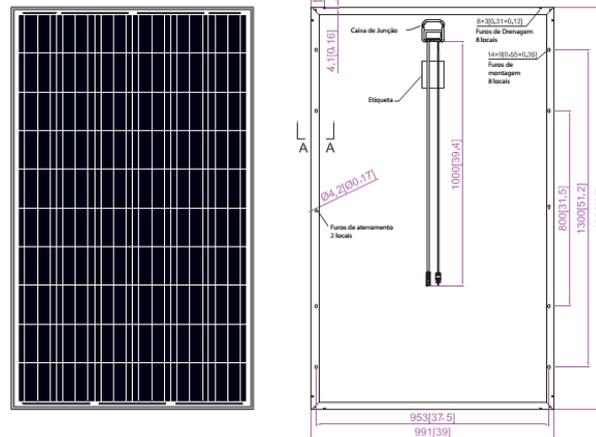


Figura 29 - Módulo de Silício policristalino JAP6 60-265/3BB
 Fonte: Jasolar (2015).

Para o ângulo de instalação segundo Urbanetz Jr (2015), o ângulo de inclinação deve ser aproximadamente, igual à latitude do local, e orientado para o norte. Sendo assim o ângulo que favorece é $\phi=25,48^\circ$

Compilando as informações, tem-se que:

Para o painel instalado inclinado no sentido horizontal, $d1 = 2,4 \times (\text{sen}25,48) \times 0,991 = 1,02\text{m}$, desta forma consegue-se instalar até 320 módulos, conforme a Figura 30.

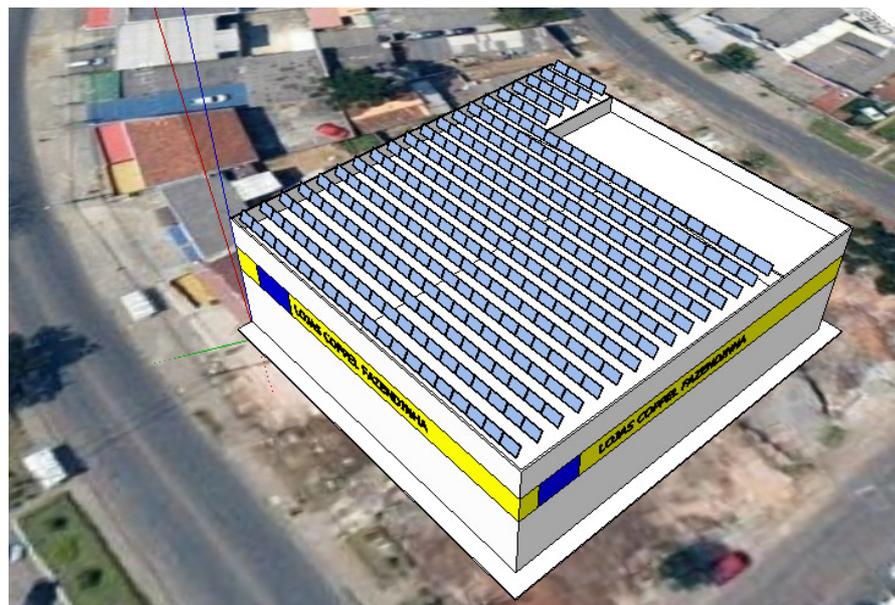


Figura 30 - Módulos instalados inclinados no sentido horizontal
 Fonte: autoria própria.

Já para o equipamento instalado inclinado no sentido vertical, como mostra a Figura 31, $d2 = 2,4 \times (\text{sen}25,48) \times 1,65 = 1,70\text{m}$, sendo assim poderiam ser instalados até 327 módulos, porém, o impacto na estética do prédio é maior, conseqüentemente, a opção será pela instalação no sentido horizontal com 320 módulos.



Figura 31 - Módulos instalados inclinados no sentido vertical
Fonte: autoria própria.

3.4 LEVANTAMENTO DO RECURSO SOLAR DISPONÍVEL

Com o número de módulos fotovoltaicos definidos, o próximo passo é verificar o potencial de irradiação para a latitude e longitude local.

Este levantamento será feito através do banco de dado do projeto SWERA (PEREIRA *et al.*, 2006) que apresenta dados de irradiação solar do Brasil. Como a abrangência deste banco envolve uma área muito grande, a resolução não permite uma posição exata de latitude e longitude, desta forma, foi estabelecido uma interpolação dos valores mais próximos, neste caso Latitude de $-25,52^\circ$ (Sul) e longitude $-49,37^\circ$ (Leste), conforme a Figura 32, a diferença do ponto do banco de dados em relação ao ponto a ser instalado é de 5,73km sendo desprezível pra critério de cálculos.

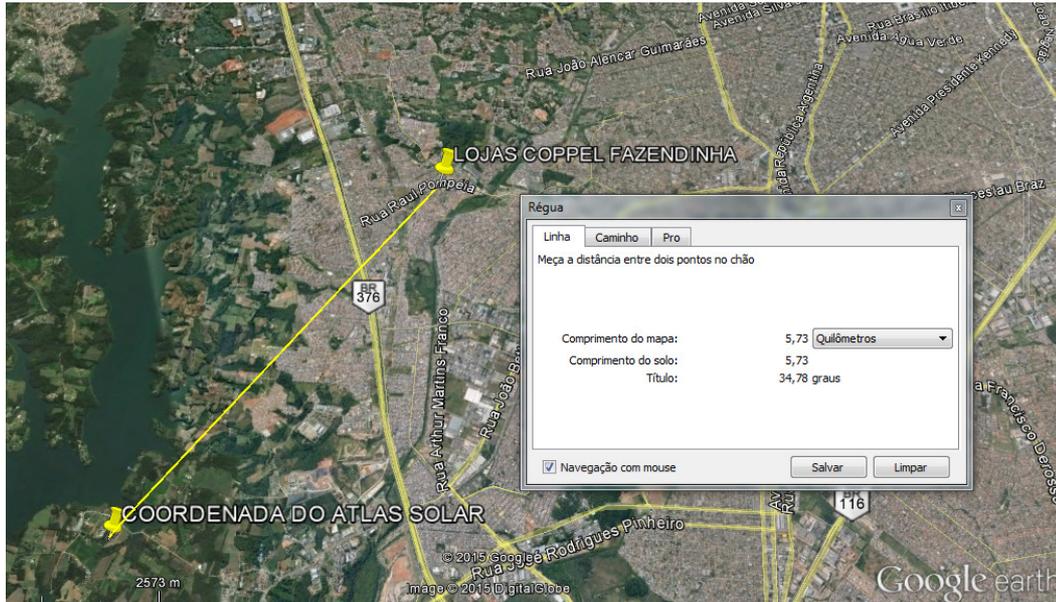


Figura 32 - Distância entre coordenadas da loja com o Atlas Brasileiro de Energia Solar
Fonte: Google Earth (2015).

Para estas coordenadas, obtém-se as médias diárias mensais de irradiação em kWh/m² inserem-se assim, estes valores no *software* Radiasol e cria-se uma nova estação chamada FAZENDINHA (Figura 33).

País	Brazil																							
Estação	FAZENDINHA																							
Latitude	25,52	N/S:	S	Longitude	49,37	E/W:	W																	
JAN	5,71	FEV	5,47	MAR	5,00	ABR	4,16	MAI	3,28	JUN	3,03	JUL	3,26	AGO	4,17	SET	4,32	OUT	5,08	NOV	6,06	DEZ	5,93	
Radiação em kWh/m ²																								

Figura 33 - Banco de dados do SWERA inserido no *software* Radiasol
Fonte: Radiasol (2015).

Através do Radiasol foi simulada a irradiação incidente em kWh/m² no do estudo e foi considerado o azimute de 21,20° e o ângulo de inclinação dos módulos fotovoltaicos variando de 10° até 40°. Observa-se na Tabela 2 que a melhor média

anual é de 4,849 kWh/m² para os ângulos de 22° e 23° próximo do valor estimado da latitude de 25,48°.

Tabela 2 - Irradiação incidente (kWh/m²) Lojas Coppel Fazendinha (Lat. -25,52° Long- 49,37°)

Ângulo de Inclinação	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	anual
Inclinado (10°)	5,719	5,53	5,159	4,387	3,515	3,321	3,565	4,48	4,49	5,177	6,073	5,924	4,778
Inclinado (15°)	5,68	5,525	5,2	4,473	3,614	3,443	3,695	4,612	4,542	5,191	6,035	5,872	4,824
Inclinado (20°)	5,616	5,495	5,218	4,539	3,698	3,548	3,804	4,72	4,575	5,179	5,974	5,793	4,847
Inclinado (21°)	5,599	5,484	5,219	4,549	3,71	3,566	3,824	4,74	4,579	5,174	5,958	5,775	4,848
Inclinado (22°)	5,585	5,475	5,217	4,558	3,724	3,583	3,843	4,757	4,582	5,169	5,94	5,756	4,849
Inclinado (23°)	5,566	5,464	5,217	4,567	3,737	3,6	3,86	4,775	4,587	5,162	5,922	5,735	4,849
Inclinado (24°)	5,548	5,451	5,217	4,575	3,751	3,617	3,878	4,79	4,587	5,153	5,902	5,712	4,848
Inclinado (25°)	5,529	5,439	5,211	4,581	3,761	3,634	3,893	4,805	4,587	5,148	5,883	5,689	4,847
Inclinado (35°)	5,29	5,263	5,125	4,597	3,832	3,747	4,011	4,892	4,548	5,013	5,626	5,419	4,78
Inclinado (40°)	5,263	5,125	4,597	3,832	3,747	4,011	4,892	4,548	5,013	5,626	5,419	4,78	4,78

Fonte: Simulador Radiasol 1.

3.5 ENERGIA GERADA PELOS MÓDULOS

Para verificar a energia gerada pelo conjunto de módulos é necessário avaliar a potência total dos módulos - Pfv (kWp) que é dado pela Equação 2.

$$Pfv = Pmod \times n^{\circ}mod \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

$Pmod$ - é a potencia do módulo (conforme catalogo em anexo 265 Wp);

$n^{\circ}mod$ - é a quantidade total dos módulos.

Desta forma $Pfv = 265 \times 320 = 84,80$ kWp. Para o cálculo da energia gerada: E (kWh/dia), é aplicada a Equação 3.

$$E = \frac{Pfv \times Htot \times PR}{G} \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

H_{tot} - Irradiação solar incidente no plano dos módulos, da Tabela 2, 4,849 kWh/m²;

PR - Taxa de desempenho ou *performance ratio* do SFVCR.

G - Irradiância solar nas condições STC (temperatura do módulo a 25°C e espectro solar para AM = 1,5), nessas condições $G=1$ kW/m².

Segundo Urbanetz Jr (2015), este rendimento está entre 70% a 80%, desta forma será utilizado 75%;

Assim tem-se que:

$$E = \frac{84,80 \times 4,849 \times 0,75}{1} = 308,40 \text{ kWh/dia}$$

3.6 LEVANTAMENTO DO CONSUMO DA LOJA

Analisando o histórico das faturas de energia elétrica da loja no período de 15 meses conforme mostra a Tabela 3, foi observado que o consumo médio, incluindo horário de ponta, é de 22.016 kWh/mês ou 724,63 kWh/dia, desta forma, a energia produzida pelos módulos E (308,39 kWh/dia), não é suficiente para atender o consumo total solicitado pelas instalações, porém cerca de 45% do total será disponibilizado.

Tabela 3 - Histórico de consumo da Loja Coppel unidade Fazendinha

	E energia produzida dos módulos(kWh/dia)				308,39
mês	consumo médio kWh/mês (ponta + fora de ponta)	dias de consumo	consumo médio kWh/dia (ponta + fora de ponta)	Fatura (R\$)	Energia produzida frente a consumida (%)
set/13	21059	30	701,97	R\$ 6.220,55	43,93
out/13	14002	31	451,68	R\$ 4.627,10	68,28
nov/13	14385	30	479,50	R\$ 4.226,10	64,31
dez/13	24996	31	806,32	R\$ 8.053,33	38,25
jan/14	27992	31	902,97	R\$ 8.530,74	34,15
fev/14	29648	28	1058,86	R\$ 9.187,05	29,12
mar/14	18172	31	586,19	R\$ 6.183,65	52,61
abr/14	20305	30	676,83	R\$ 6.703,72	45,56
mai/14	24808	31	800,26	R\$ 8.048,49	38,54
jun/14	23131	30	771,03	R\$ 7.364,26	40,00
jul/14	22409	31	722,87	R\$ 9.782,86	42,66
ago/14	23081	31	744,55	R\$ 10.236,20	41,42
set/14	20880	30	696,00	R\$ 9.297,35	44,31
out/14	17114	31	552,06	R\$ 7.882,35	55,86
nov/14	19959	30	665,30	R\$ 7.941,92	46,35
dez/14	30308	31	977,68	R\$ 12.773,62	31,54
média	22016		724,63	R\$ 7.941,21	44,81

Fonte: Contas de energia elétrica das Lojas Coppel.

3.7 DIMENSIONAMENTO DO INVERSOR

3.7.1 Escolha do inversor

A escolha de um inversor adequado deve atender alguns critérios mínimos de proteção, segundo o item 5 da seção 3.3 modulo 3 do PRODIST (ANEEL, 2012), conforme mostra a Tabela 4, incluía exigência de um transformador de acoplamento para isolação galvânica entre o lado CC com o lado CA.

Tabela 4 - Proteção mínima em relação a potência instalada

EQUIPAMENTO	Potência Instalada		
	< 10 kW	10 kW a 500 kW ⁽⁴⁾	> 500 kW ⁽⁴⁾
Elemento de desconexão ⁽¹⁾	Sim	Sim	Sim
Elemento de interrupção ⁽²⁾	Sim	Sim	Sim
Transformador de acoplamento	Não	Sim	Sim
Proteção de sub e sobretensão	Sim ⁽³⁾	Sim ⁽³⁾	Sim
Proteção de sub e sobrefrequência	Sim ⁽³⁾	Sim ⁽³⁾	Sim
Proteção contra desequilíbrio de corrente	Não	Não	Sim
Proteção contra desbalanço de tensão	Não	Não	Sim
Sobrecorrente direcional	Não	Não	Sim
Sobrecorrente com restrição de tensão	Não	Não	Sim

Notas:

- (1) Chave seccionadora visível e acessível que a acessada usa para garantir a desconexão da central geradora durante manutenção em seu sistema.
- (2) Elemento de desconexão e interrupção automático acionado por comando e/ou proteção.
- (3) Não é necessário relé de proteção específico, mas um sistema eletro-eletrônico que detecte tais anomalias e que produza uma saída capaz de operar na lógica de atuação do elemento de desconexão.
- (4) Nas conexões acima de 300 kW, se o lado da acessada do transformador de acoplamento não for aterrado, deve-se usar uma proteção de sub e de sobretensão nos secundários de um conjunto de transformador de potência em delta aberto.

Fonte: PRODIST (ANEEL, 2012).

Para Almeida (2012) esse último é controverso, pois por um lado tem a necessidade de aterramento do sistema, do outro a inserção deste equipamento diminui a eficiência global, na Figura 34 segue um comparativo entre sistema com transformador de acoplamento versus sem transformador (*transformerless*).



Figura 34 - Comparativo de inversor com e sem transformador de acoplamento
Fonte: autoria própria.

A NTC 905200 (COPEL, 2012) determina que "o inversor deve conter funções de proteção e seu funcionamento deve atender as normas NBR vigentes e, por isso, somente será aceita a utilização de modelos previamente verificados e liberados" a Figura 35 apresenta a lista destes equipamentos.

Fabricante	Modelo	Potência (kWp)
ABB	PVI 12.5-TL-OUTD	12,5
ABB	TRIO 20.0*/27.6* (*-TL-OUTD)	20,0/27,6
Chint Power	CPS SCA 12KTL/20KTL/25KTL	12,0/20,0/25,0
Fronius	Symo 12.5*/15.0*/17.5*/20.0* (*-3-M)	12,5/15,0/17,5/20,0
Fronius	Symo 12.0-3 208-240	12,0
Ginlong	GCI-3K-W (Eólico)	3,0
Ingeteam	Ingecon uWIND 2.5TL/3TL/3.3TL/3.68TL/3.8TL/4.6TL/5TL/6TL (Eólico)	2,5/3,0/3,3/3,68/3,8/4,6/5,0/6,0
Power-One	Aurora Trio-20.0TL-OUTD/Trio-27.6TL-OUTD	20,0/27,6
Schneider	Conext TL 15000E/20000E	15,0/20,0

Figura 35 - Relação de inversores homologados na COPEL
Fonte: COPEL (2015).

Observa-se na lista que os equipamentos com maiores potências têm na nomenclatura as letras TL, isso quer dizer que utilizam a tecnologia sem transformador (*Transformerless*), desta forma, a escolha esta restrita a este tipo de arranjo. Entre esses equipamentos dois apresentam a maior potência, o modelo TRIO 27.6-TL-OUTD da fabricante ABB e o modelo Aurora Trio 27.6TL-OUTD da fabricante POWER ONE.

Na Tabela 5 comparam-se os dois inversores e verifica-se que o equipamento da ABB leva uma pequena vantagem em relação ao concorrente, pois as correntes, tanto de entrada quanto saída são maiores, além disso, a eficiência pelo método europeu também é ligeiramente maior.

Tabela 5 - Comparativo de inversores das fabricantes ABB versus POWER-ONE

	ABB	POWER-ONE
SAIDA AC		
Potencia nominal de saída $P_{ac,r}(W)$	27600	27600
Potencia maxima de saída $P_{acmáx}(W)$	30000	30000
Tensão nominal de saída $V_{ac,r}(V)$	400	400
Intervalo de tensão de saída (V)	320...480 ¹	422...528
Conexão de saída	3F(N)+T	3F(N)+T
Frequencia nominal (Hz)	50/60	60
Faixa de frecuencia(Hz)	57...63	57...63
Corrente maxima de fase $I_{acmax}/fase$	45	36
Distorção harmonica de corrente (%)	<3	<3
ENTRADA CC		
N° de MPPT	2	2
Potencia maxima por MPPT $P_{mpptmáx}(W)$	16000	16000
Tensão máxima $V_{ccmax}(V)$	1000	1000
Tensão de conexão $V_{ccstart}(V)$	360(adj 250...500)	360(adj 250...500)
Tensão nominal MPPT á $P_{ac,r}(V)$	500...800V	520...800V
Corrente máxima por MPPT $I_{mpptmáx}(A)$	32	30,9
Corrente máxima $I_{ccmax}(A)$	64	61,8
Corrente de curto circuito maxima por MPPT (A)	40	36
EFICIÊNCIA		
Eficiência maxima (%)	98,2	98,2
Eficiência européia(%)	98,0	97,5

¹o intervalo de tensão pode variar conforme o local

Fonte: Adaptado de ABB, POWER-ONE.

3.7.2 Dimensionamento das Séries (*strings*)

A Figura 36 mostra o diagrama de blocos do inversor da ABB, conforme a tabela 4, a potência máxima que cada MPPT suporta é $P_{mpptmáx} = 16.000 \text{ Wp}$, desta forma, a potência da *string* não pode ultrapassar este valor, tem-se desta forma que por critério de potência pode-se instalar somente 60 módulos por MPPT, conforme Equação 4.

$$n^{\circ} \text{ maxmod} = \frac{P_{mpptmáx}}{P_{mod}} = \frac{16.000}{265} = 60,37 \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

$n^{\circ} \text{ maxmod}$ - é a quantidade máxima de módulos dentro de uma *string* ;

$P_{mpptmáx}$ - potência máxima por MPPT da entrada CC (Wp);

P_{mod} - potência do módulo fotovoltaico (Wp).

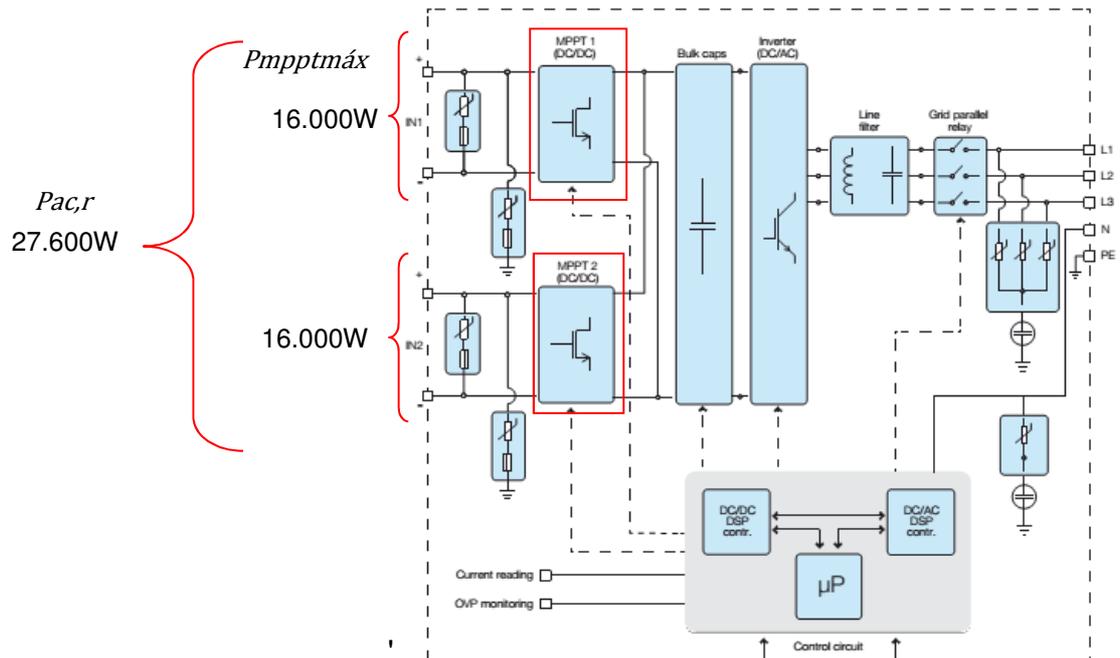


Figura 36 - Diagrama de bloco do inversor TRIO 27.6-TL-OUTD (ABB)
Fonte: ABB (2014).

Segundo Pinho e Galdino (2014, p. 333), o máximo de módulos que deverá ser associado em série deve respeitar a tensão máxima suportada pelo inversor $V_{ccmax} = 1.000 \text{ V}$ dividido pela tensão de circuito aberto do módulo $V_{oc} = 38,14 \text{ V}$, ver Figura 37, além disso, deve-se verificar se a tensão nominal MPPT do inversor é maior que a tensão de potência máxima do $V_{mppt} \text{ (V)}$ vezes o número de módulos, desta calcula-se conforme Equação 5:

$$n^{\circ} \text{ modsérie} = \frac{V_{ccmppt}}{V_{oc}} = \frac{1.000V}{38,14V} = 26,21 \quad \text{Equação 5}$$

$$V_{mp} * n^{\circ} \text{ modsérie} < V_{mppt}(P_{ac,r})$$

$$30,63 \times 26 < 800 \text{ V}$$

$$796,38 \text{ V} < 800 \text{ V}$$

TIPO	JAP6 60-260/3BB	JAP6 60-265/3BB
Potência Nominal Máxima a STC (W)	260	265
Tensão de Circuito Aberto (Voc/V)	37,98	38,14
Tensão de Potência Máxima (Vmp/V)	30,63	30,96
Corrente de Curto Circuito (Isc/A)	9,04	9,10
Corrente de Potência Máxima (Imp/A)	8,49	8,56
Eficiência do Módulo [%]	15,90	16,21
Tolerância da Potência (W)		-0~+5W
Coefficiente de Temperatura de Isc (α_{Isc})		+0.058%/°C
Coefficiente de Temperatura de Voc (β_{Voc})		-0.330%/°C
Coefficiente de Temperatura de Pmax (γ_{Pmp})		-0.430%/°C
STC	Irradiação 1000W/m ² , Temperatura do Módulo 25 C, Massa de Ar 1, 5	

Figura 37 - Parâmetros elétricos do módulo JAP6 60-265/3BB
Fonte: Jasolar (2014).

Da mesma forma, para associação em paralelo a corrente de curto circuito do módulo I_{sc} (A) vezes a quantidade do mesmo deve ser menor que a corrente de curto circuito máxima por MPPT I_{scmppt} (A), conforme Equação 6:

$$I_{sc} \times n^{\circ}modparalelo < I_{scmppt} \quad \text{Equação 6}$$

$$n^{\circ}modparalelo < \frac{40}{9,10} = 4,93$$

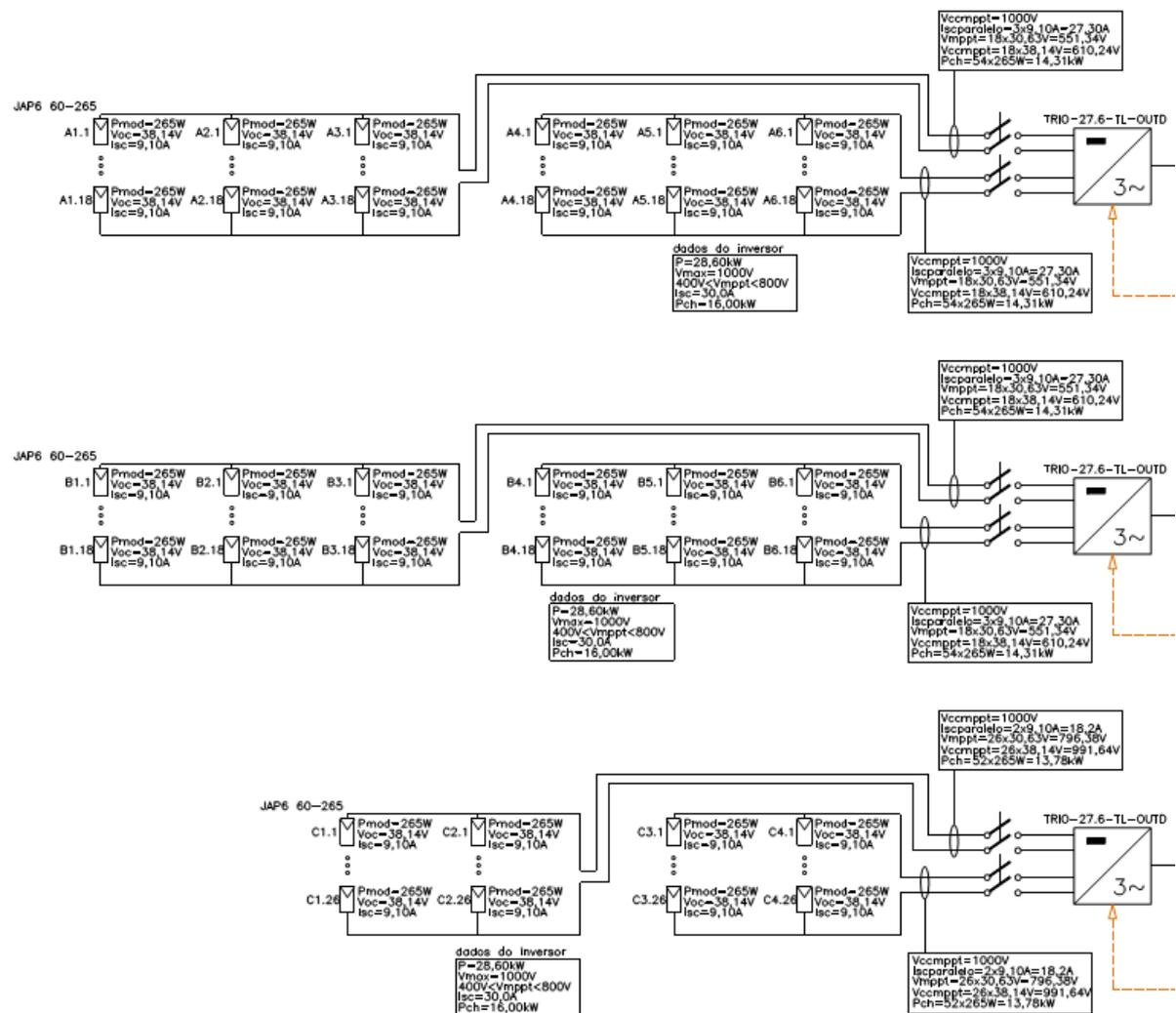


Figura 38 - Diagrama da String
 Fonte: autoria própria.

As *strings* foram arranjadas de tal forma que os 320 módulos fotovoltaicos utilizassem um número mínimo de inversores, visto que é um equipamento caro, conforme a Figura 38, serão utilizados três inversores de 27,6 kVA, de tal forma que em dois as *multi strings* serão composta por dezoito módulos 265 Wp em série e três em paralelo, total de 108 por equipamento sendo 54 por *string*, ficando dentro dos parâmetros pré definidos anteriormente.

Já para o último, terá vinte e seis em série e dois em paralelo no total de 104 sendo 52 por *string*.

3.8 DIMENSIONAMENTO DE CABOS

3.8.1 Dimensionamento dos condutores no lado CC

Uma alternativa a NBR5410 para dimensionamento de condutores CC é apresentada por Urbanetz Jr (2015), de acordo com a Equação 7.

$$S_{cond} = \left(\frac{2 \times l \times P \times 0,0178}{V^2 \times \Delta V} \right) * 100 = \left(\frac{2 \times l \times I \times 0,0178}{V \times \Delta V} \right) * 100 \quad \text{Equação 7}$$

Onde:

l- comprimento do condutor CC (m);

P- Potência total do circuito (Wp);

V- Tensão no Barramento CC (V);

ΔV - Queda de tensão admitida (%);

I- corrente de curto circuito no barramento CC (A).

Considerando que todos os inversores ficarão instalados na área técnica coberta, situada na cobertura, tem-se;

Para o inversor 01 e 02 serão utilizados cabo flexível de cobre com isolamento em EPR 90° #4,0 mm², conforme calculado e apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 – Cálculo dos condutores para o inversor 01 e 02

100	Comprimento do condutor de CC (m)
14.310	Potência total do circuito (W)
610,24	Tensão do barramento CC (V)
4	Queda de tensão admitida (%)
3,4	mm ²
27,3	Corrente total do circuito (A)
4,0	mm ²

Fonte: autoria própria.

Para o inversor 03 serão utilizados cabo flexível de cobre com isolamento em EPR 90° #2,5mm², atendendo as exigência da Norma Brasileira de Instalações

Elétricas de Baixa Tensão (NBR5410), onde os condutores alimentadores deverão ter no mínimo bitola #2,5mm², conforme calculado e apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 - Cálculo dos condutores para o inversor 03

100	Comprimento do condutor de CC (m)
13.780	Potência total do circuito (W)
991,64	Tensão do barramento CC (V)
4	Queda de tensão admitida (%)
1,2	mm ²
18,2	Corrente total do circuito (A)
1,6	mm ²

Fonte: autoria própria.

3.8.2 Dimensionamento do transformador de acoplamento

Como já visto a obrigatoriedade do uso do transformador de acoplamento em geração entre 10 kWp a 500 kWp, ver tabela 03, será utilizado um transformador a seco trifásico 480 V para 220/127 V, frequência 60Hz com isolamento galvânica, e a potência instalada é calculada através Equação 8;

$$S = \frac{P_{inversor}(Wp)}{f.p.inversor} = \frac{27.600Wp}{0,8} = 34,50 \text{ kVA} \quad \text{Equação 8}$$

3.8.3 Dimensionamento dos condutores CA e disjuntor de proteção CA

Na Figura 39 tem-se o diagrama unifilar com o trecho dos inversores até o transformador e deste para o disjuntor.

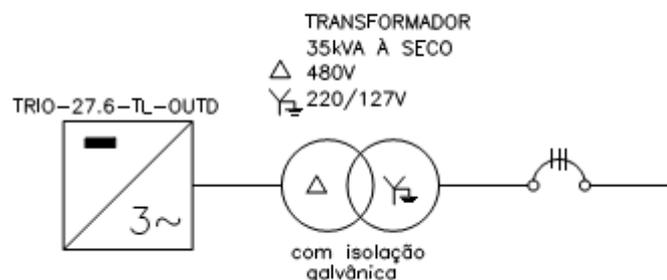


Figura 39 - Circuito CA (saída do inversor)
Fonte: autoria própria.

Em conformidade a NBR5410 o dimensionamento do cabo CA segue as Equações 9, 10 e 11:

$$Ip(A) = \frac{S(VA)}{V*\sqrt{3}} \quad \text{Equação 9}$$

Onde:

Ip - corrente de projeto (A);

S - potencia aparente do transformador;

V - tensão nominal do transformador.

$$Ic(A) = \frac{Ip}{FCT \times FCA} \quad \text{Equação 10}$$

Onde:

Ic - corrente corrigida (A);

FCT - fator de correção de Temperatura, conforme NBR5410, FCT a 65°C no cabo EPR °C é 0,65;

FCA - fator de correção de agrupamento conforme NBR5410, FCA no método E/F é 0,65.

$$\% \Delta V = \frac{L \times \%V \times Ip}{10 \times V} \quad \text{Equação 11}$$

Onde:

$\% \Delta V$ - queda de tensão tem que ser <1%;

L - comprimento do cabo(m);

$\%V$ - queda de tensão unitária do condutor (%);

Ip - corrente do projeto (A);

V - tensão nominal(V).

A Tabela 8 apresenta o dimensionamento dos cabos em seus respectivos trechos,

Tabela 8 - Dimensionamento dos condutores CA

TRECHO	S(VA)	Vn(V)	Ip	FTC	FCA	Ic	L(m)	cabo EPR °90	%V	%ΔV
INV-TRAFO	35000	480	42,10	0,65	1	64,77	10	16mm ²	3,2	0,28
TRATO-QUADRO	35000	220	91,85	0,65	1	141,31	10	50mm ²	0,75	0,31

Fonte: autoria própria.

Para o dimensionamento do disjuntor a jusante do transformador utiliza-se a Equação 12:

$$I_c < I_{disj} < I_{cabo} \quad \text{Equação 12}$$

Onde;

I_c - corrente corrigida (A);

I_{disj} - corrente nominal do disjuntor;

I_{cabo} - máxima corrente que o cabo suporte;

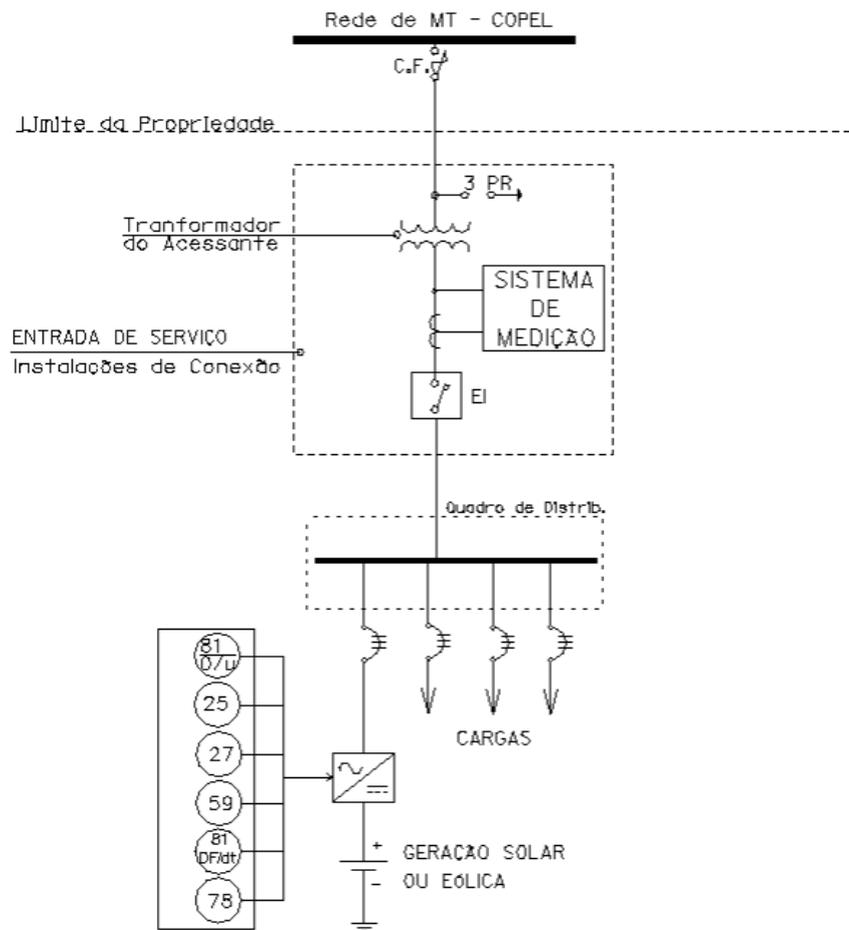
Desta forma temos que;

$$141,31 < I_{disj} < 174$$

A I_{disj} (corrente nominal do disjuntor) que está neste intervalo é de 150 A.

3.9 ACESSO A CONCESSIONÁRIA LOCAL

Segundo a NTC905200 (COPEL, 2012, p. 29) para unidades geradoras classificadas como microgeração, até 100 kWp, deverão apresentar requisitos mínimos conforme a Figura 40.



Legenda:

EI = Elemento de Interrupção (Disjuntor padrão NEMA ou IEC, curva 'C', até 200 A).

M = Medidor de Energia Elétrica Bidirecional (para entradas de serviço com limitador de corrente superior a 100A, a medição será de forma indireta, conforme capítulo 5.6 e Figura 6.21).

Figura 40 - Acesso de micro geração fotovoltaica com uso de inversor
Fonte: COPEL (2012).

O ponto de conexão do sistema com a COPEL é no quadro geral de baixa tensão (QGBT) a jusante da medição, desta forma, para evitar o uso de três disjuntores no QGBT, é necessário um barramento de paralelismo no lado CA dentro do QDPV.

O apêndice mostra o diagrama unifilar geral do sistema elétrico proposto para a loja.

4 CONCLUSÃO

A grande pressão pelo insumo energia elétrica tem pressionado por uma busca incessante por novas tecnologias, mesmo que essas já não sejam novidades em outras partes do mundo, por exemplo, a Alemanha, que apresenta índices de irradiação inferior ao estado do Paraná, onde esta localizada a loja de departamento estudada, mas mesmo assim tem uma grande geração de energia fotovoltaica.

A proposta deste trabalho foi apresentar um SFVCR capaz de atender essa demanda. No sistema proposto foi possível estimar 44,81%, em média, da energia consumida, utilizando 320 módulos fotovoltaicos arranjados em 3 inversores *multistring*, estes estão em paralelo e são conectados ao barramento de baixa tensão a jusante ao transformador, proteção e medição da concessionária.

Esse sistema estudado é capaz de produzir a energia de 308,40 kWh/dia na área de telhado disponível equivalente a 961,24m², porém a energia produzida poderia ter um pequeno ganho se não fossem as premissas do projeto que limita a orientação dos módulos fotovoltaicos com a fachada e não alinhado com a direção norte.

Este trabalho orientará quem tiver interesse nessa fonte limpa de energia e deixará como sugestão para trabalhos futuros o uso do transformador de acoplamento, conforme sugere o PRODIST para necessidade de aterramento do sistema versus a redução do rendimento global que esse equipamento traz ao conjunto. Poderá também ser feito, uma análise de viabilidade econômica e por fim uso de rastreador para aumentar a produtividade do SFVCR.

REFERÊNCIAS

ABB, **Inversor TRIO**, Disponível em: <

<http://www.real-watt.com.br/arquivos/inversores/powerone/trifase/TRIO-20.0-27.6.pdf>

> Acesso em: 29/04/2015

ALMEIDA, Marcelo Pinho. **Qualificação de sistemas fotovoltaicos conectados a rede**, 2012. 156 f. Dissertação de Mestrado em energia - Programa de pós graduação em energia da Universidade de São Paulo. Disponível

em:<http://www.usp.br/iee/Isf/sites/default/files/Mestrado_Marcelo_Pinho_Almeida.pdf

f> Acesso em: 29/04/2015

AGENCIA NACIONAL DAS AGUAS, **Balanco das águas 2013**. 3 ed., 2013.

Brasília, DF, 2013. Disponível

em:<http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/BalancodasAguas/Balanco_da_s_aguas_2013.pdf> Acesso em: 11/10/2014

ANEEL.AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa Nº 414**, de 9 de Setembro de 2010.

ANEEL.AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa Nº 482**, de 17 de Abril de 2012.

ANEEL.AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa. Nº 517**, de 11 de Dezembro de 2012. revisão 05

AJNA SOLAR, **Energia solar fotovoltaica**. Disponível em:<

<http://www.ajnasolar.com.br/residencial/>> Acesso em: 21/04/2015

BORBA, Julia. Aneel muda reajuste da copel e cliente tera conta de luz 23,89% mais cara. Folha de São Paulo, Brasília, 22 jul. 2014. Disponível

em:<<http://www1.folha.uol.com.br/mercado/2014/07/1489492-aneel-muda-reajuste-da-copel-e-cliente-tera-conta-de-luz-238-mais-cara.shtml>> Acesso em: 10/01/2015

COPEL, Companhia Paranaense de Energia. **NTC 905100**, de Fevereiro de 2014.

COPEL, Companhia Paranaense de Energia. **Inversor para sistemas de energia fotovoltaica acima de 10kW e demais inversores para outra fontes de energia** Disponível

em:<<http://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Froot%2Fpagcopel2.nsf%2Fdocs%2FB57635122BA32D4B03257B630044F656?OpenDocument&secao=Distribuicao>> Acesso em 29 maio 2015

COPEL, Companhia Paranaense de Energia. **Preço tarifa Copel A4 comercial horossazonal verde** Disponível

em:<<http://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Froot%2Fpagcopel2.nsf%2F5d546c6fdeabc9a103257100064b22e%2F0a363cf546237cc203257488005939ce>> Acesso em 22/06/2015

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, **Balanco energético nacional relatório síntese ano base 2014**. Rio de Janeiro, RJ, 2014. Disponível em:<

https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final_2015_Web.pdf>Acesso em: 21/09/2015

ENERGIAS BIENES COMUNES, **SpectrolabRecord de Eficiencia Para Paneles Solares Sin Concentrador**, Disponível

em:<<http://www.energias.bienescomunes.org/2013/04/10/spectrolab-record-de-eficiencia-para-paneles-solares-sin-concentrador/>>Acesso em: 22/06/2015

ENERPOINT, **La Célula fotovoltaica**, Disponível

em:<http://www.enerpoint.es/photovoltaic_technology_2.php> Acesso em 05/01/2015

GIL, Antonio Carlos. **Como Elaborar Projetos De Pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

PINHO, João T.; GALDINO, Marco A.; Grupo de Trabalho de Energia Solar (GTES). CEPEL - GTES. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro, 2014, 529 p.

JASOLAR, **JAP6 Módulo de Silício Policristalino**, Disponível em:<<http://www.real-watt.com.br/pdf/260-265.pdf>> Acesso em 21/04/2015

LISITA, O. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede: Estudo de caso – 3 kWp instalados no estacionamento do IEE-SP**. São Paulo: USP, 2005. 87 p. Tese (Mestrado) – Instituto de Física, Programa de Mestrado em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

MARCONI, Marina de A.; LAKATOS, Eva M. **Técnicas de Pesquisa: planejamento e execução de pesquisas; amostragens e técnicas de pesquisa; elaboração, análise e interpretação de dados**. 7 ed. São Paulo: Editora Atlas, 2012.

PEREIRA, Enio Bueno; MARTINS, Fernando Ramos; de AREU, Samuel Luna; RÜTHER, Ricardo. **ATLAS BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR**. São José dos Campos, SP. 2006

POWER-ONE, **Power One Aurora Trio 27.6 TI**, Disponível em: <http://www.thepowerstore.com/datasheets/PowerOne/trio-20.0_27.6-tl-us.pdf> Acesso em: 29/04/2015

PORTAL SOLAR, **Quanto Custa A Energia Fotovoltaica No Brasil**, Disponível em: <<http://www.portalsolar.com.br/quanto-custa-a-energia-solar-fotovoltaica.html>>
> Acesso em: 22/06/2015

PORTAL ENERGIA, **Energia Fotovoltaica Manual Sobre Tecnologias, Projectos e Instalação**, Disponível em: <<http://www.portal-energia.com/downloads/guia-tecnico-manual-energia-fotovoltaica.pdf>>
> Acesso em: 22/06/2015

RÜTHER, Ricardo. **Edifícios Solares Fotovoltaicos**. UFSC. 2004.

TIEPOLO, G.; CANGIOLIERI, O.; URBANETZ, J.; VIANA, T.; PEREIRA, E. B. , **Comparação entre o potencial de geração fotovoltaica no estado do Paraná com Alemanha, Itália e Espanha**, V Congresso Brasileiro de Energia Solar – V CBENS, Recife, 2014;

TIEPOLO, Gerson Máximo, **Estudo do Potencial de Geração de Energia Elétrica Através de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede no Estado do Paraná**. PUC-PR, 2015. 230 p. Tese (Doutorado) - Programa de pós graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, Pontifícia Universidade Católica Do Paraná, Curitiba, 2015.

URBANETZ JR, Jair, **Apostila de Projetos de Sistemas Fotovoltaicos do Curso de Especialização em Energias Renováveis**, UTFPR, 2015.

VALLÊRA, A. M., **Meio Século de História Fotovoltaica**. Gazeta de física, Campo Grande, v.29, 2007

APÊNDICE

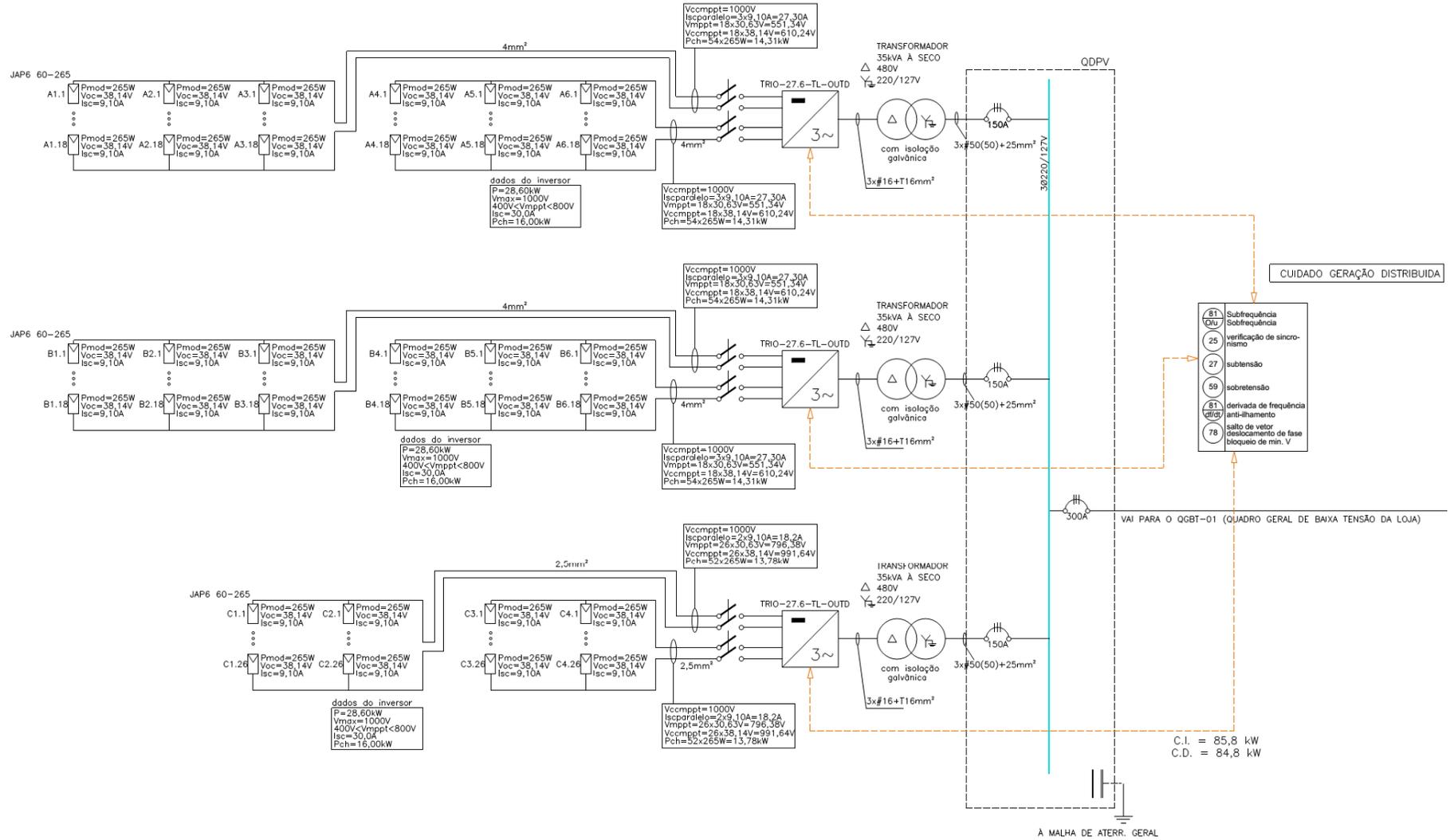


Figura 41 - Diagrama unifilar geral

ANEXOS

Solar inverters

ABB string inverters

TRIO-20.0/27.6-TL-OUTD

20 to 27.6 kW



The three-phase commercial inverter offers more flexibility and control to installers who have large installations with varying aspects or orientations.

The dual input section containing two, independent Maximum Power Point Tracking (MPPT), allows optimal energy harvesting from two sub-arrays oriented in different directions.

The TRIO features a high speed and precise MPPT algorithm for real power tracking and improved energy harvesting.

High efficiency at all output levels

Flat efficiency curves ensure high efficiency at all output levels ensuring consistent and stable performance across the entire input voltage and output power range.

This device has an efficiency rating of up to 98.2%.

The very wide input voltage range makes the inverter suitable for installations with reduced string size.

In addition to its new look, this inverter has new features including a special built-in heat sink compartment and front panel display system. The unit is free of electrolytic capacitors, leading to a longer product lifetime.

Highlights of the improved design – first time shown at Intersolar 2014

- True three-phase bridge topology for DC/AC output converter
- Transformerless topology
- Each inverter is set on specific grid codes which can be selected in the field
- Detachable wiring box to allow an easy installation
- Wide input range
- 'Electrolyte-free' power converter to further increase the life expectancy and long term reliability

Power and productivity
for a better world™



Additional highlights

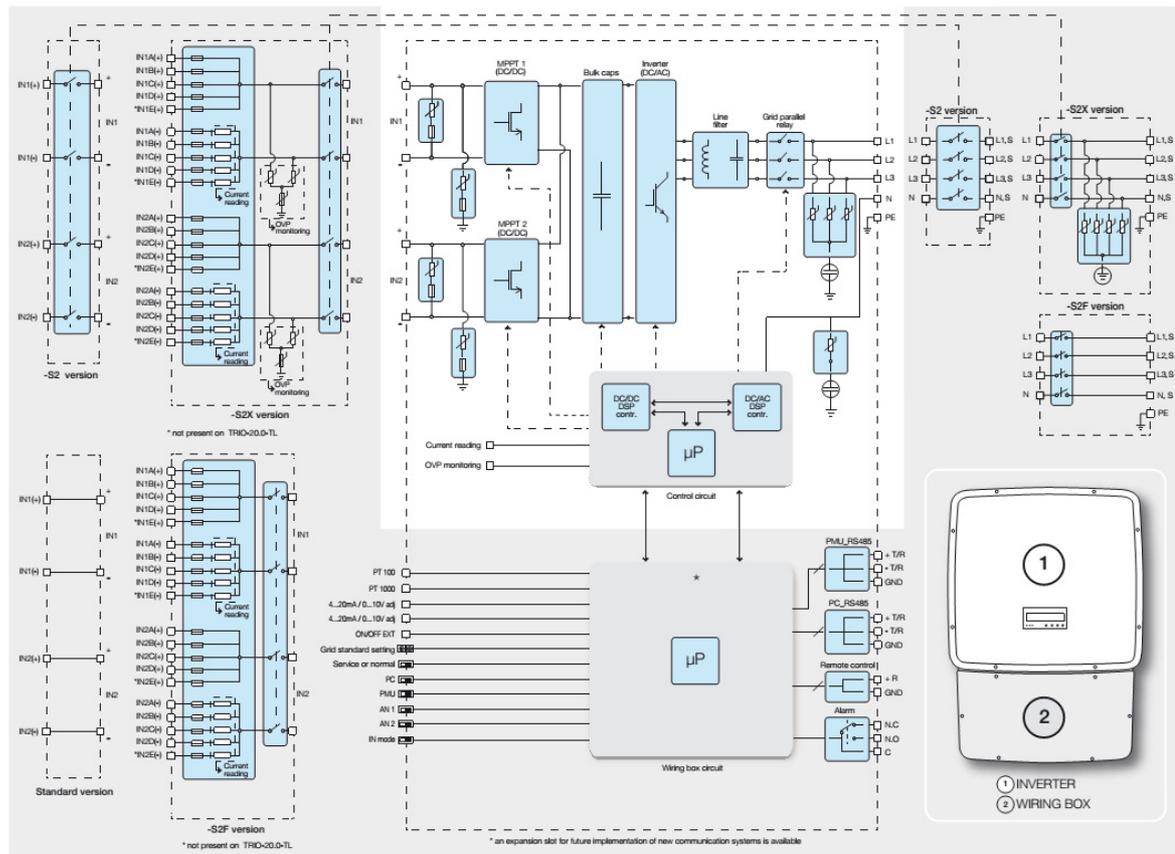
- Integrated string combiner with different options of configuration which include DC and AC disconnect switch in compliance with international standards (-S2, -S2F and -S2X versions)
- Natural convection cooling for maximum reliability
- Outdoor enclosure for unrestricted use under any environmental conditions
- Capability to connect external sensors for monitoring environmental conditions
- Availability of auxiliary DC output voltage (24V, 300mA)



Technical data and types

Type code	TRIO-20.0-TL-OUTD	TRIO-27.6-TL-OUTD
Input side		
Absolute maximum DC input voltage ($V_{max,abs}$)	1000 V	
Start-up DC input voltage (V_{start})	360 V (adj. 250...500 V)	
Operating DC input voltage range ($V_{dc,min}...V_{dc,max}$)	0.7 x $V_{start}...950$ V	
Rated DC input voltage ($V_{dc,r}$)	620 V	
Rated DC input power ($P_{dc,r}$)	20750 W	28600 W
Number of independent MPPT	2	
Maximum DC input power for each MPPT ($P_{MPPT,max}$)	12000 W	16000 W
DC input voltage range with parallel configuration of MPPT at P_{ref}	440...800 V	500...800 V
DC power limitation with parallel configuration of MPPT	Linear derating from max to null [800V≤ V_{MPPT} ≤950V]	
DC power limitation for each MPPT with independent configuration of MPPT at $P_{dc,r}$, max unbalance example	12000 W [480V≤ V_{MPPT} ≤800V] the other channel: $P_{dc,r}$ -12000W [350V≤ V_{MPPT} ≤800V]	16000 W [500V≤ V_{MPPT} ≤800V] the other channel: $P_{dc,r}$ -16000W [400V≤ V_{MPPT} ≤800V]
Maximum DC input current ($I_{dc,max}$) / for each MPPT ($I_{MPPT,max}$)	50.0 A / 25.0 A	64.0 A / 32.0 A
Maximum input short circuit current for each MPPT	30.0 A	
Number of DC inputs pairs for each MPPT	1 (4 in -S2X and -S2F Versions)	1 (6 in -S2X and -S2F Versions)
DC connection type	Tool Free PV connector WM / MC4 (Screw terminal block on standard and -S2 versions)	
Input protection		
Reverse polarity protection	Inverter protection only, from limited current source, for standard and -S2 versions, and for fused versions when max 2 strings are connected	
Input over voltage protection for each MPPT - varistor	2	
Input over voltage protection for each MPPT - plug in modular surge arrester (-S2X version)	3 (Class II)	
Photovoltaic array isolation control	According to local standard	
DC switch rating for each MPPT (version with DC switch)	40 A / 1000 V	
Fuse rating (versions with fuses)	15 A / 1000 V	
Output side		
AC grid connection type	Three phase 3W or 4W+PE	
Rated AC power ($P_{ac,r}$ @ $\cos\phi=1$)	20000 W	27600 W
Maximum AC output power ($P_{ac,max}$ @ $\cos\phi=1$)	22000 W ⁽³⁾	30000 W ⁽⁴⁾
Maximum apparent power (S_{max})	22200 VA	30000 VA
Rated AC grid voltage ($V_{ac,r}$)	400 V	
AC voltage range	320...480 V ⁽¹⁾	
Maximum AC output current ($I_{ac,max}$)	33.0 A	45.0 A
Contributory fault current	35.0 A	
Rated output frequency (f_r)	50 Hz / 60 Hz	
Output frequency range ($f_{min}...f_{max}$)	47...53 Hz / 57...63 Hz ⁽²⁾	
Nominal power factor and adjustable range	> 0.995, adj. ± 0.9 with $P_{dc,r}=20.0$ kW, ± 0.8 with max 22.2 kVA	> 0.995, adj. ± 0.9 with $P_{dc,r}=27.6$ kW, ± 0.8 with max 30 kVA
Total current harmonic distortion	< 3%	
AC connection type	Screw terminal block, cable gland PG36	
Output protection		
Anti-islanding protection	According to local standard	
Maximum AC overcurrent protection	34.0 A	46.0 A
Output overvoltage protection - varistor	4	
Output overvoltage protection - plug in modular surge arrester (-S2X version)	4 (Class II)	
Operating performance		
Maximum efficiency (η_{max})	98.2%	
Weighted efficiency (EURO/CEC)	98.0% / 98.0%	
Feed in power threshold	40 W	
Stand-by consumption	< 8W	

Block diagram of TRIO-20.0/27.6-TL-OUTD



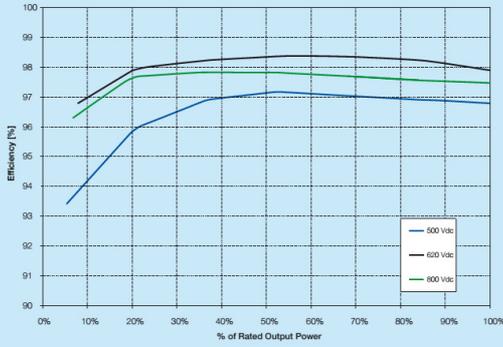
Technical data and types

Type code	TRIO-20.0-TL-OUTD	TRIO-27.6-TL-OUTD
Communication		
Wired local monitoring	PVI-USB-RS232_485 (opt.)	
Remote monitoring	VSN300 Wifi Logger Card [®] (opt.), PVI-AEC-EVO (opt.), VSN700 Data Logger (opt.)	
Wireless local monitoring	VSN300 Wifi Logger Card [®] (opt.)	
User interface	Graphic display	
Environmental		
Ambient temperature range	-25...+60°C / -13...140°F with derating above 45°C/113°F	
Relative humidity	0...100% condensing	
Noise emission	< 50 dB(A) @ 1 m	
Maximum operating altitude without derating	2000 m / 6560 ft	
Physical		
Environmental protection rating	IP 65	
Cooling	Natural	
Dimension (H x W x D)	1061 mm x 702 mm x 292 mm/ 41.7" x 27.6" x 11.5"	
Weight	< 70.0 kg / 154.3 lb (Standard version)	< 75.0 kg / 165.4 lb (Standard version)
Mounting system	Wall bracket	
Safety		
Isolation level	Transformerless	
Marking	CE (50 Hz only)	
Safety and EMC standard	EN 50178, EN62109-1, EN62109-2, AS/NZS3100, AS/NZS 60950, EN61000-6-2, EN61000-6-3, EN61000-3-11, EN61000-3-12	
Grid standard (check your sales channel for availability)	CEI 0-21, CEI 0-16, VDE 0126-1-1, VDE-AR-N 4105, G59/3, C10/11, EN 50438 (not for all national appendices), RD1699, RD 1565, AS 4777, BDEW, ABNT NBR 16149, NRS-097-2-1, CLC/FprTS 50549, PEA, MEA	
Available products variants		
Standard	TRIO-20.0-TL-OUTD-400	TRIO-27.6-TL-OUTD-400
With DC+AC switch	TRIO-20.0-TL-OUTD-S2-400	TRIO-27.6-TL-OUTD-S2-400
With DC+AC switch and fuse	TRIO-20.0-TL-OUTD-S2F-400	TRIO-27.6-TL-OUTD-S2F-400
With DC+AC switch, fuse and surge arrester	TRIO-20.0-TL-OUTD-S2X-400	TRIO-27.6-TL-OUTD-S2X-400

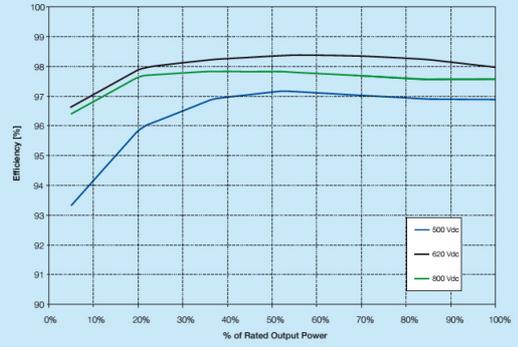
- The AC voltage range may vary depending on specific country grid standard
- The Frequency range may vary depending on specific country grid standard
- Limited to 20000 W for Germany
- Limited to 27600 W for Germany
- Check availability before to order

Remark. Features not specifically listed in the present data sheet are not included in the product

Efficiency curves of TRIO-20.0-TL-OUTD



Efficiency curves of TRIO-27.6-TL-OUTD



BCD.00379 Rev. A EN 20.05.2014

Support and service

ABB supports its customers with dedicated, global service organization in more than 60 countries and strong regional and national technical partner networks providing complete range of life cycle services.

For more information please contact your local ABB representative or visit:

www.abb.com/solarinverters

www.abb.com

© Copyright 2014 ABB. All rights reserved. Specifications subject to change without notice.





JA Solar Holdings Co., Ltd.

A JA Solar Holdings Co., Ltd. é um fabricante líder mundial de produtos fotovoltaicos de alto desempenho que convertem a luz do sol em eletricidade para a geração de energia elétrica em escala de produtos básicos para residências e comerciais. A empresa foi fundada em 18 de maio de 2005 e foi listada na NASDAQ em 7 de fevereiro de 2007. A JA Solar é uma das maiores produtoras mundiais de módulos e células solares. Sua oferta de produtos padrão e de alta eficiência estão entre os mais potentes e de melhor relação custo-benefício na indústria.

End : NO.36, Jiang Chang San Road, Zhabei, Shanghai 200436, China
 Tel : +86 21 6095 5888 / +86 21 6095 5999
 Fax : +86 21 6095 5858 / +86 21 6095 5959
 Email: sales@jasolar.com market@jasolar.com

Real Solar Ltda.

A Real Solar Ltda é a representante exclusiva dos products JA Solar no Brasil.

End : Av. Rudson Raimundo Honorio Lisboa nº616
 CEP 59.173-100 Centro,Goianinha/RN-Brasil
 End : Av. Prudente De Moraes nº1326,L.1
 CEP 59.020-510 Tirol,Natal/RN-Brasil
 Tel : +55 84 2030 2444
 Email: info@real-solar.com
 CNPJ: 15.237.994/0001-31

Garantia Superior

- Garantia do produto de 10 anos
- Garantia de saída de força linear há 25 anos



www.jasolar.com www.real-solar.com

JA SOLAR 

JAP6

60/260-265/3BB

MÓDULO DE SILÍCIO POLICRISTALINO

Recursos chave



Módulos policristalino desenhados para aplicações residenciais, comerciais e serviços de utilidades públicas, e montagem em tetos ou terrenos



Eficiência de conversão máxima 16,21%, alto rendimento



Destinada para aplicações IEC CC 1000V



A superfície à prova de sujeira e antirreflexiva reduz a perda de potência pela sujeira e poeira



Desempenho excepcional em ambientes de irradiação com luz baixa



Excelente resistência carga mecânica: Certificada para suportar altas cargas de vento (2400Pa) e cargas de neve (5400Pa)



Alta resistência ao sal e amônia certificada pela TÜV NORD

Qualidade confiável

- Tolerância positiva de potência: 0~+5W
- A dupla inspeção EL 100% garante que os módulos sejam livres de defeito
- Módulos divididos pela corrente para melhorar o desempenho do sistema
- Resistente à Degradação Potencial Induzida (PID)

Certificados abrangentes

- Certificação INMETRO
- IEC 61215, IEC 61730, UL1703, CEC, MCS e CE
- ISO 9001:2008: Sistemas de gerenciamento da qualidade
- ISO 14001:2004: Sistemas de gerenciamento ambiental
- BS OHSAS 18001:2007: Sistemas de gerenciamento de segurança e saúde ocupacional
- Política ambiental: A primeira empresa solar na China a completar o programa de avaliação da pegada de carbono da Intertek e receber a verificação da marca de folha verde para nossos produtos



Especificações sujeitas a modificações técnicas e testes. A JA Solar reserva-se o direito de interpretação final.