

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA  
CATARINA

FÁBIO HENRIQUE RIBEIRO

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA NO  
CAMPUS JOINVILLE

JOINVILLE

2019

FÁBIO HENRIQUE RIBEIRO

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA NO  
CAMPUS JOINVILLE

Monografia apresentada ao Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial do campus Joinville do Instituto Federal de Santa Catarina, como parte dos requisitos para a obtenção do diploma de Tecnólogo em Mecatrônica Industrial.

Orientador: Professor  
Stefano Romeu Zeplin, Me.

JOINVILLE

2019

Ribeiro, Fábio Henrique.

Avaliação do Potencial de Geração de Energia Fotovoltaica no Campus Joinville / Fábio Henrique Ribeiro – Joinville, SC, 2019.  
83 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial, Joinville, 2019.  
Orientador: Stefano Romeu Zeplin.

1. Energia. 2. Fotovoltaica. 3. Solar. I. Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Santa Catarina. II. Avaliação do Potencial de Geração de Energia Fotovoltaica no Campus Joinville.

FÁBIO HENRIQUE RIBEIRO

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA NO  
CAMPUS JOINVILLE

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Tecnólogo em Mecatrônica Industrial, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, e aprovado na sua forma final pela comissão avaliadora abaixo indicada.

Joinville, 12 de Dezembro de 2019.

---

Prof. Stefano Romeu Zeplin, Me.

Orientador

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Santa Catarina

---

Prof. Rubens Tadeu Hock Júnior, Me.

Orientador

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Santa Catarina

---

Prof. Edson Hiroshi Watanabe, Dr.

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Santa Catarina



## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à Deus pelas pessoas e oportunidades que colocou em minha vida, especialmente meus pais Ronita e João pelo apoio incondicional durante os inúmeros desafios da graduação. Agradeço a todos os professores e colegas do IFSC campus Joinville que de alguma forma colaboraram com meu crescimento pessoal e acadêmico. Ao professor Stefano Romeu Zeplin, agradeço pelas horas dedicadas no aconselhamento e orientação deste trabalho.



**“A persistência é o menor caminho do êxito”. (Charles Chaplin)**



## RESUMO

Na sociedade moderna, a busca incessante pelo desenvolvimento tecnológico resultou numa enorme demanda por energia limpa, renovável e sustentável afim de proteger os recursos naturais para as gerações futuras. A energia fotovoltaica pode ser uma solução para o problema, pois é gerada com pouco impacto ambiental através de fonte inesgotável e com total disponibilidade.

O presente projeto propõe uma análise do potencial de geração de energia fotovoltaica do Instituto Federal de Santa Catarina, IFSC, campus Joinville. Primeiramente foi feita uma revisão bibliográfica sobre o tema, apontando os principais meios de produção de energia elétrica atualmente disponíveis e ponderados os pontos positivos e negativos de cada um deles. Foram analisados os telhados de todos os blocos do campus, apontando os principais pontos de interesse. Os dados obtidos, foram comparados com o perfil de consumo do campus no período de um ano, afim de verificar a viabilidade teórica do suprimento de energia através de um sistema gerador próprio. Como resultado, foram identificadas áreas com potencial de geração suficiente para suprir o consumo do campus durante o ano todo.

Palavras-Chave: Energia. Fotovoltaica. Solar. Sustentabilidade.

## **ABSTRACT**

In a modern society, the relentless pursuit of technological development has resulted in a huge demand for clean, renewable and sustainable energy to protect natural resources for future generations. Photovoltaic power can be a solution to the problem as it is produced with little or no environmental impact through inexhaustible source and with full availability.

This project proposes an analysis of the photovoltaic power generation potential of the Federal Institute of Santa Catarina, IFSC, Joinville campus.

First, a bibliographic review was made on this subject, showing the main means of electricity production currently available and considering the positive and negative points of each one. It was discussed throughout the text the present and future relevance of energy generation through sources, mainly solar. The roofs of all campus buildings were analyzed, showing the main points of interest. The results were compared with the campus electrical consumption profile over a period of one year, in order to verify the theoretical viability of the energy supply through its own generator system. As a result, areas with sufficient generation potential have been identified to keep the campus electrical consumption throughout the year.

Keywords: Energy. Photovoltaic. Solar. Sustainability.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Efeito fotovoltaico na junção pn.....	22
Figura 2 – Efeito fotovoltaico em uma placa de silício.....	23
Figura 3 – Modelo doméstico de geração de energia fotovoltaica isolado .....	25
Figura 4 – Modelo doméstico de geração de energia fotovoltaica ligado à rede .....	26
Figura 5 – Arranjo estrutural de um sólido .....	26
Figura 6 – Célula monocristalina .....	27
Figura 7 – Célula policristalina .....	28
Figura 8 – Diagrama de um inversor .....	31
Figura 9 – Diagrama de um inversor On Grid .....	32
Figura 10 – Diagrama de um inversor Off Grid .....	33
Figura 11 – Independência de um micro inversor.....	34
Figura 12 – Opções de aplicação para um sistema SPPM.....	38
Figura 13 – Topologia de um sistema centralizado .....	39
Figura 14 – Topologia de um sistema descentralizado.....	39
Figura 15 – Índice de irradiação solar global horizontal média de SC.....	40
Figura 16 – Localização do campus do IFSC em Joinville .....	41
Figura 17 – Pontos de análise solarimétrica do Brasil.....	42
Figura 18 – Pontos de análise solarimétrica de Santa Catarina .....	43
Figura 19 – Dados solarimétricos interpolados de Joinville .....	44
Figura 20 – Tela principal com informações carregadas .....	44
Figura 21 – Gráfico de irradiação x tempo .....	45
Figura 22 – Gráfico de barras de irradiação média em Joinville .....	45
Figura 23 – Tabela de irradiação média em Joinville .....	46
Figura 24 – Estacionamento .....	47
Figura 25 – Modelo de estacionamento coberto.....	48
Figura 26 – Dimensões do estacionamento coberto sugerido .....	49
Figura 27 – Visão geral do bloco 1 .....	53
Figura 28 – Vista tridimensional da área A1 .....	54
Figura 29 – Comparativo entre o projeto da área B1 e o que foi construído .....	56
Figura 30 – Vista tridimensional da área C1.....	56
Figura 31 – Bloco 2.....	58
Figura 32 – Vista tridimensional do telhado da área A2 .....	58
Figura 33 – Vista tridimensional do telhado da área B2 .....	60
Figura 34 – Bloco 3.....	61
Figura 35 – Representação da vista superior do telhado do bloco 3 .....	62
Figura 36 – Representação da vista lateral cortada ao meio do telhado na área A2.....	63
Figura 37 – Bloco 5.....	65
Figura 38 – Representação da vista superior do telhado do bloco 5 .....	65
Figura 39 – Vista lateral cortada ao meio do telhado na área A5 .....	66
Figura 40 – Gráfico do potencial de geração de energia fotovoltaica no campus .....	72
Figura 41 – Consumo mensal x potencial do bloco 2 .....	74
Figura 42 – Consumo mensal x potencial do estacionamento.....	75
Figura 43 – Percentual do suprimento de energia mensal .....	76

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Eficiência das principais células fotovoltaicas fabricadas em laboratório	23
Tabela 2 – Comparação de área ocupada x Wp gerado através de várias tecnologias .....	24
Tabela 3 – Comparação de placas fotovoltaicas de 10 W até 90 W .....	29
Tabela 4 – Comparação de placas fotovoltaicas de 140 W até 255 W .....	29
Tabela 5 – Comparação de placas fotovoltaicas de 265 W até 275 W .....	30
Tabela 6 – Comparação de placas fotovoltaicas de 305 W até 320 W .....	30
Tabela 7 – Potencial de geração anual da área A do estacionamento .....	50
Tabela 8 – Potencial de geração anual da área B do estacionamento .....	51
Tabela 9 – Potencial de geração anual da área D do estacionamento .....	52
Tabela 10 – Potencial de geração anual da área A1 do bloco 1 .....	55
Tabela 11 – Potencial de geração anual da área C1 do bloco 1 .....	57
Tabela 12 – Potencial de geração anual da área A2 do bloco 2 .....	59
Tabela 13 – Potencial de geração anual da área B2 do bloco 2 .....	61
Tabela 14 – Potencial de geração anual da área A3 do bloco 3 .....	63
Tabela 15 – Potencial de geração anual da área A5 do bloco 5 .....	67
Tabela 16 – Soma das médias mensais do estacionamento .....	69
Tabela 17 – Soma das médias mensais do bloco 1 .....	70
Tabela 18 – Soma das médias no bloco 2 .....	70
Tabela 19 – Médias mensais do bloco 3 e 4 .....	71
Tabela 20 – Médias mensais do bloco 5 e 6 .....	71
Tabela 21 – Consumo mensal total faturado do campus em um ano .....	73
Tabela 22 – Comparação de custos de aquisição de placas fotovoltaicas Canadian Solar CS6X – 320P .....	76

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANEEL – Agencia Nacional de Energia Elétrica

CELESC –Centrais Elétricas de Santa Catarina

IFSC – Instituto Federal de Santa Catarina

Inpe – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

SPPM – Seguidor de Ponto de Potência Máximo

URGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	17
1.1	JUSTIFICATIVA.....	18
1.2	OBJETIVOS .....	18
1.2.1	<b>Objetivo Geral</b> .....	18
1.2.2	<b>Objetivos Específicos</b> .....	18
2	METODOLOGIA.....	20
3	REFERENCIAL TEÓRICO .....	21
3.1	ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA .....	21
3.2	<b>SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA</b> .....	24
3.2.1	<b>Sistema Isolado</b> .....	24
3.2.2	<b>Sistema Conectado à Rede</b> .....	25
3.3	PAINÉIS SOLARES, CONFIGURAÇÕES E OPÇÕES COMERCIAIS .....	26
3.3.1	<b>Célula Fotovoltaica de Silício Monocristalino (m-Si)</b> .....	27
3.3.2	<b>Célula fotovoltaica de Silício Policristalino (p-Si)</b> .....	27
3.3.3	<b>Opções comerciais</b> .....	28
3.4	INVERSORES .....	31
3.4.1	<b>Inversor On Grid</b> .....	31
3.4.2	<b>Inversor Off Grid</b> .....	33
3.4.3	<b>Micro Inversor</b> .....	33
3.5	BATERIAS, CONFIGURAÇÕES E APLICAÇÕES .....	34
3.6	CONTROLADORES DE CARGA .....	35
3.7	DISPOSITIVO SEGUIDOR DE PONTO DE POTENCIA MÁXIMA (SPPM) .....	36
3.8	TOPOLOGIA DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS .....	38
3.8.1	<b>Configuração de um Sistema Centralizado</b> .....	38
3.8.2	<b>Configuração de um Sistema Descentralizado</b> .....	39
4	DESENVOLVIMENTO .....	40
4.1	POTENCIAL FOTOVOLTAICO DO ESTADO DE SANTA CATARINA.....	40
4.1.2	<b>Potencial Fotovoltaico da Cidade de Joinville</b> .....	41
4.2	ANÁLISE DO POTENCIAL FOTOVOLTAICO DO IFSC CAMPUS JOINVILLE ...	47
4.2.1	<b>Análise do Potencial Fotovoltaico do Estacionamento</b> .....	47
4.2.1.2	<b>Análise do Potencial Fotovoltaico da Área A</b> .....	48
4.2.1.3	<b>Análise do Potencial Fotovoltaico da Área B</b> .....	50

<b>4.2.1.4</b>	<b>Análise do Potencial Fotovoltaico da Área C</b>	<b>51</b>
<b>4.2.1.5</b>	<b>Análise do Potencial Fotovoltaico da Área D</b>	<b>52</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Análise do Potencial Fotovoltaico do Bloco 1</b>	<b>53</b>
<b>4.2.2.1</b>	<b>Análise do Potencial Fotovoltaico da Área A1</b>	<b>53</b>
<b>4.2.2.2</b>	<b>Análise do Potencial Fotovoltaico da Área B1</b>	<b>55</b>
<b>4.2.2.3</b>	<b>Análise do Potencial Fotovoltaico da Área C1</b>	<b>56</b>
<b>4.2.3</b>	<b>Análise do Potencial Fotovoltaico do Bloco 2</b>	<b>57</b>
<b>4.2.3.1</b>	<b>Análise do Potencial Fotovoltaico da Área A2</b>	<b>58</b>
<b>4.2.3.2</b>	<b>Análise do Potencial Fotovoltaico da Área B2</b>	<b>60</b>
<b>4.2.4</b>	<b>Análise do Potencial Fotovoltaico do Bloco 3</b>	<b>61</b>
<b>4.2.5</b>	<b>Análise do Potencial Fotovoltaico do Bloco 4</b>	<b>64</b>
<b>4.2.6</b>	<b>Análise do Potencial Fotovoltaico do Bloco 5</b>	<b>64</b>
<b>4.2.7</b>	<b>Análise do Potencial Fotovoltaico do Bloco 6</b>	<b>67</b>
<b>5</b>	<b>ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</b>	<b>68</b>
<b>5.1</b>	<b>ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS NO ESTACIONAMENTO</b>	<b>68</b>
<b>5.2</b>	<b>ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS NOS BLOCOS 1 E 2</b>	<b>69</b>
<b>5.3</b>	<b>ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS NOS BLOCOS 3 E 4</b>	<b>70</b>
<b>5.4</b>	<b>ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS NOS BLOCOS 5 E 6</b>	<b>71</b>
<b>5.5</b>	<b>COMPARAÇÃO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA ENTRE AS ÁREAS ANALISADAS</b>	<b>71</b>
<b>5.6</b>	<b>COMPARAÇÃO DA ENERGIA ELÉTRICA FOTOVOLTAICA COM O CONSUMO MENSAL DO CAMPUS</b>	<b>73</b>
<b>5.7</b>	<b>ANÁLISE PARCIAL DO CUSTO DE AQUISIÇÃO DE PLACAS SOLARES PARA AS ÁREAS DE MAIOR POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA.</b>	<b>77</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>78</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>79</b>
	<b>ANEXO A – PLACA SOLAR CANADIAN CS6X – 320P</b>	<b>83</b>





## 1 INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento da tecnologia ao longo do tempo, houve um aumento da demanda pela produção de energia no mundo. A invenção da lâmpada, do motor elétrico e crescentes tecnologias trouxeram agilidade e conforto para a realização das mais diversas tarefas rotineiras, e com isso um crescimento proporcional do consumo de energia elétrica tanto no âmbito industrial quanto doméstico.

De acordo com dados publicados pelo Ministério de Minas e Energia do Governo Federal, a produção hidráulica ou seja, produção de eletricidade por usinas hidrelétricas, em 2016 equivalia a 67,5% da geração total de energia elétrica no território nacional (BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL, 2017). O Brasil é um país que possui uma enorme capacidade hidrográfica, o que facilita a implementação de grandes sistemas de geração de energia hidráulica como a Hidrelétrica Binacional de Itaipu.

Para a construção de uma usina hidrelétrica é necessário uma série de ações com enorme impacto ambiental, como o desmatamento das margens do rio para fazer o canteiro de obras, a construção de toda infraestrutura de alojamentos, refeitórios, estradas e etc. O desvio do rio para a secagem do leito onde será construída a barragem e após isso o alagamento da área de represa que é de proporções gigantescas. (A HISTÓRIA DA MAIOR HIDRELÉTRICA DO MUNDO, 2019). Todo esse impacto não é apenas local e momentâneo mas tem consequências por décadas na fauna, flora e nas comunidades ribeirinhas que dependem do ecossistema em torno do rio para a sobrevivência.

Uma alternativa para a produção de energia elétrica sustentável e renovável é através do aproveitamento da energia gerada pelo sol, que indiretamente já é a origem de toda a energia disponível na Terra. Entre outros exemplos, é a energia do sol que propicia a evaporação dando origem ao ciclo da água (energia hidráulica), é também papel fundamental na origem dos ventos (energia eólica) que se formam pela conversão da radiação solar em energia cinética (CRESESB, 2014).

O presente trabalho trará uma análise do aproveitamento da energia solar direta, especificamente o uso de energia fotovoltaica como fonte direta de energia elétrica, sem a utilização de concentradores térmicos. Serão apresentados nos capítulos seguintes, uma análise de soluções que, como forma de captação de energia, utilizem placas ou módulos solares fotovoltaicos.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

A implementação de um sistema gerador de energia sustentável, como o proposto, aparentemente possui um custo final maior do que a obtenção direta do sistema convencional de distribuição de energia elétrica. Mas a forma simples com que a produção desta energia ocorre, promove uma significativa redução de custo quando todos os processos relativos são contabilizados. Os recursos fósseis precisam ser transportados do local de onde são extraídos até uma usina de beneficiamento. Geralmente o uso de máquinas rotativas como turbinas e geradores torna o processo mais complexo e mais caro. Se comparado as modalidades de produção de energia convencionais como hidrelétricas e termoelétricas, um sistema de geração fotovoltaica é mais barato por ser mais simples, sem emissão de poluentes, e com necessidade mínima de manutenção (SHAYANI, 2006).

A estimativa do potencial fotovoltaico do local proposto, naturalmente precede o ato da instalação de um sistema gerador no campus Joinville, pois os resultados obtidos serão de grande aproveitamento para a instituição, que mediante este trabalho, poderá ter referência técnica específica para nortear a aquisição dos equipamentos necessários para suprir a demanda e determinar os locais de instalação com maior potencial de geração. Caso um sistema for adquirido e instalado, poderá resultar tanto na economia nas despesas com o consumo de eletricidade, quanto em alavancar projetos futuros que poderão ser desenvolvidos a partir deste.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

Analisar o potencial de geração de energia fotovoltaica no IFSC campus Joinville.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- a) Fazer uma revisão bibliográfica sobre as atuais possibilidades de geração de energia elétrica fotovoltaica na região sul do Brasil.
- b) Analisar o potencial fotovoltaico da região geográfica na qual o IFSC campus Joinville está localizado

- c) Analisar quais locais do campus tem maior potencial de instalação do sistema, tais como: telhados e estacionamentos.
- d) Estimar a potência máxima a ser gerada e analisar os resultados.

## 2 METODOLOGIA

Com o objetivo de fazer o levantamento e análise dos principais pontos com maior incidência de raios solares no campus, para uma posterior avaliação quantitativa do potencial de produção de energia elétrica fotovoltaica, o presente trabalho utilizou dos procedimentos metodológicos descritos abaixo.

Primeiro utilizou-se de informações, obtidas através de pesquisas bibliográficas, para limitar o tema proposto. Vários artigos sobre o assunto disponíveis na internet e devidamente referenciados, foram consultados afim de abranger o tema proposto da forma mais atualizada possível.

Para o desenvolvimento da análise do potencial de geração de energia fotovoltaica no campus, foi utilizado o software Radasol 2, que é um software de licença livre disponível no site da URGS (<http://www.solar.ufrgs.br/>). Este software integra dados climatológicos e solarimétricos de várias regiões do país. Essa ferramenta também proporciona uma simulação das condições solares baseadas em interpolações de dados obtidos ao longo do ano pelas estações solarimétricas próximas da região desejada.

Foi feita uma análise presencial dos locais estudados onde foram observados pontos de maior potencial de incidência solar e de sombreamento. Foram também utilizadas imagens de satélites fornecidas pelo Google para perceber detalhes estruturais das superfícies dos telhados. Para detalhes estruturais intrínsecos e de projeto foram utilizadas as plantas baixas do projeto de engenharia civil do campus, fornecidas pelo Coordenação de Engenharia – COENGE do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina – IFSC.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo trata de uma revisão bibliográfica baseada nas principais publicações relacionadas ao tema central do trabalho, agrega informações atuais e dados históricos relevantes.

#### 3.1 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

A Terra recebe anualmente  $1,5 \times 10^{18}$  kWh de energia solar, sendo que o consumo mundial de energia para este mesmo período é 10.000 vezes menor. Esse fato indica que o sol possui um enorme potencial de utilização e dentre as fontes de energia renováveis a energia solar fotovoltaica é uma das mais promissoras (CRESESB, 2014).

NASCIMENTO (2004), afirma que em 1939 Edmond Becquerel observou que ocorria uma diferença de potencial (DDP) entre as extremidades de uma estrutura semicondutora quando incidia uma luz sobre ela. Assim foi descoberto o efeito fotovoltaico, princípio que mais tarde, em 1956 foi usado para a criação das primeiras células fotovoltaicas industriais.

A conversão da energia solar em energia elétrica ocorre quando a radiação do sol atinge materiais semicondutores, que apresentam no interior uma banda de energia vazia denominada “banda de condução” e na extremidade bandas de energia com espaço suficiente para receberem elétrons. O silício é o material mais usado para esta aplicação, pois possui apenas quatro elétrons em sua camada de valência, formando assim uma rede cristalina. Quando uma ligação com um elemento que tenha cinco átomos, como o fósforo, é realizada, um elétron sobrar e a ligação ficará instável ou fraca. Significa que o elétron precisa de pouca energia para se deslocar para a banda de condução. Pode-se dizer então que o fósforo é um elemento dopante doador de elétrons, denominado dopante n ou impureza n. A ligação também pode ser feita com um elemento que tenha um átomo faltando, como o boro, que tem apenas três átomos na sua última camada. (CRESESB, 2014).

A ausência de elétron na camada de valência é denominada buraco ou lacuna, e significa que com pouca energia térmica um elétron em uma camada vizinha pode passar para a posição do elétron faltante, deslocando a lacuna.

Portanto a ligação do silício com o boro cria um processo denominado aceitador de elétrons ou um dopante (silício) tipo “p” (NASCIMENTO, 2004). A figura 1 ilustra o efeito fotovoltaico na junção pn:

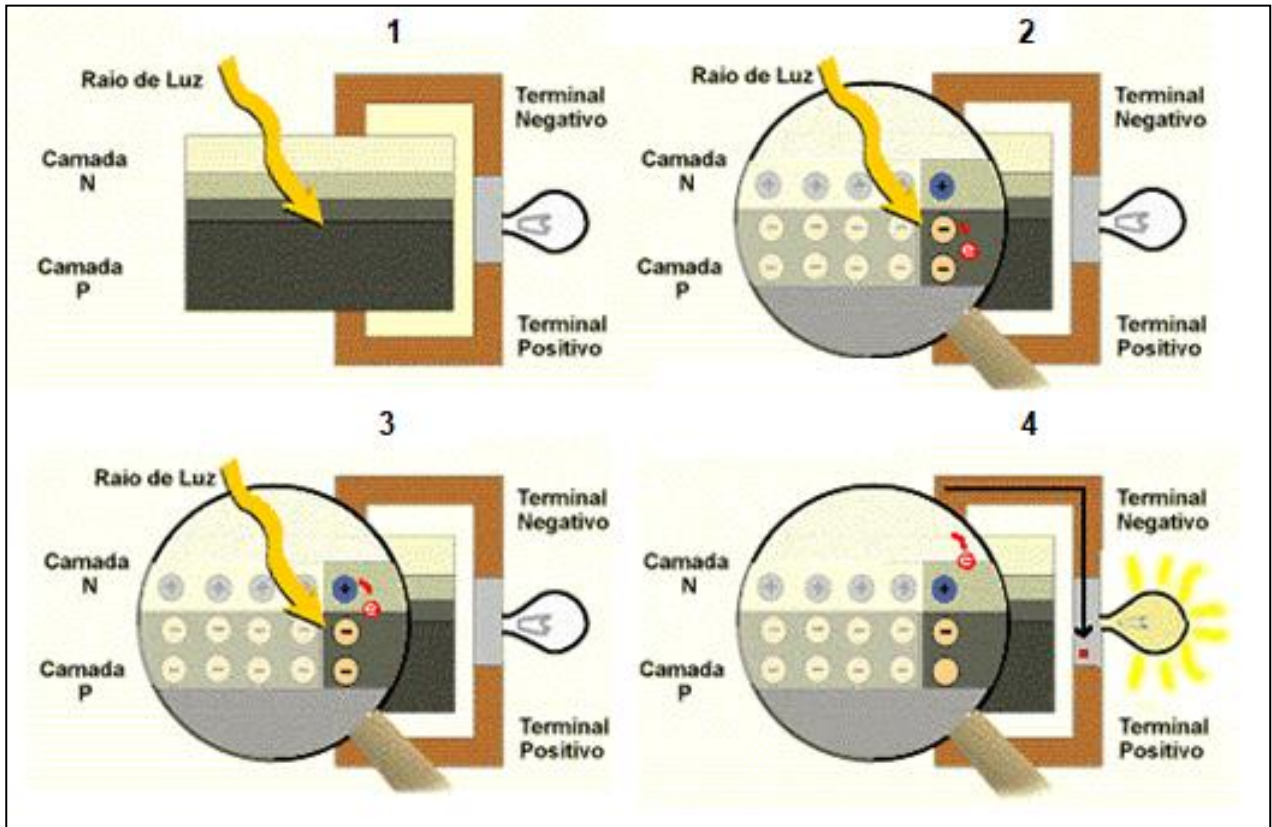


Figura 1: Efeito fotovoltaico na junção pn.  
Fonte: CRESESB, 2014.

No caso de uma junção pn se expor a fótons com energia maior que o espaço entre lacunas, serão gerados pares elétron-lacuna, e na hipótese de isso ocorrer na região onde o campo elétrico é diferente de zero, as cargas serão aceleradas, fazendo com que haja uma corrente através da junção. O deslocamento das cargas ocasiona uma diferença de potencial, que é chamada de “efeito fotovoltaico”. Portanto se duas extremidades da estrutura de silício forem conectadas a um condutor, ocorrerá uma circulação de elétrons, ou seja, corrente elétrica (CRESESB, 2014). A intensidade da corrente é diretamente proporcional a intensidade da luz recebida. Uma célula fotovoltaica apenas gera corrente elétrica enquanto uma fonte de luz estiver sobre ela (NASCIMENTO, 2004). A figura 2 ilustra o efeito fotovoltaico em uma placa de silício.

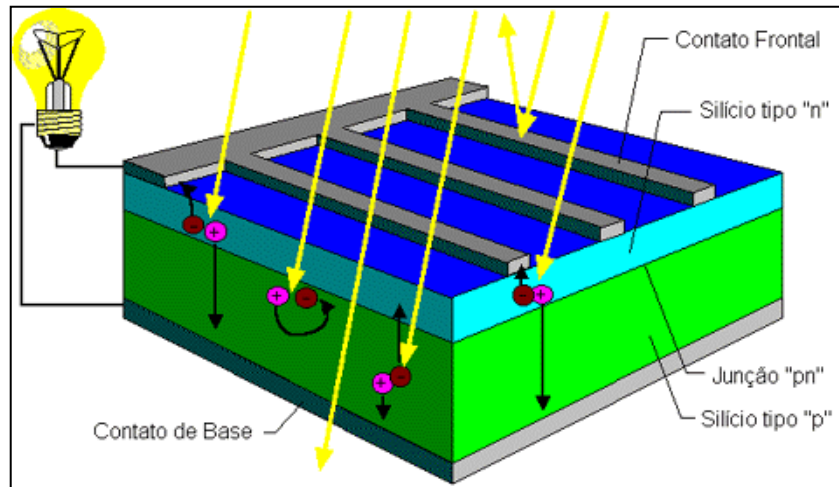


Figura 2: Efeito fotovoltaico em uma placa de silício.  
Fonte: CRESESB, 2014

Existem alguns fatores que podem incidir sobre a eficiência de uma célula fotovoltaica, entre eles a reflexão na superfície frontal da célula, absorção nula de fótons, defeitos no material ocasionando recombinação dos portadores de carga e fuga de corrente elétrica no dispositivo e nos contatos metal-semicondutor. A tabela 1 mostra o percentual de eficiência dos principais tipos de células fotovoltaicas existentes.

Tabela 1: Eficiência das principais células fotovoltaica fabricadas em laboratório.  
Fonte: CRESESB, 2014.

Tecnologia		Eficiência (%)
Silício	Monocristalino	25,0 ± 0,5
	Policristalino	20,4 ± 0,5
	Filmes finos transferidos	20,1 ± 0,4
Compostos III A-VA	GaAs (filme fino)	28,8 ± 0,9
	GaAs (policristalino)	18,4 ± 0,5
	InP (monocristalino)	22,1 ± 0,7
Calcogênios Compostos II B-VI A (ou 12 16)	CIGS (filme fino)	19,6 ± 0,6
	CdTe (filme fino)	18,3 ± 0,5
Silício Amorfo / Nanocristalino	Amorfo (filme fino)	10,1 ± 0,3
	Nanocristalino (nc-Si)	10,1 ± 0,2
Células Sensibilizadas por Corantes (DSSC)		11,9 ± 0,4
Células Orgânicas (filme fino)		10,7 ± 0,3
Multijunção	InGaP/GaS/InGaAs	37,7 ± 1,2
	a-Si/nc-Si/nc-Si (filme fino)	13,4 ± 0,4

Existem ainda alguns fatores externos que podem influenciar no desempenho das células, por exemplo a irradiância existente e sua distribuição espectral como também a temperatura de operação da célula, inclusive em condições de irradiância equivalente a 1000 Wp/m<sup>2</sup>. (CRESESB, 2014).

A escolha do tipo de módulo fotovoltaico não pode ser baseada apenas na eficiência, a não ser que a área para a instalação do painel fotovoltaico seja o fator limitante. A escolha deve ser pautada em vários fatores, como, durabilidade, custo, reputação do fabricante etc (CRESESB, 2014).

A tabela 2 apresenta a potência média por unidade de área no atual estágio do desenvolvimento de módulos fotovoltaicos de vários tipos.

Tabela 2: Comparação de área ocupada x Wp gerado através de várias tecnologias.  
Fonte: CRESESB, 2014.

Tecnologia	Wp/m <sup>2</sup>
Si monocristalino – m-Si	150
Si policristalino – p-Si	130
Si amorfo – a-Si	85
Disseleneto de Cobre-Índio (e Gálio) - CIGS	100
Telureto de Cádmio – CdTe-	110

## 3.2 SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA

Um sistema de geração de energia fotovoltaica pode operar de duas formas sendo, isolado ou conectado à rede pública de distribuição.

### 3.2.1 Sistema Isolado

Do modo isolado o sistema pode funcionar em conjunto com a rede, por exemplo como uma fonte alternativa de obtenção de energia, mas totalmente independente dela. Neste caso, toda a energia produzida normalmente durante o dia pelas placas fotoelétricas, que é quando tem maior incidência dos raios solares, é armazenada em um banco de baterias que poderá ser consumida durante a noite, ou em períodos em que o consumo tende a ser mais elevado. A figura 3 mostra um exemplo de sistema de geração de energia fotovoltaica associada a um banco de baterias para armazenamento da energia produzida.



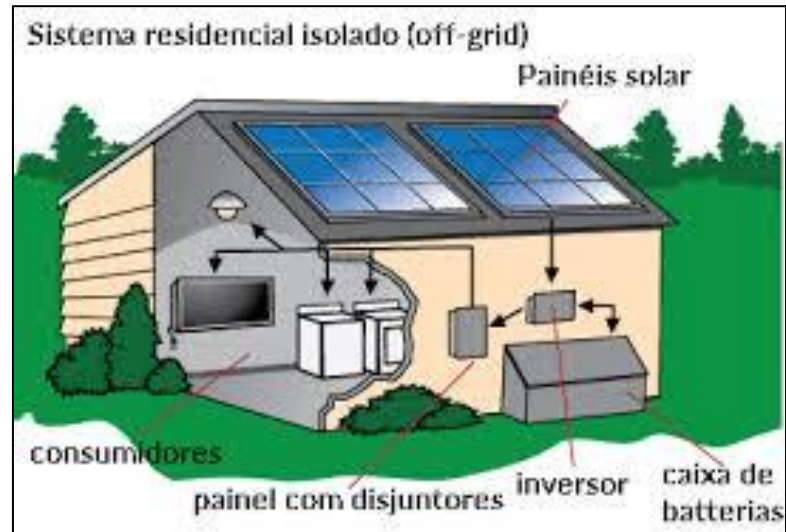


Figura 3: Modelo doméstico de geração de energia fotovoltaica isolado.  
Fonte: RENOVASOL, 2019.

Este sistema pode ser instalado também em lugares ermos em que não há distribuição de energia elétrica e operar como fonte única e exclusiva de energia. O principal problema desta opção é que este sistema necessita de maior espaço e de uma investimento inicial maior devido a aquisição das baterias (RENOVASOL , 2019).

### 3.2.2 Sistema Conectado à Rede

No sistema conectado, a própria rede serve de “armazenador” de energia uma vez que a energia excedente gerada pelo sistema é enviada à rede e compensada pela concessionária através de créditos ou descontos na fatura mensal, eliminando o custo de aquisição de baterias. Por estes motivos o sistema de geração de energia fotovoltaico ligado à rede, muitas vezes, torna-se mais atrativo economicamente (PFUTZENREUTER & PSCHIEDT, 2017). Um sistema de captação e conversão de energia solar fotovoltaica on grid é ilustrado na figura 4.

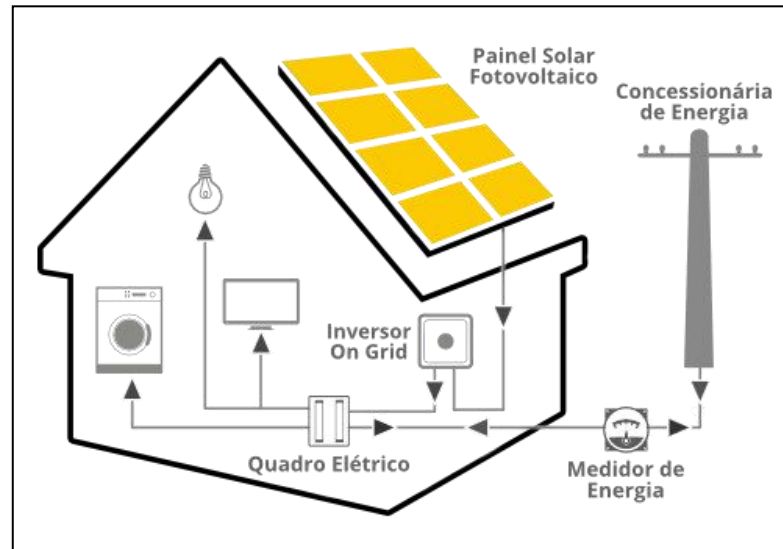


Figura 4: Modelo doméstico de geração de energia fotovoltaica ligado à rede.  
Fonte: DESOL, 2019.

### 3.3 PAINÉIS SOLARES, CONFIGURAÇÕES E OPÇÕES COMERCIAIS

Existem basicamente três tecnologias para a fabricação de células fotovoltaicas, que são classificadas quanto ao material e algumas características de construção em três gerações de células. O silício, elemento usado na maioria das vezes como matéria prima, é um dos materiais mais abundantes na terra e pode ser trabalhado na forma cristalina, policristalina e amorfa. Essas três classificações são atribuídas as diferentes formas estruturais básicas de um sólido, ou seja, de que maneira as partículas atômicas estão ligadas na formação do material (CRESESB, 2014). A figura 5 exemplifica essa classificação.

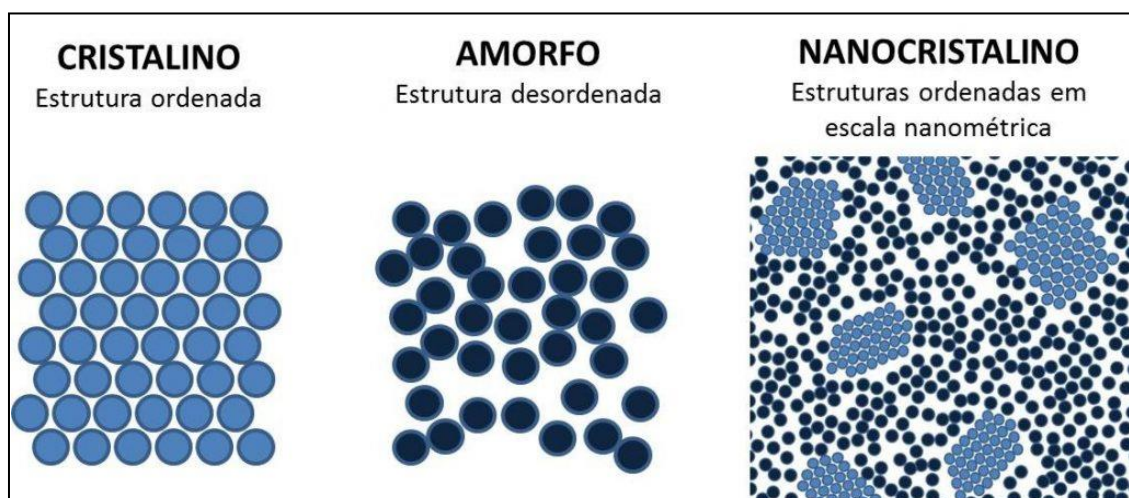


Figura 5: Arranjo estrutural de um sólido.  
Fonte: MAGMATTEC, 2019.

Manipular o silício na forma cristalina é a maneira mais usada atualmente para a fabricação de células fotovoltaicas corresponde a cerca de 85% do mercado atual na área. O silício cristalino pode subdividir-se nas categorias monocristalino (m-Si) e policristalino (p-Si). A segunda geração é a de células fabricadas pelo método de filmes finos. Este método pode ser dividido em três cadeias: silício amorfo (a-Si), disseleneto de cobre, índio e gálio (CIGS) e telureto de cádmio (CdTe) (CRESESB, 2014).

### 3.3.1 Célula Fotovoltaica de Silício Monocristalino (m-Si)

As células de silício monocristalino são normalmente obtidas a partir de fatias de um único grande cristal mergulhadas em silício fundido (MIRANDA, 2015). Este cristal no processo recebe uma certa quantidade de boro, formando assim um semiconductor dopado tipo “p”. Na continuidade deste processo é introduzido a este cristal em alta temperatura, impurezas do tipo “n”, provenientes do vapor de fósforo. (CRESESB, 2014).



Figura 6: Célula Monocristalina  
Fonte: SOLARQUOTES, 2019.

### 3.3.2 Célula fotovoltaica de Silício Policristalino (p-Si)

Estas células tem um preço mais baixo em relação a células monocristalinas, de acordo com Ruther (2004), a eficiência deste tipo de célula é menor. O silício

policristalino é obtido quando o silício após sua fundição, passa do estado líquido para o sólido e sua estrutura atômica se reposiciona formando um bloco com grandes quantidades de grãos ou cristais, concentrando um maior número de defeitos estruturais.

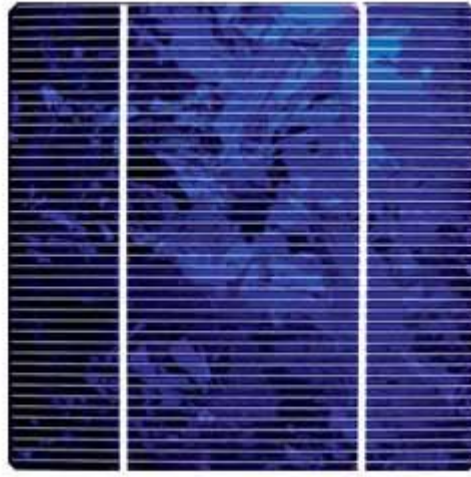


Figura 7: Célula Policristalina  
Fonte SOLARQUOTES, 2019.

### 3.3.3 Opções comerciais

Existem diversas formas de avaliar um modelo de placa solar na hora da aquisição. Talvez a principal coisa a ser verificada, é se a potência atende a necessidade, mas itens como eficiência e tamanho da placa também são aspectos muito relevantes, pois são fatores que podem influenciar no desempenho e no custo total da instalação do sistema. A única certificação exigida no Brasil para a comercialização de placas fotovoltaicas é que possuam o selo do Instituto Nacional de Metrologia, o Inmetro. Porém o produto que também apresenta a certificação europeia IEC 61215 garante que foi exposto a testes mais rigorosos de durabilidade, como testes contra chuvas de granizo. Preços altos não são sinônimos de alta qualidade mas podem variar dependendo da potência, eficiência, fabricante e ainda a margem de lucro do revendedor (PORTAL SOLAR, 2019).

Nas tabelas abaixo 3, 4, 5 e 6 estão expostas uma série de comparações entre modelos de placas fotovoltaicas homologadas pelo Inmetro, separadas por níveis de potência.

Tabela 3: Comparação de Placas Fotovoltaicas de 10 W até 90 W.  
Fonte: Modelos de Placa Solar, 2019.

Características / Modelos	KYOCERA - Modelo KS10T	KYOCERA - Modelo KS20T	KYOCERA - Modelo KS45T	KYOCERA - Modelo KS90T
Tecnologia de construção	Policristalina	Policristalina	Policristalina	Policristalina
Potência	10 Wp	20 Wp	45 Wp	90 Wp
Eficiência	9,4%	11%	12,8%	13,2%
Largura x Altura e Peso	0,29m x 0,35m 1,4kg	0,52m x 0,35m 2,4kg	10,3m x 0,35m 4,55kg	1,03m x 0,67m 7,75kg
Registro no Inmetro	SIM	SIM	SIM	SIM
IEC 61215	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO

Tabela 4: Comparação de Placas Fotovoltaicas de 140 W até 255 W.  
Fonte: Modelos de Placa Solar, 2019.

Características / Modelos	KYOCERA KD140SX UFBS	Canadian Solar - Modelo CS6P 235P	Canadian Solar -Modelo CS6P 50P	ReSun - Modelo RSC6	ReneSola Modelo Virtus II JC260M-24/Bb
Tecnologia de construção	Policristalino	Policristalino	Policristalino	Policristalino	Policristalino
Potência	140 Wp	235 Wp	250 Wp	250 Wp	255 Wp
Eficiência	14%	14,61%	15,54%	15,36%	15,70 %
Largura x Altura e Peso	1,50m x 0,67m 12,9kg	1.63m x 0,98m - 19kg	1.63m x 0,98m - 19kg	1.64m x 0,99m - 18kg	1.64m x 0,99m - 19kg
Registro no Inmetro	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
IEC 61215	NÃO	SIM	SIM	SIM	SIM

Tabela 5: Comparação de Placas Fotovoltaicas de 265 W até 275 W.  
 Fonte: Modelos de Placa Solar, 2019.

Características / Modelos	Canadian Solar - Modelo CS6P-265P	SunEdison - Modelo SE-P270NPB-A4	JA SOLAR - Modelo JAP6-60-275 4BB	Canadian Solar - Modelo CS6K-275M
Tecnologia de construção	Policristalino	Monocristalino	Policristalino	Policristalino
Potência	265 Wp	270 Wp	275 Wp	275Wp
Eficiência	16,47 %	16,50 %	16,82 %	16,8 %
Largura x Altura e Peso	1.64m x 0,98m - 18kg	1.65m x 0,99m - 19kg	1,65m x 0,99m - 18,2kg	1.97m x 1m - 27,5kg
Registro no Inmetro	SIM	SIM	SIM	SIM
IEC 61215	SIM	SIM	SIM	SIM

Tabela 6: Comparação de Placas Fotovoltaicas de 305 W até 320 W.  
 Fonte: Modelos de Placa Solar, 2019.

Características / Modelos	ReneSola - Modelo Virtus II JC305M-24/Ab	JA SOLAR - Modelo JAP6-72-315 3BB	Canadian Solar - Modelo CS6X-315P	Canadian Solar - Modelo CS6X-320P
Tecnologia de construção	Policristalino	Poliscristalino	Policristalino	Policristalino
Potência	305 Wp	315 Wp	315 Wp	320 Wp
Eficiência	15,7 %	16,25 %	16,42%	16,68 %
Largura x Altura e Peso	1.95m x 0,99m - 27kg	1,95m x 0,99m - 26kg	1.95m x 0,98m - 22kg	1.95m x 0,98m - 22kg
Registro no Inmetro	SIM	SIM	SIM	SIM
IEC 61215	SIM	SIM	SIM	SIM

### 3.4 INVERSORES

Para o aproveitamento da energia solar não basta apenas que a captação seja feita pelos painéis solares, se faz necessário o uso de um equipamento específico que converta a energia elétrica gerada de corrente contínua para alternada. Este equipamento é denominado de inversor ou “inversor solar” (PORTAL SOLAR, 2019).

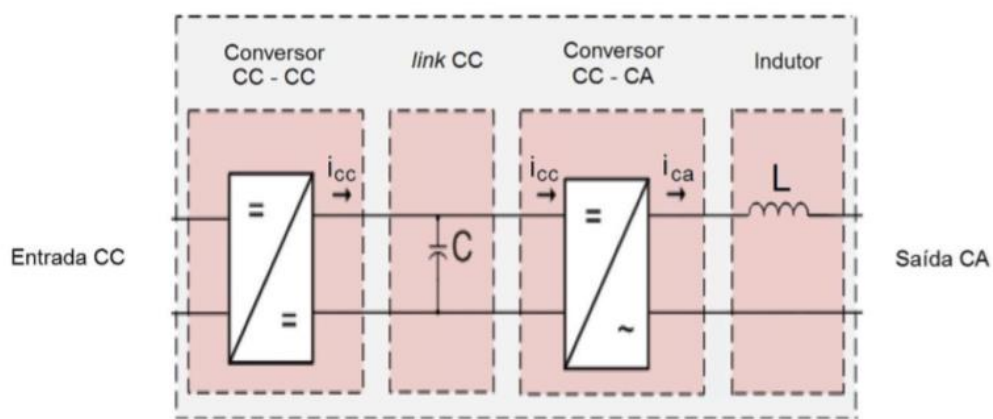


Figura 8: Diagrama de um Inversor.  
Fonte: Adaptado de CRESESB, 2014.

Os inversores podem ser classificados em duas categorias: conectados à rede (On Grid / Grid Tie) e não conectados (Off Grid). Embora o princípio de funcionamento seja o mesmo, eles possuem características distintas para atender exigências das concessionárias distribuidoras de energia quanto a segurança e a qualidade da energia gerada que é injetada na rede (CRESESB, 2014).

#### 3.4.1 Inversor On Grid

O inversor On Grid (conectado à rede) é o modelo mais utilizado no mundo. É usado para conectar um sistema fotovoltaico diretamente na rede, sem que haja a necessidade de instalação de baterias para o armazenamento da produção de energia excedente.

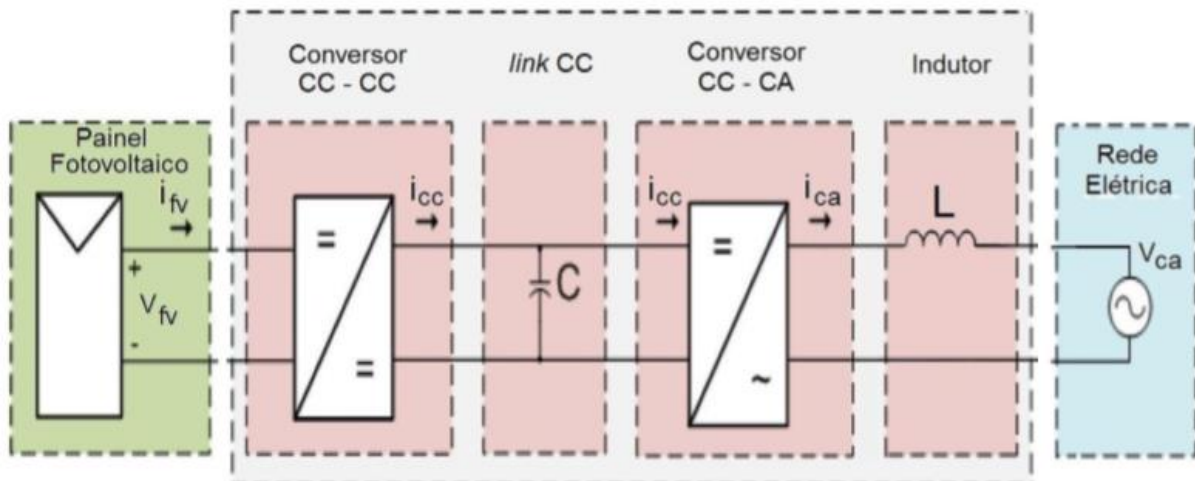


Figura 9: Diagrama de um Inversor On Grid.

Fonte: Adaptado de CRESESB, 2014.

De acordo com FLANDOLI (2017), os inversores On Grid são controlados ou chaveados pela rede, inicialmente sua constituição básica era definida por uma ponte de tiristores, solução primitiva oriunda de controladores de motores em sistemas de automação. O controle do inversor ocorria por meio do uso da frequência e tensão da rede para chavear os tiristores, porém poucos fabricantes ainda utilizam esta tecnologia. Atualmente usam-se inversores autorregulados (auto chaveados) para este propósito, que utilizam dispositivos semicondutores chamados transistores. A frequência da potência injetada deve ser sincronizada com a rede, gerando os pulsos de chaveamento dos transistores de acordo com essa frequência.

Os modernos inversores On Grid contam com um sistema de segurança para desconexão com a rede chamado de “anti-ilhamento”. O ilhamento é a condição na qual uma parte da rede fica energizada através de fontes geradoras presentes no sistema local mesmo quando este se encontra eletricamente isolado do resto do sistema. O ilhamento quando não intencional ou programado, é uma condição não desejada por apresentar riscos de acidentes na manutenção das linhas de distribuição e por gerar mau funcionamento dos equipamentos ligados na rede (SILVA, 2016).



### 3.4.2 Inversor Off Grid

O inversor desconectado da rede ou em inglês “Off grid”, é um dispositivo que funciona totalmente independente da rede elétrica, é sempre instalado em conjunto com bancos de baterias e um controlador de carga. O sistema de geração “desligado da rede” geralmente é utilizado em aplicações localizadas em áreas remotas onde não encontra-se rede de distribuição de energia elétrica, por exemplo em postes de energia solar e telefones de emergência em rodovias (BLOG SOLAR, 2019). A figura 10 mostra um diagrama de um sistema com um conversor Off Grid.

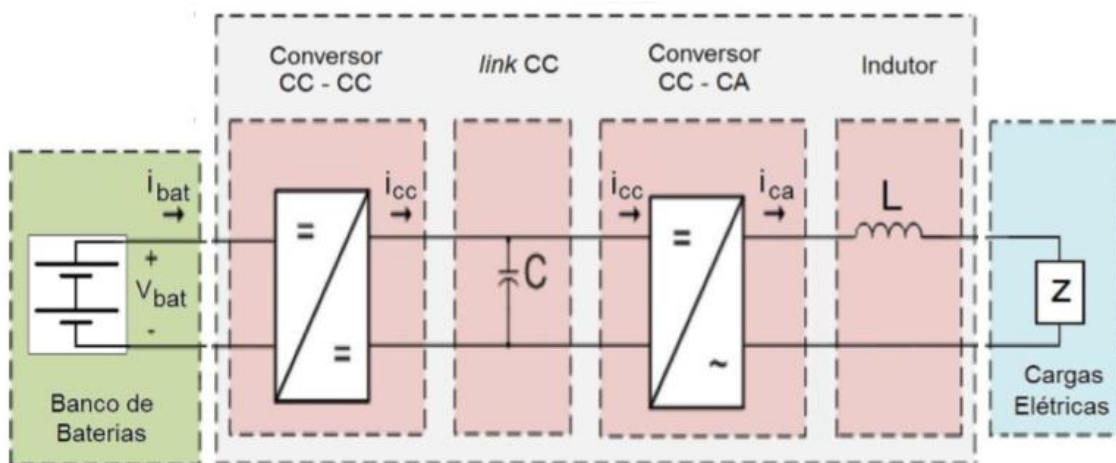


Figura 10: Diagrama de um Inversor Off Grid.

Fonte: Adaptado de CRESESB, 2014.

### 3.4.3 Micro Inversor

Esta é uma tecnologia mais nova, seu início é datado no final dos anos 90. O micro inversor é um inversor grid tie miniaturizado, são projetados para atender uma única placa ao invés de um conjunto inteiro. Entre as vantagens do uso deste aparelho, a principal é que as saídas dos micro inversores são completamente independentes, se uma das placas do conjunto estiver com problemas ou com um sombreamento excessivo isso não causará perda de eficiência nas demais, como normalmente acontece num inversor grid tie comum. (MICRO INVERSOR SOLAR GRID TIE, 2019).

A figura 11 mostra as diferenças entre um micro inversor e um inversor grid tie convencional, quando em situação de sombreamento parcial das placas fotovoltaicas do sistema.



Figura 11 : Independência de um micro inversor.

Fonte: Adaptado de PORTAL SOLAR, 2014.

### 3.5 BATERIAS, CONFIGURAÇÕES E APLICAÇÕES

As baterias são acumuladores de carga, segundo Dazcal & Mello (2008) uma bateria é um conjunto de células que podem estar conectadas em série ou em paralelo, este conjunto armazena energia química que através do processo químico de oxirredução transforma-se em energia elétrica.

As baterias podem ser recarregáveis ou não, dependendo do tipo de células que são compostas. Existem dois tipos básicos de células: primárias e secundárias. As baterias não recarregáveis ou seja, que podem ser utilizadas apenas uma vez e depois descartadas, são compostas de células primárias e geralmente são utilizadas em sistemas de baixo consumo de potência como relógios de pulso, calculadoras etc. As baterias recarregáveis por sua vez, são compostas de células denominadas secundárias, que podem ser carregadas com o auxílio de uma fonte de tensão ou corrente e reutilizada por vários ciclos. É este tipo de bateria que é denominada de “acumulador de carga” ou “bateria de armazenamento” e é comumente usada em aplicações que demandam longos períodos de uso como em um sistema de armazenamento de energia solar fotovoltaica (CRESESB, 2014).

Dentre as diversas tecnologias de acumuladores eletroquímicos a bateria de chumbo – ácido é a mais empregada em sistemas fotovoltaicos por ter a melhor relação entre custo e benefício do que as demais. A bateria de chumbo ácido é usada em diversas aplicações e para cada uma existe uma configuração diferente

de fabricação. CARNEIRO et al. (2017) aponta alguns modelos de bateria de chumbo – ácido, são eles: Bateria de arranque, podem ser ventiladas ou seladas, são usadas em sistemas elétricos de automóveis convencionais. Baterias tracionárias, trabalham em condições severas em ciclos de descarga muito profundos e recargas em curto espaço de tempo, são usados em empilhadeiras e carrinhos elétricos que transportam pessoas e cargas. Bateria VRLA, bateria regulada por válvula, possui as mesmas características da bateria de arranque porém o eletrólito é imobilizado na forma de gel ou absorvido por um separador de fibra de vidro, além disso uma válvula se abre caso os níveis dos gases no interior da célula atingirem níveis perigosos.

Historicamente as baterias de chumbo – ácido mais utilizadas para esta aplicação são as baterias sem manutenção, suas placas positivas são feitas de liga chumbo – cálcio, similares mais não iguais as automotivas. Em menor escala tem sido usadas baterias seladas com eletrólito absorvido e baterias abertas com liga de baixo antimônio. Começaram recentemente a entrar no mercado brasileiro baterias estacionárias de chumbo – ácido com placas tubulares, resultando assim em mais opções para quem deseja instalar um sistema de geração e armazenamento independente (CRESESB, 2014).

### 3.6 CONTROLADORES DE CARGA

De acordo com ALMEIDA et al. (2016), os controladores de cargas também são chamados de reguladores de cargas e são usados geralmente em sistemas *off grid*, que usam baterias como recurso de armazenamento de energia.

A função principal de um controlador de carga é proteger as baterias de sobrecargas ou descarga total do sistema. Ambas as situações geram desgaste prematuro nos acumuladores e por esta razão precisam ser controladas. O controle basicamente se dá através do monitoramento do nível de carga e do estado de saúde das baterias, quando o limite máximo ou mínimo configurado é atingido, ocorre a conexão ou desconexão automática das baterias do sistema gerador ou das cargas. (CHAGAS, 2007).

De acordo com Linden citado por PERGHER (2018, p. 20) o estado de saúde ou *State of Health (SoH)* de uma bateria, é a relação entre a capacidade de armazenamento medida e a capacidade nominal, ou seja, é um parâmetro que mede

a capacidade do fornecimento solicitado da corrente elétrica em relação a capacidade nominal de fornecimento.

Os controladores podem ser classificados de acordo com a grandeza que utilizam para fazer o controle do sistema. Normalmente utiliza-se o estado de carga, tensão e densidade do eletrólito de carga como grandezas de controle.

A operação de um controlador de carga é definida por seus pontos de regulagem. A determinação destes pontos é muito difícil pois cada tipo de bateria possui suas complexidades inerentes e adicionalmente as grandezas físicas usadas para o controle, como a tensão, podem variar por diferentes causas. Sendo assim para cada tipo de bateria e de ciclo de carga/descarga, existe um ponto de regulagem adequado, sendo este normalmente apontado pelo fabricante do controlador para evitar que por exemplo, baterias de chumbo-ácido fiquem descarregadas por longos períodos.

O uso de controladores de carga simples do tipo on-off não é mais efetivo para sistemas fotovoltaicos atuais a não ser para os de cargas muito pequenas. Os controladores de cargas modernos utilizam componentes micro processados que operam em três fases principais, sendo elas: grossa, absorção e flutuação.

Na fase grossa a bateria encontra-se descarregada e se dá o início do carregamento onde o controlador aplica a máxima corrente que o painel fotovoltaico possa fornecer. Na fase de absorção, a tensão da bateria é mantida constante na tensão de fim de carga por um período de tempo até que esteja totalmente carregada sendo a corrente fornecida pelo painel reduzida proporcionalmente. Na última fase a tensão da bateria é mantida constante em nível de flutuação, que é bastante inferior ao nível de fim de carga. Esta fase se mantém até que a bateria descarregue e sua tensão caia abaixo do nível de flutuação, fazendo com que um novo ciclo de carga grossa seja iniciado.

Os controladores de carga com maior nível de sofisticação de controle disponíveis no mercado, são os que adotam a estratégia de seguimento do ponto de potência máxima (SPPM) do painel fotovoltaico, com o objetivo de aumentar a eficiência no carregamento das baterias. (CRESESB, 2014).

### 3.7 DISPOSITIVO SEGUIDOR DE PONTO DE POTENCIA MÁXIMA (SPPM)

Um dispositivo seguidor do ponto potência máxima (SPPM) ou em inglês,

“*maximum power point tracking*” (MPPT), tem o papel de otimizar a extração de potência do gerador fotovoltaico. Isto ocorre porque o dispositivo trabalha periodicamente buscando através de cálculos e algoritmos os valores de tensão e corrente adequados para cada condição de irradiância e temperatura das células fotovoltaicas, para que esteja sempre polarizado em um ponto de potência máxima (CRESESB, 2014). Existem dois principais métodos usados para encontrar o MPPT do gerador: o “Perturbe & Observe” e o método da “Condutância Incremental”.

O método “Perturbe & Observe” consiste em forçar o ponto de interesse para um determinado valor e observar o que acontecerá na saída do gerador fotovoltaico. Essa modificação acontece quando pequenos incrementos na tensão de polarização são feitos em determinados intervalos de tempo. Se um incremento positivo resultar num aumento de potência, indicará que o ponto de interesse está se deslocando para o ponto de máxima potência e portanto a perturbação deve continuar no mesmo sentido. Se observado que a potência diminui, o sentido da perturbação deve ser invertido e como resultado o ponto de interesse fica oscilando em torno do valor da máxima potência.

O método de “condutância incremental” é um aperfeiçoamento do método anterior e consiste na determinação do ponto de potência máxima a partir do sinal da derivada em relação à tensão. Isso permite determinar em qual sentido a perturbação do ponto de operação deve ser feita, evitando que o seguidor tome o sentido errado (CRESESB, 2014).

A localização em que um dispositivo de SPPM pode ser instalada em um sistema de geração de energia fotovoltaica pode variar dependendo da configuração do sistema escolhido, podendo atuar integrado ao conversor cc-cc (controlador) ou a um inversor. A figura 12 ilustra essas possibilidades:

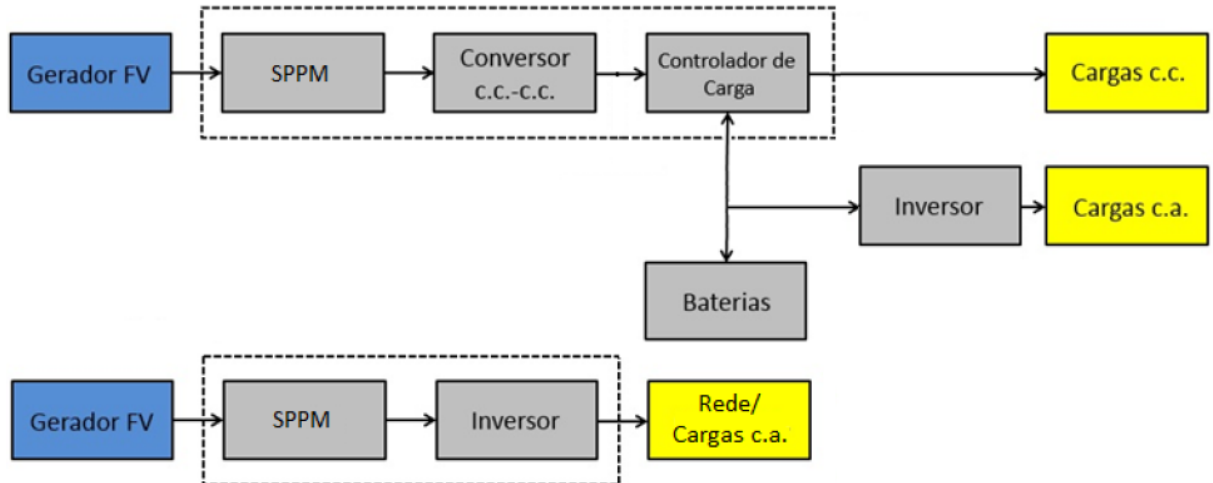


Figura 12: Opções de aplicação para um sistema SPPM.  
Fonte: Adaptado de CRESESB, 2014.

### 3.8 TOPOLOGIA DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Os sistemas fotovoltaicos podem ser projetados e implementados de maneiras diferentes a depender da potência e do rendimento desejado. Existem algumas classificações adotadas pela literatura, conforme o arranjo das placas e a disposição dos conversores no sistema gerador. As principais configurações de topologia serão discutidas a seguir.

#### 3.8.1 Configuração de um Sistema Centralizado

A configuração centralizada consiste em arranjos ou conjuntos de painéis fotovoltaicos (*strings*) conectados em paralelo para obter um nível de tensão e potência predefinido. Este conjunto por fim é conectado a um inversor responsável por condicionar a energia que poderá ser destinada à rede ou diretamente para uma carga. Nesta configuração não existe um dispositivo seguidor de potência máxima para cada *string* fazendo com que este modelo de topologia seja mais simples e de baixo custo, entretanto pouco eficiente (DESCONZI, 2011). A figura 13 exemplifica a topologia centralizada.

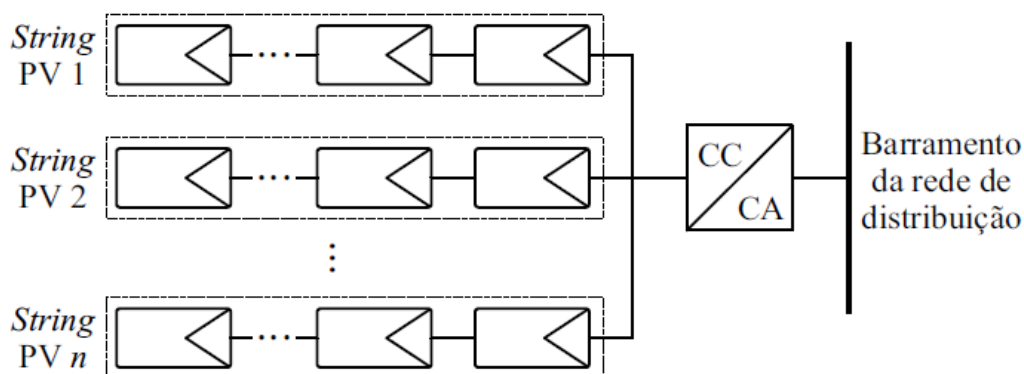


Figura 13: Topologia de um Sistema Centralizado.  
Fonte: DESCONZI, 2011.

### 3.8.2 Configuração de um Sistema Descentralizado

No sistema centralizado, quando uma placa sofre algum dano, está sombreada ou suja, compromete o desempenho de todo o sistema. Para resolver estes problemas foi pensado e desenvolvido o sistema descentralizado, ou *multi-string*, onde cada *string* funciona de forma modular, independente, aumentando a eficiência e facilitando a manutenção do sistema.

Nesta topologia conversores cc-cc são conectados aos arranjos de placas fotovoltaicas, e estes por fim, conectados à um único inversor de saída (cc-ca), como vantagem principal têm-se pra a topologia *multi-string* a estratégia de controle mais eficiente e a opção de aquisição de dados individuais dos arranjos. Além disso, em sistemas não isolados, a utilização de conversores elevadores de tensão (*boost*) possibilitam ganho de tensão no barramento cc eliminando a necessidade de instalar painéis adicionais só para atingir a tensão do conversor de saída (DESCONZI, 2011). A figura 14 exemplifica um sistema descentralizado.

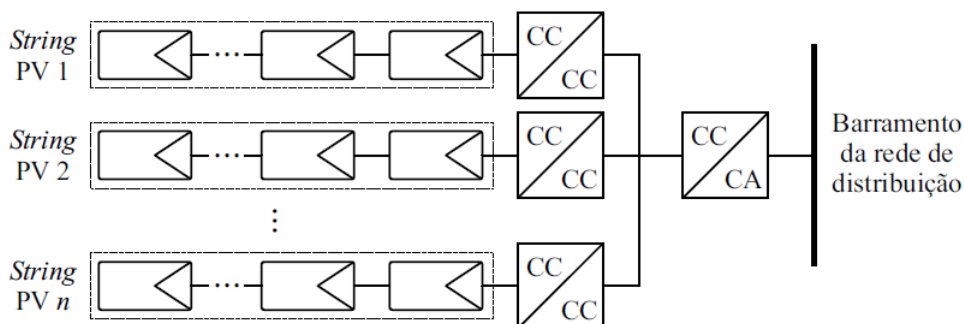


Figura 14: Topologia de um Sistema Descentralizado.  
Fonte: DESCONZI, 2011.

## 4 DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo será analisado o potencial de geração de energia fotovoltaica dos pontos estimados com maior incidência de irradiação solar do campus, como telhados e estacionamentos.

A análise se dará a partir das coordenadas geográficas do campus e dados meteorológicos obtidos pelo software Radasol 2.

### 4.1 POTENCIAL FOTOVOLTAICO DO ESTADO DE SANTA CATARINA

O Estado de Santa Catarina está localizado ao sul do território brasileiro, entre os estados do Rio Grande do Sul e Paraná. Com uma área de 95.443 km<sup>2</sup> ocupa 1,1 % das terras brasileiras e representa 16,5% da região sul. A economia é bastante diversificada, possui bons índices econômicos tanto em setores da agricultura e pecuária quanto da indústria, seja ela metalomecânica, de plásticos ou têxtil (INDICADORES SOCIOECONÔMICOS, 2019). De acordo com a primeira edição do ATLAS BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR (2006), a região sul possui o menor índice de irradiação solar global horizontal média se comparado com outras regiões do país, isso significa que tem um baixo potencial de geração de energia solar.

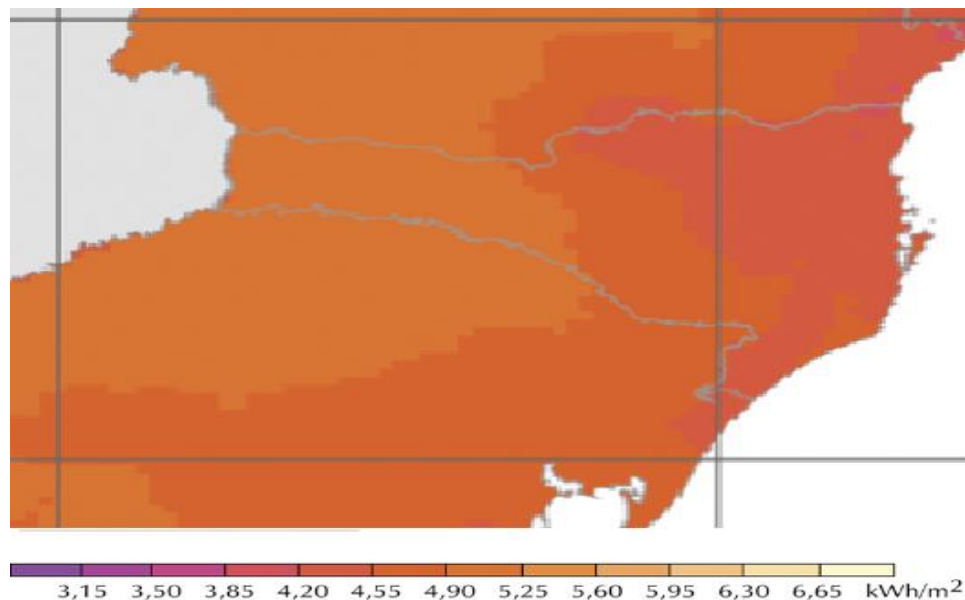


Figura 15: Índice de irradiação solar global horizontal média de SC.

Fonte: Adaptado de INPE, 2006.



Na sua segunda edição O ATLAS BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR (2017) mostra que a região sul ainda é a menos favorecida em relação aos estados brasileiros localizados mais ao norte do país, porém os dados obtidos do potencial dessa região são muito promissores se comparados, por exemplo, com regiões de países europeus, como a Alemanha, que tem um alto investimento em tecnologia de produção de energia fotovoltaica, porém um potencial energético fotovoltaico menor do que qualquer região brasileira.

#### 4.1.2 Potencial Fotovoltaico da Cidade de Joinville

Para encontrar os índices de irradiação da cidade foi usado o software Radiasol 2 disponível para download gratuitamente no site<sup>1</sup> da UFRGS, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Primeiramente é necessário conhecer a latitude e longitude correspondente ao local desejado. Como o objetivo deste trabalho é analisar o potencial do campus do IFSC campus Joinville, foi usada a localização exata do campus para realizar a simulação no software, que é longitude -26.278239 e latitude 48.880003.

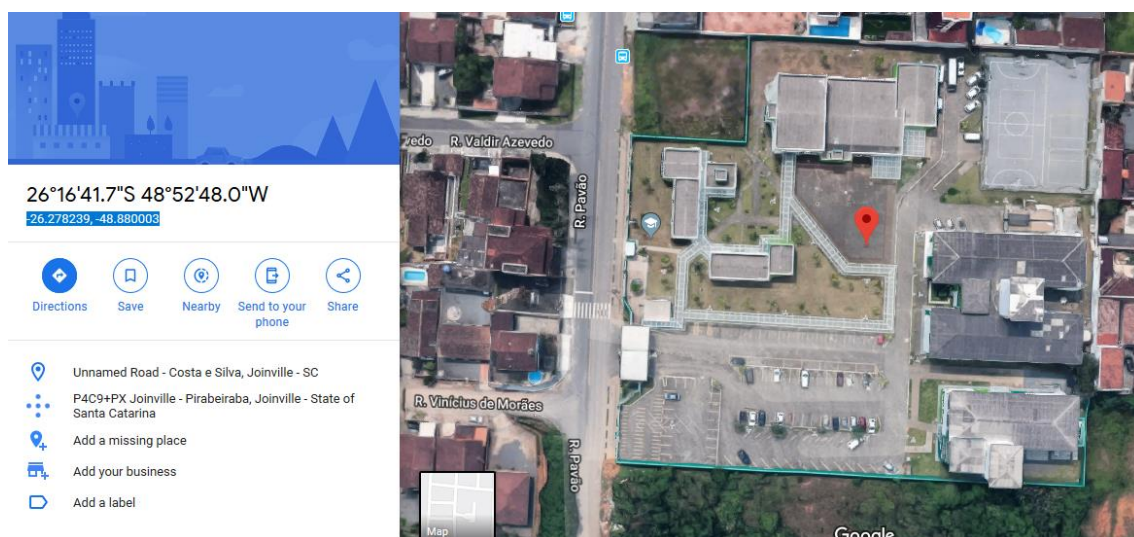


Figura 16: Localização do campus do IFSC em Joinville.

Fonte: Google, 2017.

1 - Disponível em: <<http://www.solar.ufrgs.br/#softwares>>. Acesso em: 09 jun. 2019.

A base de dados do software Radasol 2 mostra os índices de irradiação diária média mensal desta região, com base nessas coordenadas para todos os meses do ano. O primeiro passo, como mostrado na figura 17, é seleccionar a região geográfica desejada, que, para este estudo foi Santa Catarina.

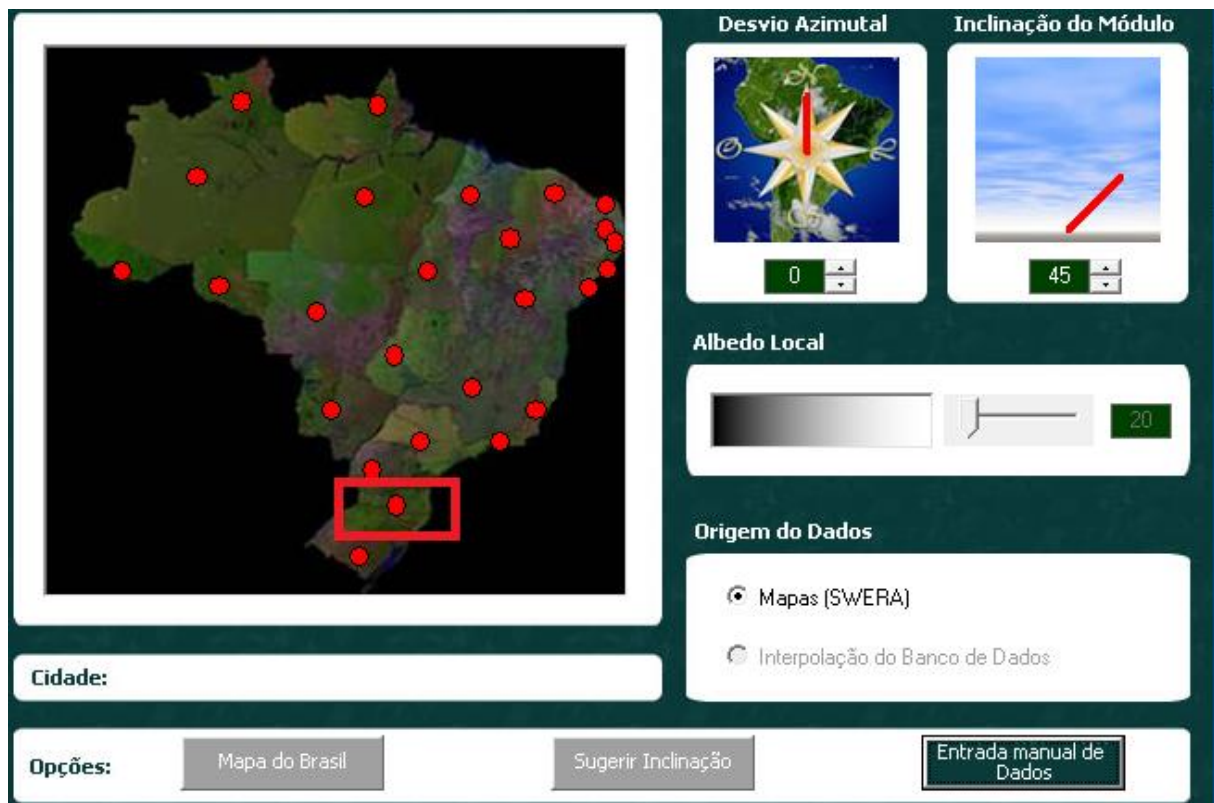


Figura 17: Pontos de Análise Solarimétrica do Brasil.  
Fonte: Radasol 2, 2019 .

Após a escolha de Santa Catarina, a próxima tela mostra um mapa de todo o Estado, figura 18. Nesse mapa é possível notar alguns pontos coloridos, estes são os pontos exatos de captação direta dos dados de irradiação através de estações solarimétricas. Nas cidades onde não existem pontos de captação direta de dados, como Joinville, o software faz uma interpolação de informações dos pontos próximos para aproximar ao máximo os resultados obtidos com a realidade. Para uma melhor precisão nos resultados o software Radasol 2 permite ao usuário definir o desvio azimutal e a inclinação dos módulos (placas solares) a serem instalados. É recomendado que os módulos sejam posicionados para o norte geográfico e o ângulo de inclinação seja sempre o mais próximo possível da posição latitudinal do

local a ser instalado, por exemplo: Joinville está na latitude 48,88 portanto a inclinação dos módulos deve ter idealmente um ângulo próximo de 48,8 graus. Para efeito de simulação será usado um ângulo de 45 graus (CRESESB, 2014).

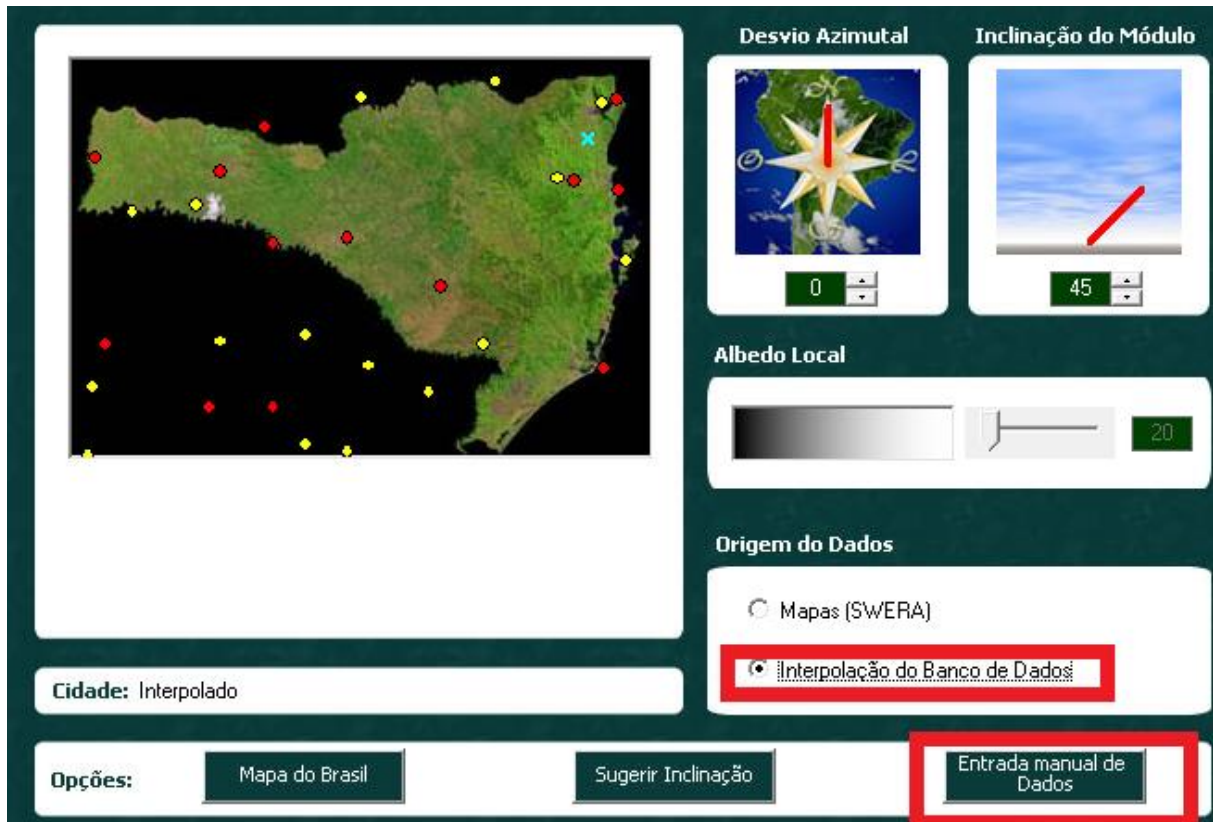


Figura 18: Pontos de análise solarimétrica de Santa Catarina.

Fonte: Radiasol 2, 2019.

Após selecionar a opção “Interpolação do Banco de Dados” e em seguida clicar no botão “Entrada manual de Dados” o usuário será direcionado para uma tela (figura 19) onde poderá definir a localização geográfica (latitude e longitude) do local desejado para a obtenção de dados interpolados. Após o carregamento dos dados o usuário tem a opção de salvar as informações num arquivo de formato .DAT, com o nome que desejar, neste caso foi salvo como “IFSC JOINVILLE”. O software interpola tanto informações relativas a irradiação, quanto a temperatura. Sempre baseado em históricos de medições presentes no seu banco de dados, referente a todos os meses do ano. De acordo com PFUTZENREUTER & PSCHEIDT (2017) a estação solarimétrica mais próxima de Joinville fica no município catarinense de São Francisco do Sul localizado a aproximadamente 28 km do IFSC campus Joinville em

linha reta.

Quando os dados forem carregados, o usuário deverá clicar no botão “Capturar pela interpolação” para continuar.

Entrada Manual de Dados - Estação Nova

Entre com os dados da localização do sistema:

Latitude: -26,27    Longitude: 48,88    Nome: IFSC JOINVILLE

Mês	Radiação*	Relativa	Máxima	Média	Mínima
Janeiro	5,04	79	28,9	23,2	19,3
Fevereiro	4,89	81	29,1	23,4	19,7
Março	4,43	81	27,9	22,3	18,6
Abril	3,78	81	25,5	19,7	15,8
Maio	3,15	81	22,8	17,0	13,0
Junho	2,72	82	20,9	15,0	10,7
Julho	3,02	81	20,7	14,8	10,5
Agosto	3,19	80	21,6	15,8	11,6
Setembro	3,49	81	22,2	17,0	13,3
Outubro	4,51	79	24,0	18,8	15,0
Novembro	5,21	78	26,2	20,5	16,6
Dezembro	5,40	78	28,0	22,2	18,3

\* Radiação em kWh/m<sup>2</sup>/m-dia

Figura 19: Dados solarimétricos interpolados de Joinville.  
Fonte: Radasol 2, 2019.

O usuário será direcionado novamente para a página principal onde deverá clicar no botão “confirmar” como mostrado na figura 20.

0    45

Albedo Local

Origem do Dados

Mapas (SWERA)

Interpolação do Banco de Dados

Cidade: IFSC JOINVILLE

Opções:    Mapa do Brasil    Sugerir Inclinação    Entrada manual de Dados

Temperatura Média    Temperatura Mínima    Temperatura Máxima

Radiação    Radiação Inclinada    Umidade Relativa

Confirmar

Cancelar

Figura 20: Tela principal com informações carregadas.  
Fonte: Radasol 2, 2019.

A figura 21 mostra a tela seguinte com um gráfico de irradiância x tempo para a região de Joinville. Porém para facilitar o software oferece a opção de obtenção dos dados diretamente por uma tabela como na figura 22. Para isto o usuário deverá clicar no botão “gráfico de barras”.

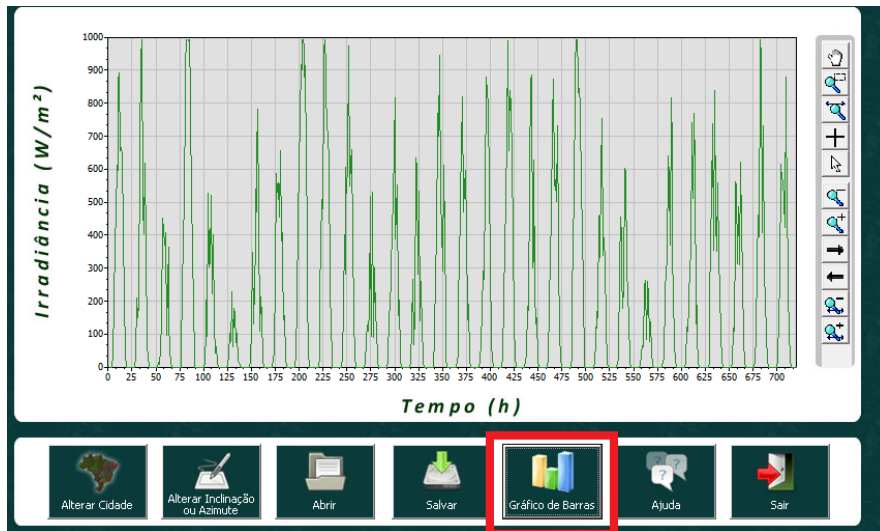


Figura 21: Gráfico de irradiância x tempo

Fonte: RadiSol 2, 2019.

Ao optar visualizar a tabela de forma mais detalhada o usuário deverá clicar no botão “Tabela de Dados” (figura 22).

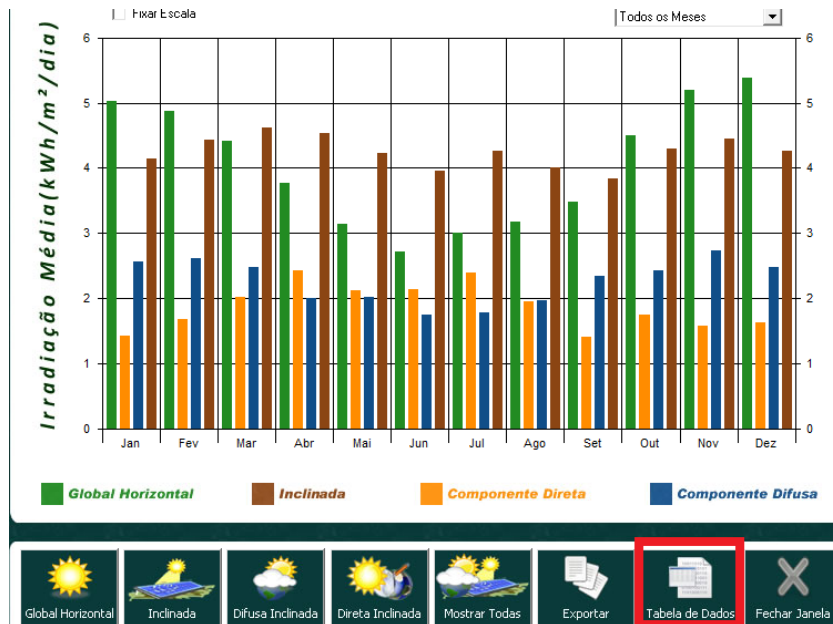


Figura 22: Gráfico de barras de Irradiância média em Joinville

Fonte: RadiSol 2, 2019.

A figura 23 apresenta a tabela com valores estimados de irradiação média em quilowatt hora por metro quadrado por dia em todos os meses do ano em Joinville. A irradiação média é o fluxo médio de energia emitida pelo sol e transmitida sob a forma de radiação eletromagnética, que pode ser medida de forma global, direta difusa ou inclinada. Para calcular o potencial de geração de energia elétrica fotovoltaica, se faz necessária a obtenção dos dados da irradiação média global (CRESESB, 2014).

<b>Irradiação Média (kWh/m<sup>2</sup>/dia)</b>					
Mês	Global	Direta	Difusa	Inclinada	
1	5,03	1,43	2,57	4,14	
2	4,88	3,26	2,62	4,44	
3	4,42	4,96	2,48	4,62	
4	3,77	7,54	2	4,53	
5	3,14	9,43	2,02	4,23	
6	2,71	11,87	1,75	3,96	
7	3,01	13,89	1,78	4,26	
8	3,18	15,84	1,96	4	
9	3,48	17,77	2,34	3,84	
10	4,5	18,94	2,43	4,3	
11	5,2	21,16	2,73	4,45	

<b>Irradiâncias Médias (W/m<sup>2</sup>)</b>					
Mês	Hora	Global	Direta	Difusa	Inclinada
1	4	0	0	0	0
1	5	22	0	11	11
1	6	123	1	58	62
1	7	262	40	140	187
1	8	334	73	182	265
1	9	505	152	260	426
1	10	618	219	304	540
1	11	646	243	315	576
1	12	582	179	335	530
1	13	576	187	304	508
1	14	547	191	248	455

Figura 23: Tabela de Irradiação média em Joinville  
Fonte: Radasol 2, 2019.



## 4.2 ANÁLISE DO POTENCIAL FOTOVOLTAICO DO IFSC CAMPUS JOINVILLE

O campus do IFSC em Joinville ocupa uma área de 9151,87 m<sup>2</sup>, onde estão localizados 6 blocos de salas, um ginásio de esportes e uma ampla área de estacionamento. Esta seção apresenta uma análise do potencial fotovoltaico de pontos estratégicos do campus para captação solar, baseado em fatores como sombreamento e posição geográfica.

### 4.2.1 Análise do Potencial Fotovoltaico do Estacionamento

A análise no estacionamento será dividida nas áreas A, B, C, D, e E, como apresentado na figura 24.

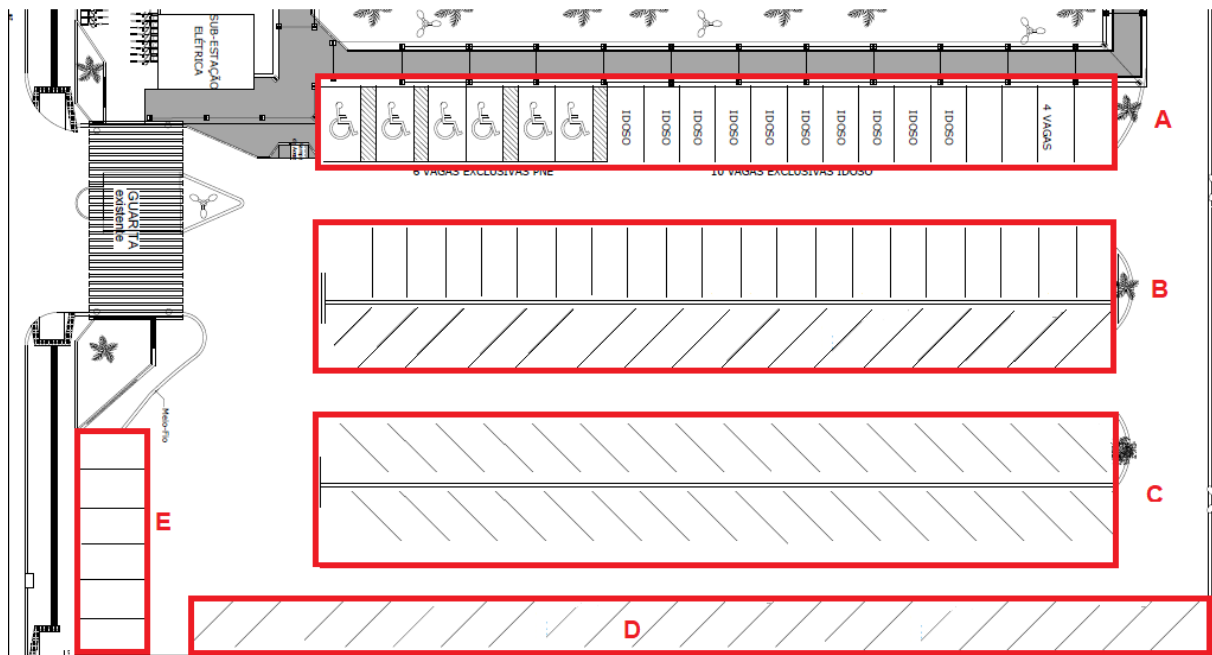


Figura 24: Estacionamento.

Fonte: Adaptado do projeto arquitetônico do IFSC – Joinville, 2019.

Para fins de análise, foi considerado nas áreas A, B, C, D e E a construção futura de estacionamento coberto, com estruturas para fixação das placas fotovoltaicas com uma inclinação de 12 graus. Como mostra a figura 25. As demais vagas do estacionamento não foram consideradas por apresentarem um maior nível de sombreamento em relação as outras, devido sua proximidade com o terreno vizinho o qual está atualmente ocupado por mata alta. As vagas da área E não foram consideradas pois além do sombreamento a posição geográfica das vagas não

favorece a geração de energia e impede a utilização do mesmo projeto estrutural, o que elevaria o custo e mudaria o padrão estético do estacionamento.



Figura 25: Modelo de estacionamento coberto  
Fonte: Archiexpo, 2019.

#### 4.2.1.2 Análise do Potencial Fotovoltaico da Área A

De acordo com Ruthier citado por CRESPI (2015, p. 47) para calcular o quanto de energia fotovoltaica pode ser gerada em determinado local, é necessário considerar a área (m<sup>2</sup>) efetiva ocupada pelos módulos, a média do total diário da irradiação solar incidente no plano do painel (KWh/m<sup>2</sup>/dia), a eficiência do módulo (fração), e um valor de 80% (0,8) considerando as perdas na transformação de corrente contínua para alternada e perdas nos cabos de energia. A seguir as equações (1) e (2) para estimativa de potencial fotovoltaico:

$$\text{Eff} = \text{Pinst} / A / 1000 \quad (1)$$

$$\text{Egm} = A \times \text{Eff} \times \text{Gpoa} \times 0,8 \times d \quad (2)$$

Onde:

Eff = Eficiência do módulo

Pinst = Potência instalada

A = Área efetiva ocupada pelos módulos

Egm = Energia gerada mensalmente

Gpoa = Irradiação media diária em determinado mês

d = dias

A área A do estacionamento possui 235 m<sup>2</sup> (área plana) disponíveis para instalação, dos quais são 6 vagas de 3,2m x 4,7m (15,04m<sup>2</sup>) e 14 vagas de 2,2m x



4,7m (10,34m<sup>2</sup>). É necessário levar em conta que as placas serão instaladas em superfície inclinada. Para cálculo de inclinação foi considerado que a estrutura de base do telhado tenha um pé direito de 1m e comprimento igual ao da viga, 4,7m. Como mostra a figura 26.

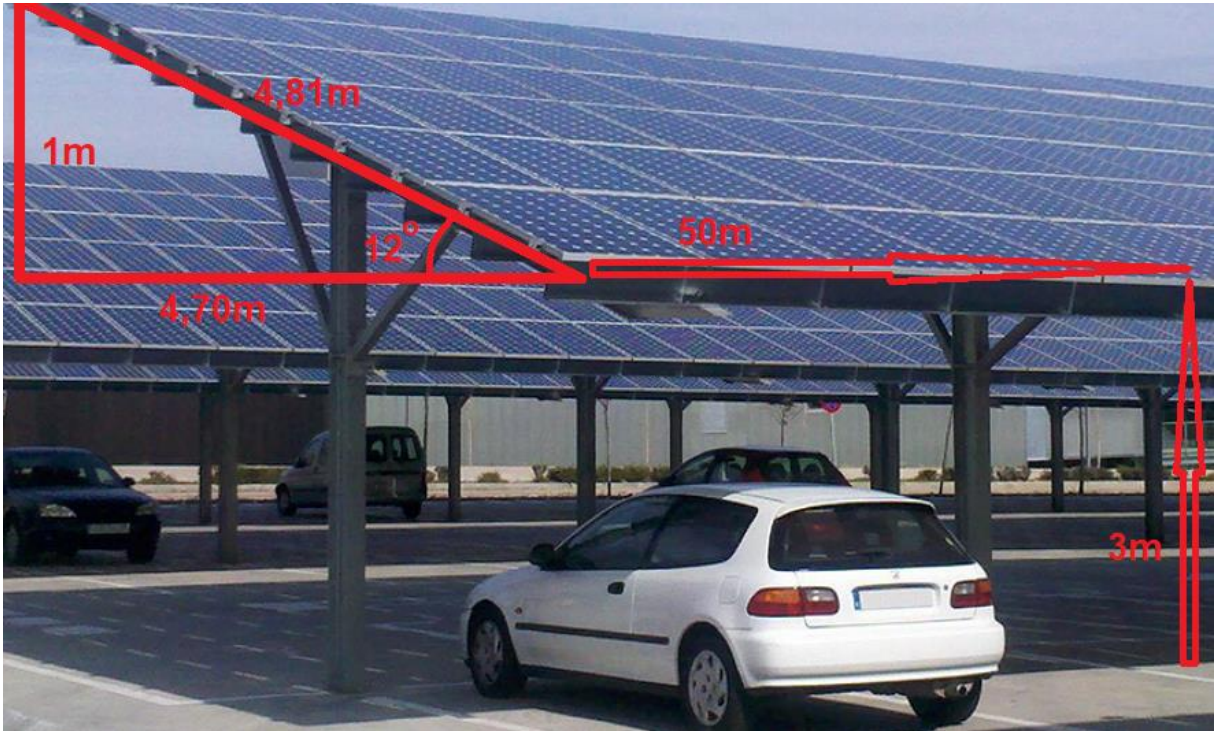


Figura 26: Dimensões do estacionamento coberto sugerido  
Fonte: Adaptado de Terra & Sol, 2019.

Para fins de análise foi escolhido com base nos critérios de maior produção energética e eficiência, a placa Canadian Solar - Modelo CS6X-320P como referência para os cálculos. De acordo com a tabela 6 do capítulo anterior, esta placa possui potência de 320 Wp, eficiência de 16,68% e uma área de 1,91 m<sup>2</sup>. Fazendo um rápido cálculo dividindo a área inclinada (Ai) do estacionamento, pela área de cada placa, obtém-se quantidade de placas (Qp) necessárias na área A e conseqüentemente a potência instalada Pinst.

$$A_i = 4,81\text{m} \times 50,0\text{m} = 240,5 \text{ m}^2. \text{ (Área inclinada).}$$

$$Q_p = 240,5\text{m}^2 / 1,91\text{m}^2 = 125,9 \text{ ou } 125 \text{ (Placas).}$$

$$P_{\text{inst}} = 125 \times 320 \text{ Wp} = 40000 \text{ Wp.}$$

Então, considerando dados do Radiasol 2 para Joinville no mês de Janeiro com uma superfície inclinada em 12 graus e voltada para o norte (dados da área A do estacionamento), tem-se que:

$$(1) \text{ Eff} = \text{Pinst} / \text{A} / 1000$$

$$\text{Eff} = 40000 / 240,5 / 1000 = 0,16$$

$$(2) \text{ Egm} = \text{A} \times \text{Eff} \times \text{Gpoa} \times 0,8 \times \text{d}$$

$$\text{Egm} = 240,5 \times 0,16 \times 5,03 \times 0,8 \times 31 = 4800,15 \text{ KWh/mês}$$

A tabela abaixo mostra os valores do potencial de energia gerada na área A do estacionamento para todos os meses do ano:

Tabela 7: Potencial de geração anual da área A do estacionamento.  
Fonte: O autor, 2019

Meses	Irradiação média (KWh/m <sup>2</sup> /dia)	Energia gerada mensal (KWh)
Janeiro	5,03	4.800,15
Fevereiro	4,86	4.189,09
Março	4,31	4.113,05
Abril	3,65	4.031,65
Maio	3,13	2.986,97
Junho	2,58	2.382,68
Julho	2,90	2.767,48
Agosto	3,08	2.939,26
Setembro	3,34	3.084,56
Outubro	4,34	4.141,68
Novembro	5,09	4.700,72
Dezembro	5,13	4.895,58
MEDIA	-	3.752,739

#### 4.2.1.3 Análise do Potencial Fotovoltaico da Área B

A área B do estacionamento, possui 475 m<sup>2</sup> (área plana) disponível para instalação, 50 metros de comprimento por 9,5 metros de largura. Com o auxílio do software LUSOSOL obtemos o valor da largura inclinada do telhado é 9,55 metros.

Fazendo um rápido cálculo dividindo a área inclinada ( $A_i$ ) do telhado, pela área de cada placa, obtém-se quantidade de placas ( $Q_p$ ) necessárias na área B e conseqüentemente a potência instalada  $P_{inst}$ .

$A_i = 9,55 \text{ m} \times 50 \text{ m} = 477,5 \text{ m}^2$ . (Área inclinada).

$Q_p = 477,5 \text{ m}^2 / 1,91 \text{ m}^2 = 250$  (Placas).

$P_{inst} = 250 \times 320 \text{ Wp} = 80000 \text{ Wp}$ .

Então, considerando os dados da área B do estacionamento e o mesmo método utilizado no subcapítulo **4.2.1.2** tem-se a seguinte tabela com os valores do potencial de energia gerada para todos os meses do ano:

Tabela 8: Potencial de geração anual da área B do estacionamento.  
Fonte: O autor, 2019

Meses	Irradiação media (KWh/m <sup>2</sup> /dia)	Energia gerada mensal (KWh)
Janeiro	5,03	9.530,44
Fevereiro	4,86	8.317,21
Março	4,31	8.166,24
Abril	3,65	6.692,64
Mai	3,13	5.930,47
Junho	2,58	4.730,69
Julho	2,90	5.494,69
Agosto	3,08	5.835,74
Setembro	3,34	6.24,22
Outubro	4,34	8.223,08
Novembro	5,09	9.333,02
Dezembro	5,13	9.719,91
MEDIA	-	7.341,53

#### 4.2.1.4 Análise do Potencial Fotovoltaico da Área C

A área C tem exatamente as mesmas características da área B, portanto o potencial de geração de energia fotovoltaica será o mesmo que da área B calculado no subcapítulo anterior.

#### 4.2.1.5 Análise do Potencial Fotovoltaico da Área D

A área D do estacionamento, possui 308,75 m<sup>2</sup> (área plana) disponível para instalação, contendo vagas de 4,75m x 2,2m em uma extensão de 65m. Dividindo a área inclinada (Ai) do telhado, pela área de cada placa, obtém-se a quantidade de placas (Qp) necessárias na área D e conseqüentemente a potência instalada Pinst.

$$A_i = 4,85\text{m} \times 2,2\text{m} \times 65\text{m} = 693,55\text{m}^2. \text{ (Área inclinada).}$$

$$Q_p = 693,55\text{m}^2 / 1,91\text{m}^2 = 363 \text{ (Placas).}$$

$$P_{\text{inst}} = 363 \times 320 \text{ Wp} = 116160 \text{ Wp.}$$

Então, considerando os dados da área D do estacionamento e seguindo o mesmo método utilizado no subcapítulo 4.2.1.2 tem-se a seguinte tabela com os valores do potencial de energia gerada para todos os meses do ano:

Tabela 9: Potencial de geração anual da área D do estacionamento.  
Fonte: O autor, 2019

Meses	Irradiação media (KWh/m <sup>2</sup> /dia)	Energia gerada mensal (KWh)
Janeiro	5,03	13.842,59
Fevereiro	4,86	12.080,42
Março	4,31	11.861,15
Abril	3,65	9.720,80
Maio	3,13	8.613,78
Junho	2,58	6.871,14
Julho	2,90	7.980,82
Agosto	3,08	8.476,18
Setembro	3,34	8.895,19
Outubro	4,34	11.943,71
Novembro	5,09	13.555,85
Dezembro	5,13	14.117,79
MEDIA	-	10.663,29

#### 4.2.2 Análise do Potencial Fotovoltaico do Bloco 1

O bloco 1 consiste nas salas administrativas do campus, onde estão localizadas as salas da direção, coordenação, secretaria, entre outras. Serão analisadas somente as faces inclinadas ao norte dos telhados do Bloco 1, pois a face inclinada ao norte é a face onde existe um maior potencial de geração de energia fotovoltaica como mostrado na seção 4.1 deste trabalho. Para fins de análise, o bloco B foi dividido em 3 áreas de estudo sendo elas: A1, B1 e C1 que correspondem aos telhados do bloco 1 que foram construídos voltados ao norte. A figura 27 mostra esta divisão.

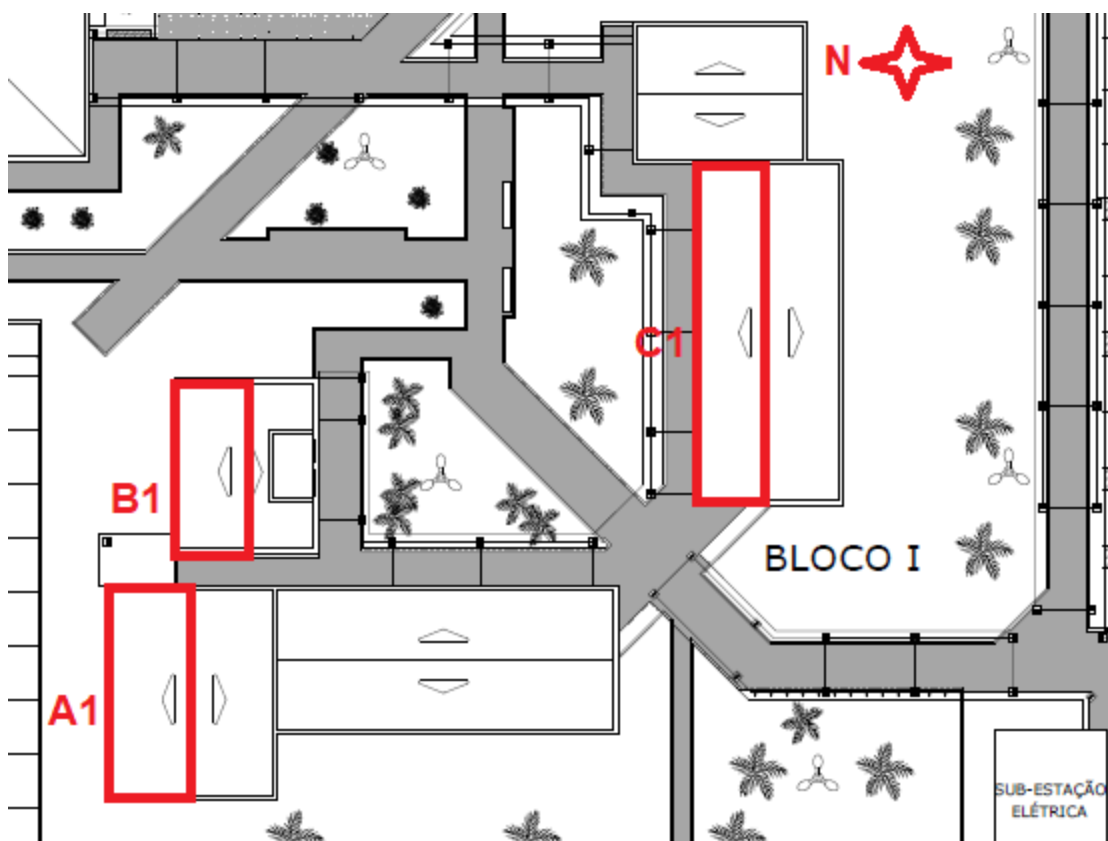


Figura 27: Visão geral do bloco 1

Fonte: Adaptado do projeto arquitetônico do IFSC – Joinville, 2019.

##### 4.2.2.1 Análise do Potencial Fotovoltaico da Área A1

A área A1 do Bloco 1 consiste na face norte do telhado de uma das salas administrativas, para o cálculo do potencial fotovoltaico é necessário, assim como na seção 4.2.1.2 deste trabalho, levar em conta a inclinação do telhado. Para o cálculo

da área inclinada do telhado foram levantados dados do projeto arquitetônico do campus como por exemplo a altura do pé direito do telhado. Essas informações estão representadas na figura 28.

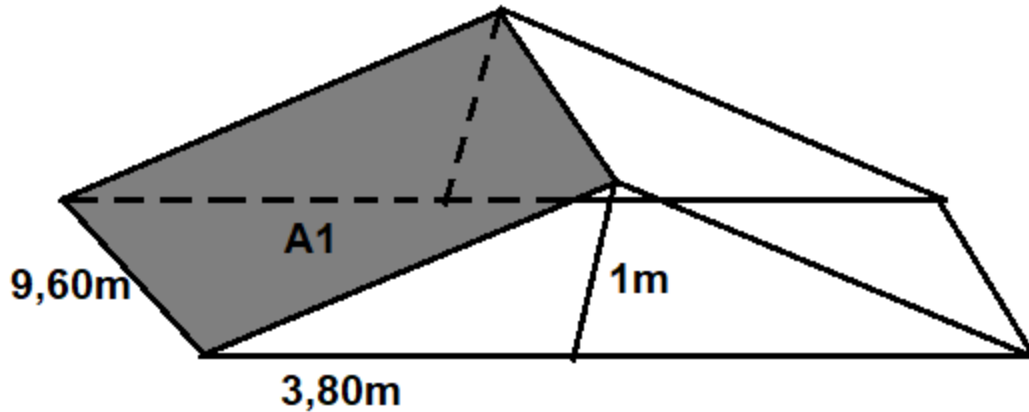


Figura 28: Vista tridimensional da Área A1  
Fonte: O autor, 2019.

Com base nessas informações fazemos o cálculo trigonométrico com o software *on-line* Lusosol<sup>2</sup> e temos que a área inclinada A1 é 41,2m<sup>2</sup>. Para fins de análise foi escolhido com base nos critérios de maior produção energética e eficiência, a placa Canadian Solar - Modelo CS6X-320P como referência para os cálculos. De acordo com a tabela 6 do capítulo 3, esta placa possui potência de 320Wp, eficiência de 16,68% e uma área de 1,91 m<sup>2</sup>. Fazendo um rápido cálculo dividindo a área inclinada (Ai) da área A1, pela área de cada placa, obtém-se a quantidade de placas (Qp) necessárias na área A1 e conseqüentemente a potência instalada (Pinst).

$$A_i = 3,93\text{m} \times 10,0\text{m} = 39,3 \text{ m}^2. \text{ (Área inclinada).}$$

$$Q_p = 39,3 \text{ m}^2 / 1,91 \text{ m}^2 = 20,57 \text{ ou } 20 \text{ (Placas).}$$

$$P_{\text{inst}} = 20 \times 320 \text{ Wp} = 6400 \text{ Wp.}$$

Então, considerando os dados da área A1 do Bloco 1 e seguindo o mesmo método utilizado no subcapítulo 4.2.1.2 tem-se a seguinte tabela com os valores do potencial de energia gerada para todos os meses do ano:

2 – Software Lusosol, Disponível online em: <<http://www.lusosol.com/triangulo.htm>>. Acesso em: 18 jun. 2019

Tabela 10: Potencial de geração anual da área A1 do bloco 1.  
 Fonte: O autor, 2019

Meses	Irradiação media (KWh/m <sup>2</sup> /dia)	Energia gerada mensal (KWh)
Janeiro	5,03	784,39
Fevereiro	4,86	684,53
Março	4,31	672,11
Abril	3,65	550,82
Maiο	3,13	488,09
Junho	2,58	389,35
Julho	2,90	452,23
Agosto	3,08	480,30
Setembro	3,34	504,04
Outubro	4,34	676,79
Novembro	5,09	768,14
Dezembro	5,13	799,98
MEDIA	-	604,23

#### 4.2.2.2 Análise do Potencial Fotovoltaico da Área B1

Ao analisar a área B1 foi identificada uma diferença entre o projeto e a execução. Como mostra a figura 29, a diferença se deve ao fato de que o reservatório de água construído no telhado do banheiro está ocupando quase um terço da área B1 o que a torna com pouca ou nenhuma relevância para a geração de energia fotovoltaica por dois motivos, são eles: uma área útil muito pequena e um alto índice de sombreamento por parte do reservatório de água. Por estes motivos a área B1 do bloco 1 será desconsiderada na análise.

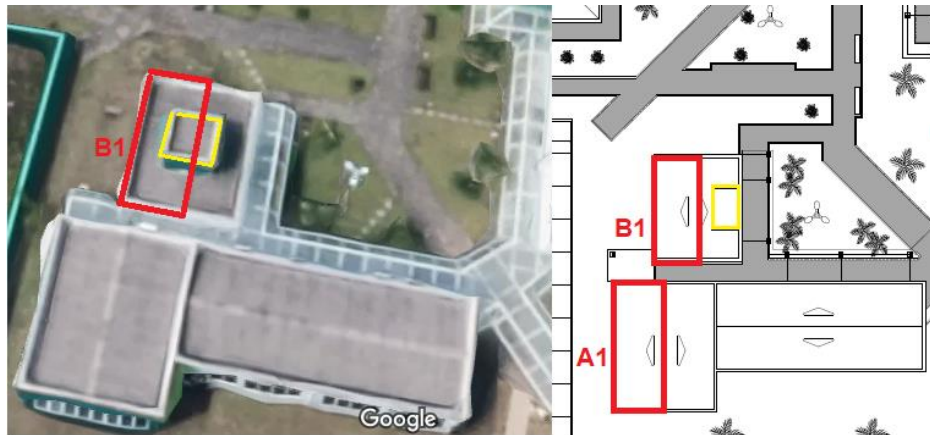


Figura 29: Comparativo entre o projeto da área B1 e o que foi construído.  
Fonte: O autor, 2019.

#### 4.2.2.3 Análise do Potencial Fotovoltaico da Área C1

A área C1 corresponde a face norte do telhado de um dos prédios administrativos do bloco 1, possuindo as seguintes dimensões em comprimento x largura x altura (pé direito): 15m x 3,5m x 1m. Para realizar a análise do potencial de energia fotovoltaica que pode ser gerado nesta área, necessita-se saber a área inclinada de C1 e para isso foi usado o mesmo método de análise da seção 4.2.2.1.

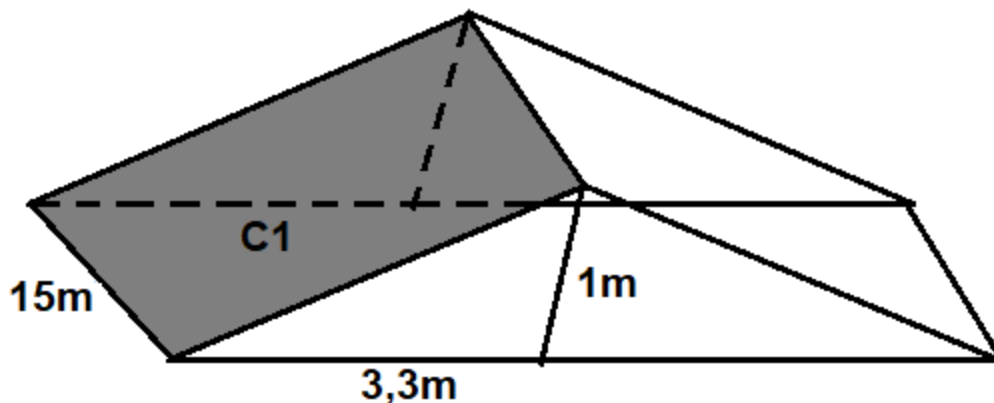


Figura 30: Vista tridimensional da área C1  
Fonte: O autor, 2019

Para fins de análise foi escolhido com base nos critérios de maior produção energética e eficiência, a placa Canadian Solar - Modelo CS6X-320P como referência para os cálculos. De acordo com a tabela 6 do capítulo 3, esta placa possui potência de 320Wp, eficiência de 16,68% e uma área de 1,91 m<sup>2</sup>. Dividindo a área inclinada ( $A_i$ ) da área C1, pela área de cada placa, obtém-se a quantidade de placas ( $Q_p$ ) necessárias e consequentemente a potência instalada ( $P_{inst}$ ).



$A_i = 3,16\text{m} \times 15,0\text{m} = 47,4 \text{ m}^2$ . (Área inclinada).

$Q_p = 47,4 \text{ m}^2 / 1,91\text{m}^2 = 24,81$  ou 24 (Placas).

$P_{\text{inst}} = 24 \times 320 \text{ Wp} = 7680 \text{ Wp}$ .

Considerando os dados da área C1 do Bloco 1 e seguindo o mesmo método utilizado na seção **4.2.1.2**, porém, considerando uma inclinação de aproximadamente  $16^\circ$  do telhado, tem-se a seguinte tabela com os valores do potencial de energia gerada para todos os meses do ano:

Tabela 11: Potencial de geração anual da área C1 do bloco 1  
Fonte: O autor, 2019

Meses	Irradiação media (KWh/m <sup>2</sup> /dia)	Energia gerada mensal (KWh)
Janeiro	5,03	946,05
Fevereiro	4,86	825,62
Março	4,31	810,63
Abril	3,65	664,35
Mai	3,13	588,70
Junho	2,58	469,60
Julho	2,90	545,4
Agosto	3,08	579,29
Setembro	3,34	607,93
Outubro	4,34	816,28
Novembro	5,09	926,46
Dezembro	5,13	964,86
MEDIA	-	728,76

#### 4.2.3 Análise do Potencial Fotovoltaico do Bloco 2

No bloco 2 estão localizadas salas de aula, laboratórios, lanchonete, refeitório e banheiros. Para fins de análise, este bloco foi dividido em 2 áreas de estudo sendo elas: A2 e B2 que correspondem aos telhados que foram construídos voltados ao norte. A figura 31 mostra esta divisão.



Figura 31: Bloco 2  
Fonte: Google, 2017.

#### 4.2.3.1 Análise do Potencial Fotovoltaico da Área A2

A área A2 consiste na face norte do telhado do prédio mais alto do bloco 2, para o cálculo do potencial fotovoltaico é necessário, assim como nas seções anteriores deste trabalho, levar em conta a inclinação do telhado. Para o cálculo da área inclinada do telhado foi usado o mesmo método de análise da seção 4.2.2.1. A figura 32, representa o telhado da área A2 em três dimensões par uma melhor compreensão.

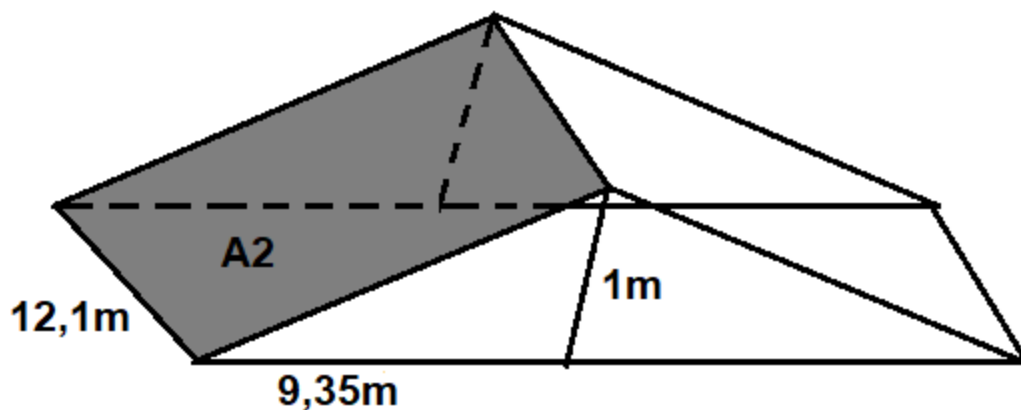


Figura 32: Vista tridimensional do telhado da área A2  
Fonte: O autor, 2019.

Com base nas informações acima é possível calcular a área inclinada de A2 e assim poder analisar o potencial fotovoltaico. Para fins de análise foi escolhido com base nos critérios de maior produção energética e eficiência, a placa Canadian Solar - Modelo CS6X-320P como referência para os cálculos. De acordo com a tabela 6 do capítulo 3, esta placa possui potência de 320Wp, eficiência de 16,68% e uma área de 1,91 m<sup>2</sup>. Dividindo a área inclinada (Ai) da área A2, pela área de cada placa, obtém-se quantidade de placas (Qp) necessárias na área A2 e conseqüentemente a potência instalada Pinst.

$A_i = 9,40 \text{ m} \times 12,1 \text{ m} = 113,74 \text{ m}^2$ . (Área inclinada).

$Q_p = 113,74 \text{ m}^2 / 1,91 \text{ m}^2 = 59,54$  ou 59 (Placas).

$P_{inst} = 59 \times 320 \text{ Wp} = 18880 \text{ Wp}$ .

Considerando os dados da área A2 e seguindo o mesmo método utilizado na seção 4.2.1.2, porém, considerando uma inclinação de aproximadamente 6° do telhado, tem-se a seguinte tabela com os valores do potencial de energia gerada para todos os meses do ano:

Tabela 12: Potencial de geração anual da área A2 do bloco 2.  
Fonte: O autor, 2019

Meses	Irradiação media (KWh/m <sup>2</sup> /dia)	Energia gerada mensal (KWh)
Janeiro	5,03	2.270,14
Fevereiro	4,86	1.981,15
Março	4,31	1.945,19
Abril	3,65	1.594,17
Maio	3,13	1.412,63
Junho	2,58	1.126,84
Julho	2,90	1.308,82
Agosto	3,08	1.390,06
Setembro	3,34	1.458,78
Outubro	4,34	1.958,73
Novembro	5,09	2.223,11
Dezembro	5,13	2.315,27
MEDIA	-	1.748,74

#### 4.2.3.2 Análise do Potencial Fotovoltaico da Área B2

Com base nos mesmos métodos usados na análise da área A2 é possível calcular a área inclinada de B2 e assim poder analisar o potencial fotovoltaico. Para fins de análise foi escolhido com base nos critérios de maior produção energética e eficiência, a placa Canadian Solar - Modelo CS6X-320P como referência para os cálculos. De acordo com a tabela 6 do capítulo 3, esta placa possui potência de 320Wp, eficiência de 16,68% e uma área de 1,91 m<sup>2</sup>.

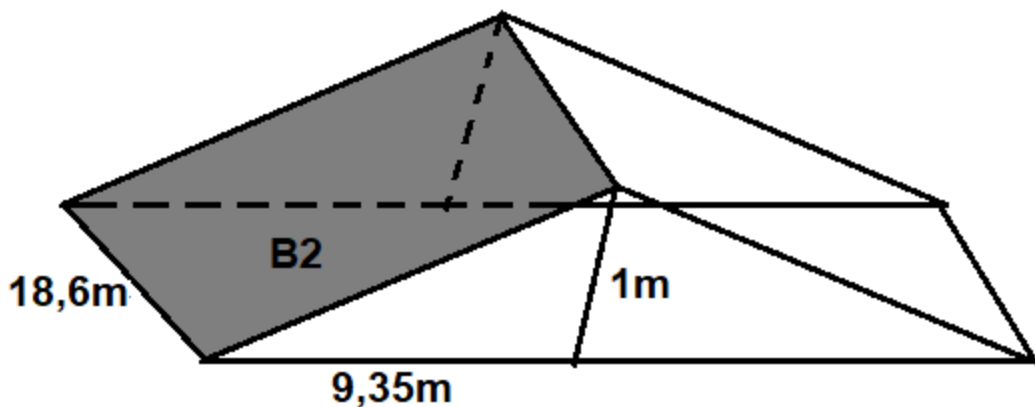


Figura 33: Vista tridimensional do telhado da área B2

Fonte: O autor, 2019

Dividindo a área inclinada ( $A_i$ ) da área B2, pela área de cada placa, obtém-se quantidade de placas ( $Q_p$ ) necessárias na área B2 e conseqüentemente a potência instalada  $P_{inst}$ .

$$A_i = 9,40 \text{ m} \times 18,6 \text{ m} = 174,84 \text{ m}^2. \text{ (Área inclinada).}$$

$$Q_p = 174,84 \text{ m}^2 / 1,91 \text{ m}^2 = 91,54 \text{ ou } 91 \text{ (Placas).}$$

$$P_{inst} = 91 \times 320 \text{ Wp} = 29120 \text{ Wp.}$$

Considerando os dados da área B2 e seguindo o mesmo método utilizado na seção 4.2.1.2, porém, considerando uma inclinação de aproximadamente 6° do telhado, tem-se a seguinte tabela com os valores do potencial de energia gerada para todos os meses do ano<sup>1</sup>:

Tabela 13: Potencial de geração anual da área B2 do bloco 2.  
 Fonte: O autor, 2019

Meses	Irradiação media (KWh/m <sup>2</sup> /dia)	Energia gerada mensal (KWh)
Janeiro	5,03	3.489,63
Fevereiro	4,86	3.045,40
Março	4,31	2.990,12
Abril	3,65	2.450,55
Maio	3,13	2.171,48
Junho	2,58	1.732,17
Julho	2,90	2.011,91
Agosto	3,08	2.136,79
Setembro	3,34	2.242,42
Outubro	4,34	3.010,94
Novembro	5,09	3.417,35
Dezembro	5,13	3.559,01
MEDIA	-	2.688,14

#### 4.2.4 Análise do Potencial Fotovoltaico do Bloco 3

No bloco 3 estão localizadas salas de aula, laboratórios, sala dos professores e banheiros. Este bloco não será dividido pois somente umas das faces do telhado deste bloco foi construída voltada para o norte. A figura 34 mostra a face a ser analisada.

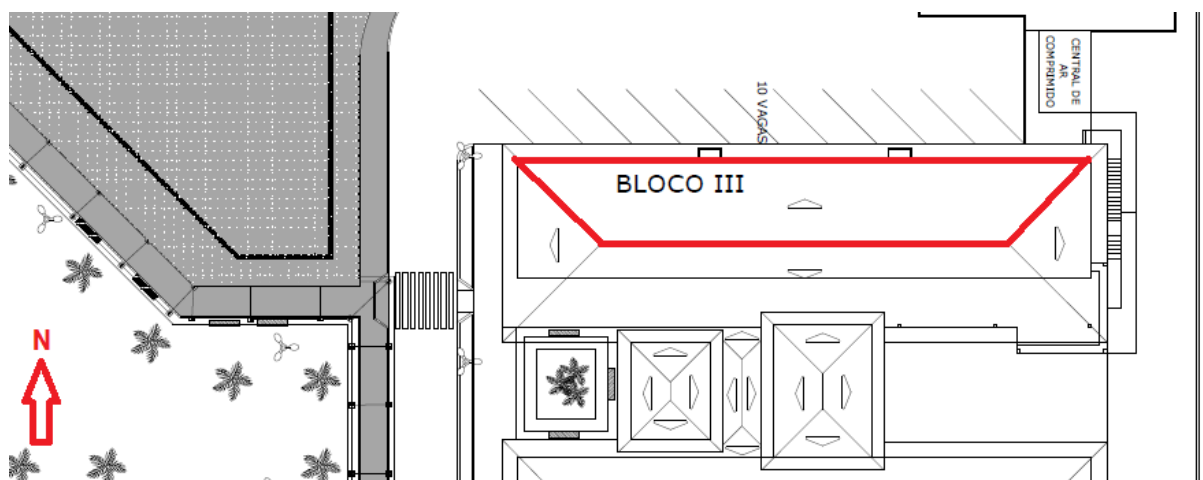


Figura 34: Bloco 3

Fonte: Adaptado do projeto arquitetônico do IFSC – Joinville, 2019.

Devido as condições geométricas trapezoidais da construção do telhado do bloco 3, é difícil analisar o potencial fotovoltaico de toda a área desta face uma vez que as placas fotovoltaicas são de formatos retangulares. Para um resultado mais condizente com a realidade de um projeto de infraestrutura futura as áreas triangulares  $A_t$  foram desconsideradas e somente a área  $A_3$ , exemplificada na figura 35, foi analisada.

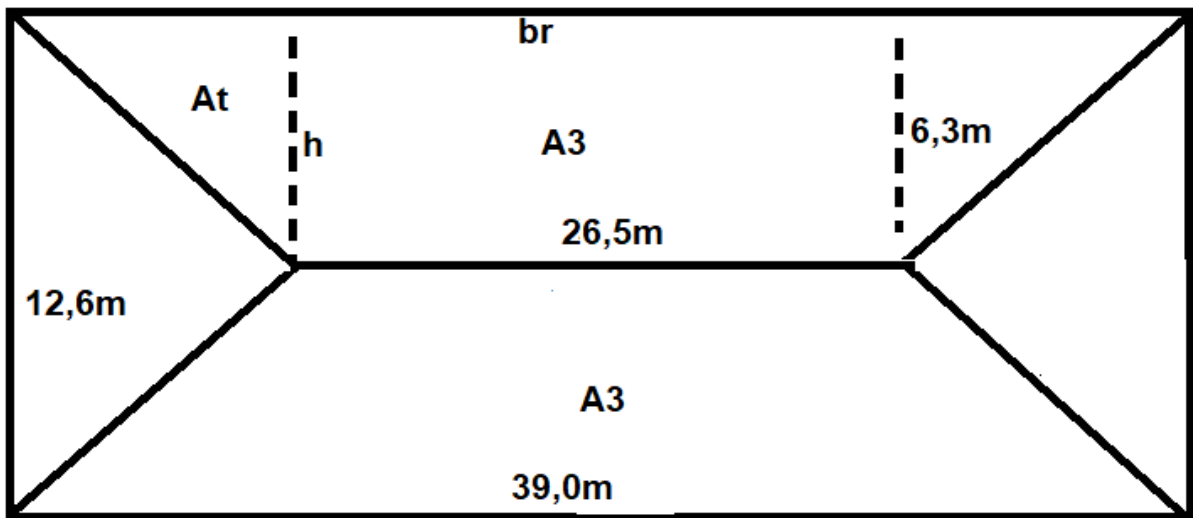


Figura 35: Representação da vista superior do telhado do bloco 3  
Fonte: O autor, 2019.

Para encontrar o tamanho de  $A_3$  foram multiplicados a base do retângulo  $br$  pelo valor da altura  $h$  do retângulo, exemplificado na equação abaixo.

$$A_3 = br \times h = 26,5\text{m} \times 6,3\text{m} = 166,95\text{ m}^2.$$

A figura 36 ilustra a área  $A_3$  do telhado do bloco 3 numa vista lateral com corte ao meio. Desta forma é possível entender melhor as dimensões do mesmo

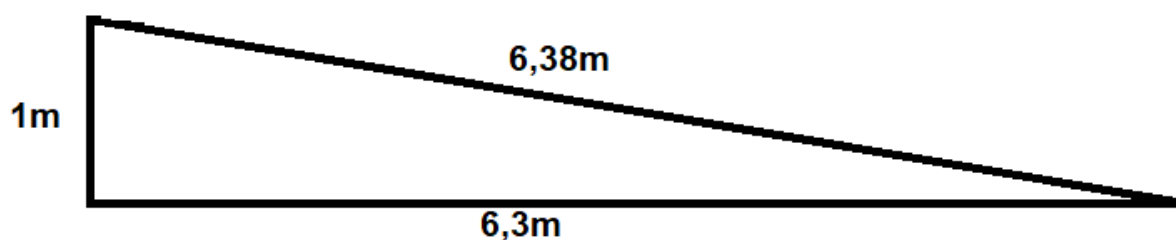


Figura 36: Representação da vista lateral cortada ao meio do telhado na área A3  
Fonte: O autor, 2019.

Com base nos mesmos métodos usados na análise da área A2 é possível calcular a área inclinada de A3 e assim poder mensurar o potencial fotovoltaico. Para fins de análise foi escolhido com base nos critérios de maior produção energética e eficiência, a placa Canadian Solar - Modelo CS6X-320P como referência para os cálculos. De acordo com a tabela 6 do capítulo 3, esta placa possui potência de 320Wp, eficiência de 16,68% e uma área de 1,91 m<sup>2</sup>. Dividindo a área inclinada (Ai) da área A3, pela área de cada placa, obtém-se quantidade de placas (Qp) necessárias na área A3 e conseqüentemente a potência instalada Pinst.

$A_i = 6,38 \text{ m} \times 26,5 \text{ m} = 169,7 \text{ m}^2$ . (Área inclinada).

$Q_p = 169,7 \text{ m}^2 / 1,91 \text{ m}^2 = 88,51$  ou 88 (Placas).

$P_{inst} = 88 \times 320 \text{ Wp} = 28160 \text{ Wp}$ .

Considerando os dados da área A3 e seguindo o mesmo método utilizado na seção 4.2.1.2, porém, considerando uma inclinação de aproximadamente 8° do telhado, tem-se a seguinte tabela com os valores do potencial de energia gerada para todos os meses do ano:

Tabela 14: Potencial de geração anual da área A3 do bloco 3.  
Fonte: O autor, 2019

Meses	Irradiação media (KWh/m <sup>2</sup> /dia)	Energia gerada mensal (KWh)
Janeiro	5,03	3.387,05
Fevereiro	4,86	2.955,88
Março	4,31	2.902,22
Abril	3,65	2.378,52
Maio	3,13	2.107,65

Junho	2,58	1.681,25
Julho	2,90	1.952,77
Agosto	3,08	2.073,98
Setembro	3,34	2.176,50
Outubro	4,34	2.922,42
Novembro	5,09	3.316,89
Dezembro	5,13	3.454,39
MEDIA	-	2.609,13

#### **4.2.5 Análise do Potencial Fotovoltaico do Bloco 4**

O telhado do bloco 4 possui dimensões idênticas as do bloco 3, portanto a área a ser analisada é igual e o potencial fotovoltaico é teoricamente idêntico ao do bloco 3. No capítulo 5 deste trabalho será abordado de forma analítica o único fator divergente encontrado entre os telhados do bloco 3 e 4.

#### **4.2.6 Análise do Potencial Fotovoltaico do Bloco 5**

No bloco 5 estão localizadas salas de aula, laboratórios, sala dos professores e banheiros. Este bloco, assim como o anterior, não será dividido pois somente uma das faces do telhado deste bloco foi construída voltada para o norte. A figura 37 mostra a face do telhado a ser analisada.



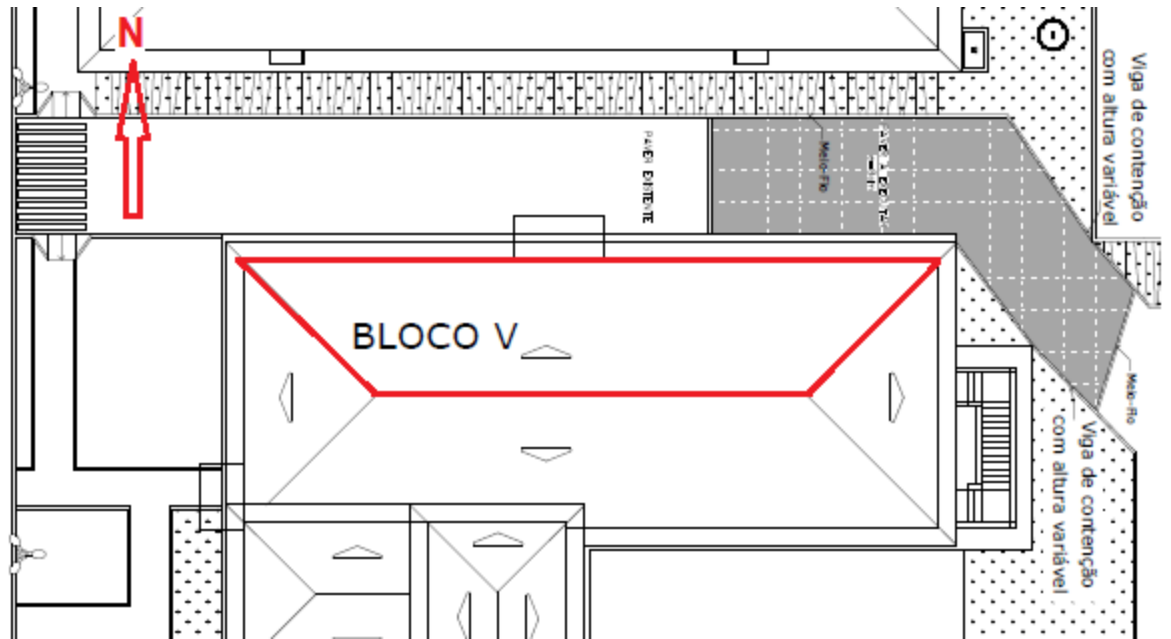


Figura 37: Bloco 5

Fonte: Adaptado do projeto arquitetônico do IFSC – Joinville, 2019.

Assim como nos blocos 3 e 4, as condições geométricas trapezoidais da construção do telhado do bloco 5, tornam difícil a análise do potencial fotovoltaico de toda a área desta face uma vez que as placas fotovoltaicas são de formatos retangulares. Para um resultado mais condizente com a realidade de um projeto de infraestrutura futura, as áreas triangulares  $A_t$  foram desconsideradas e somente a área  $A_5$  exemplificada na figura 38 foi analisada.

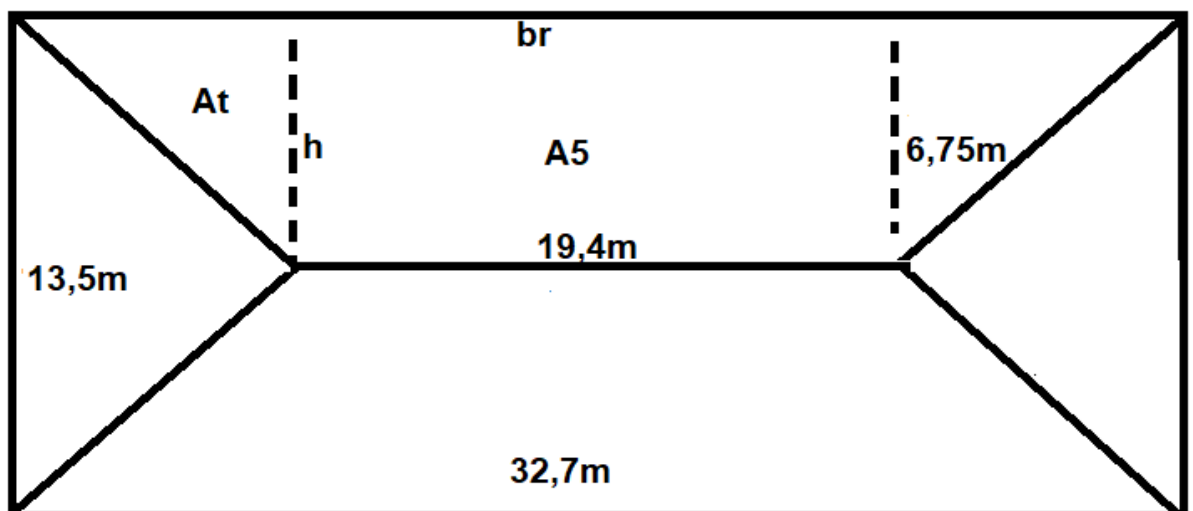


Figura 38: Representação da vista superior do telhado do bloco 5

Fonte: O autor, 2019.

Para encontrar o tamanho de A5 foram multiplicados a base do retângulo br pelo valor da altura h do retângulo, exemplificado na equação abaixo.

$$A5 = br \times h = 19,4 \text{ m} \times 6,75 \text{ m} = 130,95 \text{ m}^2.$$

A figura 39 ilustra a área A5 do telhado numa vista lateral com corte ao meio, desta forma é possível entender melhor as dimensões do mesmo..

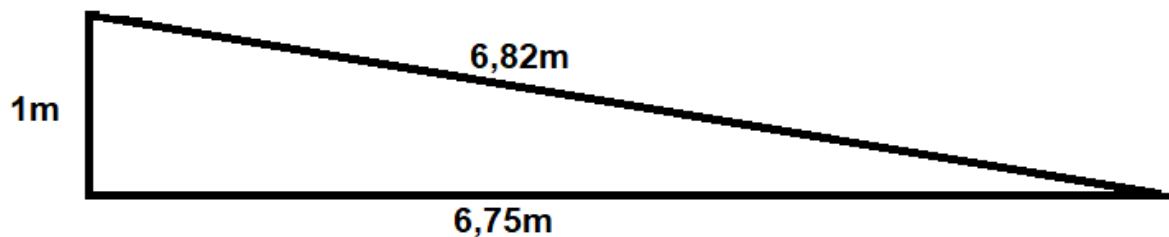


Figura 39: Vista lateral cortada ao meio do telhado na área A5

Fonte: O autor, 2019.

Com base nos mesmos métodos usados na análise da área A2 é possível calcular a área inclinada de A5 e assim poder analisar o potencial fotovoltaico. Para fins de análise foi escolhido com base nos critérios de maior produção energética e eficiência, a placa Canadian Solar - Modelo CS6X-320P como referência para os cálculos. De acordo com a tabela 6 do capítulo 3, esta placa possui potência de 320Wp, eficiência de 16,68% e uma área de 1,91 m<sup>2</sup>. Dividindo a área inclinada (Ai) da área A5, pela área de cada placa, obtém-se quantidade de placas (Qp) necessárias e conseqüentemente a potência instalada Pinst.

$$Ai = 6,82 \text{ m} \times 19,4 \text{ m} = 132,30 \text{ m}^2. \text{ (Área inclinada).}$$

$$Qp = 132,30 \text{ m}^2 / 1,91 \text{ m}^2 = 69,27 \text{ ou } 69 \text{ (Placas).}$$

$$P_{inst} = 69 \times 320 \text{ Wp} = 22080 \text{ Wp.}$$

Considerando os dados da área A5 e seguindo o mesmo método utilizado na seção 4.2.1.2, porém, considerando uma inclinação de aproximadamente 8° do telhado, tem-se a seguinte tabela com os valores do potencial de energia gerada para todos os meses do ano:

Tabela 15: Potencial de geração anual da área A5 do bloco 5.  
 Fonte: O autor, 2019

Meses	Irradiação media (KWh/m <sup>2</sup> /dia)	Energia gerada mensal (KWh)
Janeiro	5,03	2.40,58
Fevereiro	4,86	2.304,43
Março	4,31	2.262,61
Abril	3,65	1.854,32
Maio	3,13	1.643,14
Junho	2,58	1.310,72
Julho	2,90	1.522,40
Agosto	3,08	1.616,90
Setembro	3,34	1.696,83
Outubro	4,34	2.278,35
Novembro	5,09	2.585,88
Dezembro	5,13	2.693,08
MEDIA	-	2.034,10

#### 4.2.7 Análise do Potencial Fotovoltaico do Bloco 6

O telhado do bloco 6 possui dimensões idênticas as do bloco 5, portanto a área a ser analisada é igual e o potencial fotovoltaico é teoricamente idêntico ao do bloco 5. No capítulo 5 deste trabalho serão abordados de forma analítica os fatores divergentes encontrados entre os telhados do bloco 5 e 6.

## 5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Uma breve revisão dos critérios de projeto utilizados neste trabalho deve ser feita antes de ser considerada qualquer discussão a respeito dos resultados obtidos. O primeiro ponto a salientar é o intuito de encontrar o potencial máximo de geração de energia fotovoltaica no campus, utilizando sempre que possível estruturas de telhados pré-existentes (com exceção do estacionamento) sem qualquer alteração a fim de reduzir os custos e assim obter a máxima geração de energia com o mínimo custo. Para fins de cálculo a placa fotovoltaica Canadian Solar - Modelo CS6X-320P foi utilizada em todas as áreas analisadas. O que significa que se for usado uma placa com características diferentes como referência, os valores de potência máxima gerada serão diferentes. Foi também considerado, para obtenção do máximo potencial, que as placas fotovoltaicas serão instaladas totalmente alinhadas ao norte geográfico e com a mesma inclinação dos telhados, sem considerar uma inclinação adicional de qualquer suporte de fixação.

Os níveis de irradiação média também são os mesmos em todas as áreas pois este é o valor para a latitude e longitude, referentes a Joinville, inserida no software Radiasol 2. Os parâmetros diferenciais de cada área estudada são o tamanho e a inclinação de cada telhado, uma vez que foi definida a mesma placa como objeto de referência padrão para todas as áreas analisadas.

É oportuno citar que os resultados estimados de potência gerada pelas placas estão expressos na unidade de Watt-pico, o que significa que não são valores absolutos mas sim valores estipulados com base no rendimento da placa a determinadas condições. O CRESESB (2014), define o Watt-pico (Wp) como uma unidade de potência de saída de uma célula, módulo ou gerador fotovoltaico, considerando as condições padrão de teste, como: temperatura, pressão e nível de irradiação solar máximo.

### 5.1 ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS NO ESTACIONAMENTO

O estacionamento foi dividido em 5 áreas para a realização do cálculo de geração de energia elétrica fotovoltaica. Foi também estimado que será construído nessas áreas, estruturas para fixação das placas fotovoltaicas e para o uso na forma de estacionamento coberto. A área B, possui uma área aproximada de 475 m<sup>2</sup>, e com base nessa dimensão foi calculada uma capacidade de potência máxima

instalada de 77500 Wp. Possui a segunda maior média anual estimada, uma vez que a área D encontra-se extremamente sombreada, esta área (o mesmo vale para a área C) possui o maior potencial de geração de energia fotovoltaica do estacionamento dentre os limites estabelecidos. Isso se deve ao fato de ser a maior área sem sombra do estacionamento, ocupada por coluna dupla de vagas. O estacionamento é de enorme relevância para o potencial de geração de energia fotovoltaica no campus. A tabela 16 mostra o valor total estimado relativo a soma de toda a energia que pode ser gerada no estacionamento.

Tabela 16: Soma das médias mensais do Estacionamento  
Fonte: O autor, 2019

Área	Média mensal (KWh)
A	3.752,73
B	7.341,53
C	7.341,53
D	10.663,29
E	-
Soma da média mensal	29.099,08

## 5.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS NOS BLOCOS 1 E 2

O bloco 1 é onde estão localizadas as salas administrativas do campus, neste trabalho o bloco foi dividido em 3 áreas que correspondem aos pontos de maior relevância para o estudo. A inclinação e a direção dos telhados correspondentes as áreas A1, B1 e C1 favorecem um bom desempenho de um sistema de geração de energia fotovoltaica, porém o telhado da área B1 foi descartado pois a área disponível foi comprometida pela construção de uma caixa d'água no local. A tabela 17 mostra a soma da média mensal da energia que pode ser gerada no bloco 1.

Tabela 17: Soma das medias mensais do bloco 1  
 Fonte: O autor, 2019.

Área	Média mensal (KWh)
A1	604,23
C1	728,76
Soma da media	666,49

O bloco 2 foi dividido em duas áreas sendo elas A2 e B2. A área A2 corresponde a face norte do telhado do prédio mais alto do bloco, com enorme potencial de geração pois possui uma dimensão significativa e é um dos pontos com menos probabilidade de sombreamento de todo o campus. E a área B2 apesar de estar sujeita a sombra de A2, possui comprimento suficiente para a instalação de um sistema de captação fotovoltaico eficiente que esteja aliado a um sistema de SPPM.

Tabela 18: Soma das medias mensais do bloco 2  
 Fonte: O autor, 2019.

Área	Média mensal (KWh)
A2	1.748,74
B2	2.688,14
Soma da média	4.436,88

### 5.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS NOS BLOCOS 3 E 4

Os blocos 3 e 4 correspondem aos blocos de salas de aula e laboratórios, e as áreas A3 e A4 são áreas dos telhados estudados destes blocos respectivamente. Na parte central dos blocos 3 e 4 existe uma elevação estrutural consideravelmente mais alta que os telhados para abrigar os reservatórios de água. Esta elevação faz uma sombra parcial nas áreas A3 e A4 em alguns momentos do dia. Por este motivo é conveniente o uso de um sistema integrado de SPPM para obtenção do potencial máximo de geração de energia nestas áreas. A tabela 19 mostra o resultado da energia fotovoltaica gerada em médias mensais estimadas para as áreas A3 e A4.

Tabela 19: Médias mensais do bloco 3 e 4

Fonte: O autor, 2019.

Área	Média mensal (KWh)
A3	2.609,13
A4	2.609,13

#### 5.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS NOS BLOCOS 5 E 6

Os blocos 5 e 6 tem uma configuração de construção bem parecida com os blocos 3 e 4, também é constituído por salas de aula e laboratórios e possui no centro uma elevação estrutural para o abrigo dos reservatórios de água. Porém possui um telhado menor do que os blocos anteriores e conseqüentemente um potencial menor de geração de energia. Contudo seu tamanho ainda é relevante para um projeto e aliado a um SPPM, um sistema de geração de energia elétrica fotovoltaica seria viável, dado que além da estrutura central, não possui outras fontes de sombreamento. A tabela 20 mostra os resultados para as áreas A5 e A6.

Tabela 20: Médias mensais do bloco 5 e 6

Fonte: O autor, 2019.

Área	Média mensal (KWh)
A5	2.034,10
A6	2.034,10

#### 5.5 COMPARAÇÃO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA ENTRE AS ÁREAS ANALISADAS

A figura 40 compara as médias mensais de produção de energia estimadas nas áreas estudadas do campus:

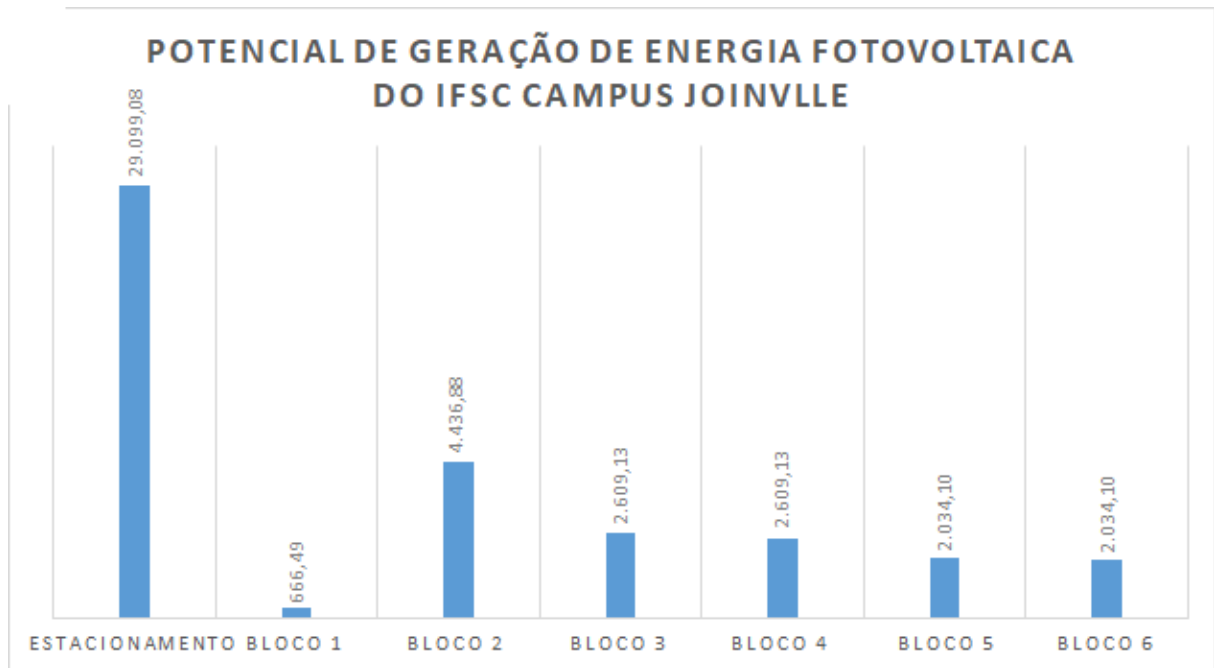


Figura 40: Gráfico do potencial de geração anual de energia fotovoltaica no campus em KWh/mês  
Fonte: O autor, 2019.

De acordo com o gráfico da figura 40 o estacionamento é a área que se destaca pela estimativa mais alta de produção de energia no campus. Porém é necessário ressaltar que esta produção depende da instalação de infraestrutura ainda não presente no local. Apesar do estacionamento produzir mais por ter a maior área disponível e um baixo fator de sombreamento, é sem dúvidas a área onde demanda o maior custo para a instalação dos equipamentos e consequente produção de energia.

Levando em consideração uma relação de custo e benefício, provavelmente as áreas referentes aos telhados do bloco 2 sejam as mais promissoras para a produção de energia fotovoltaica no campus, assim como mostra o gráfico. Essa vantagem ocorre pelo motivo deste bloco possuir a estrutura ideal já construída, um grande telhado com boa inclinação e posicionamento geográfico, sem nenhum sombreamento no seu prédio mais alto correspondente a área A2 e ainda um telhado de boas proporções no prédio mais baixo correspondente a área B2.



## 5.6 COMPARAÇÃO DA ENERGIA ELÉTRICA FOTOVOLTAICA COM O CONSUMO MENSAL DO CAMPUS

Para obter alguns indicadores quantitativos referenciais da análise feita no campus, foi adquirido junto a administração as faturas de energia elétrica do ano de 2018, que mostram o consumo total faturado para o determinado mês. O consumo de energia elétrica convencional foi comparado à energia fotovoltaica que pode ser potencialmente gerada no mesmo mês por um sistema fotovoltaico instalado no campus. Este resultado será basilar para a compreensão futura da viabilidade e do retorno econômico que a implantação de um sistema de geração de energia elétrica fotovoltaica possa ter para o IFSC campus Joinville. A tabela 21 apresenta os valores de consumo do campus nos doze meses do ano.

Tabela 21: Consumo mensal total faturado do campus no ano 2018

Fonte: Celesc 2018.

MÊS	CONSUMO (KWh)
JANEIRO	13.045,00
FEVEREIRO	18.349,19
MARÇO	33.693,61
ABRIL	29.972,15
MAIO	23.892,04
JUNHO	19.187,71
JULHO	15.852,02
AGOSTO	20.706,84
SETEMBRO	20.934,07
OUTUBRO	23.146,94
NOVEMBRO	24.878,15
DEZEMBRO	28.838,00

É possível perceber na tabela acima que o consumo tende a ser maior nos meses de novembro e dezembro e menor nos meses de junho e julho. Isso ocorre por conta das estações correspondentes ao verão e inverno respectivamente, onde existe uma tendência maior do uso de equipamentos de refrigeração como ar-condicionado. Outra correlação que pode ser feita é que o mês que apresenta o

menor consumo, julho, coincide com o período de férias escolares.

No capítulo anterior foi apresentado os valores de energia média gerada mensalmente por cada área analisada no campus. De todas estas, foi concluído que as áreas correspondentes ao estacionamento e ao bloco 2 são as que possuem um maior potencial de geração de energia elétrica fotovoltaico. Para efeito de análise foram comparados os valores de consumo obtidos com os dados do potencial de geração destas áreas, que são as mais relevantes, desta forma o processo futuro de decisão sobre um projeto de implementação ficará mais claro. A figura 41 mostra este comparativo, entre o consumo (coluna da esquerda) e a geração no bloco 2 (coluna da direita).

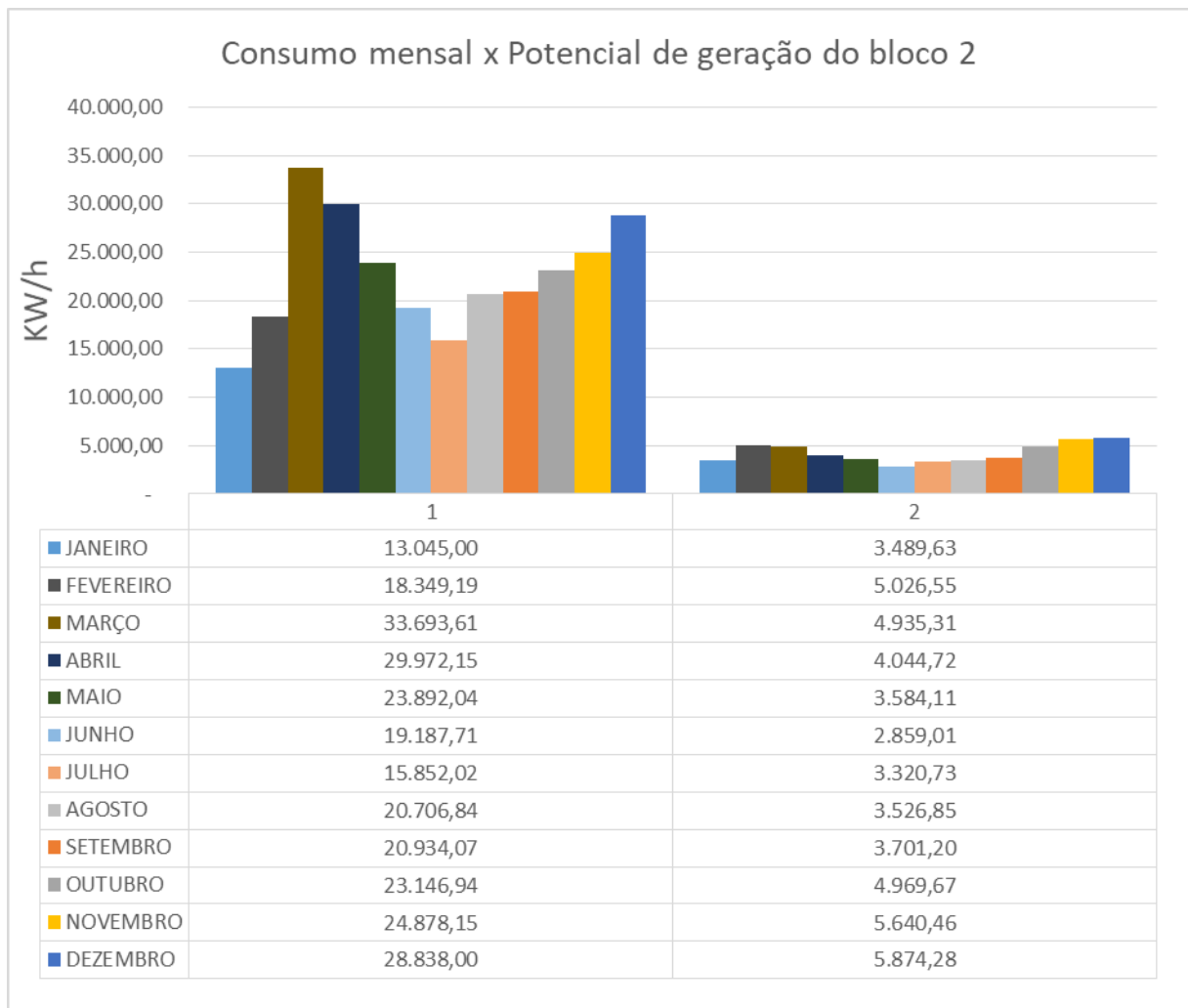


Figura 41: Consumo mensal x potencial do bloco 2

Fonte: O autor, 2019.

Pode-se observar que o potencial de geração de energia elétrica do bloco 2 é baixo em relação a todo o consumo da instituição, sendo que no mês mais produtivo, dezembro, supre 20% do consumo e no mês menos produtivo, junho, supre apenas 13% do consumo total do campus.

O estacionamento tem a maior área útil disponível para captação e obteve um resultado relevante nas análises anteriores do potencial de geração de energia. Estes resultados serão comparados agora com o consumo para verificar se os valores encontrados supririam total ou parcialmente o consumo para os doze meses do ano. A figura 42 mostra um gráfico comparativo, entre o consumo (coluna da esquerda) e a geração no estacionamento (coluna da direita).

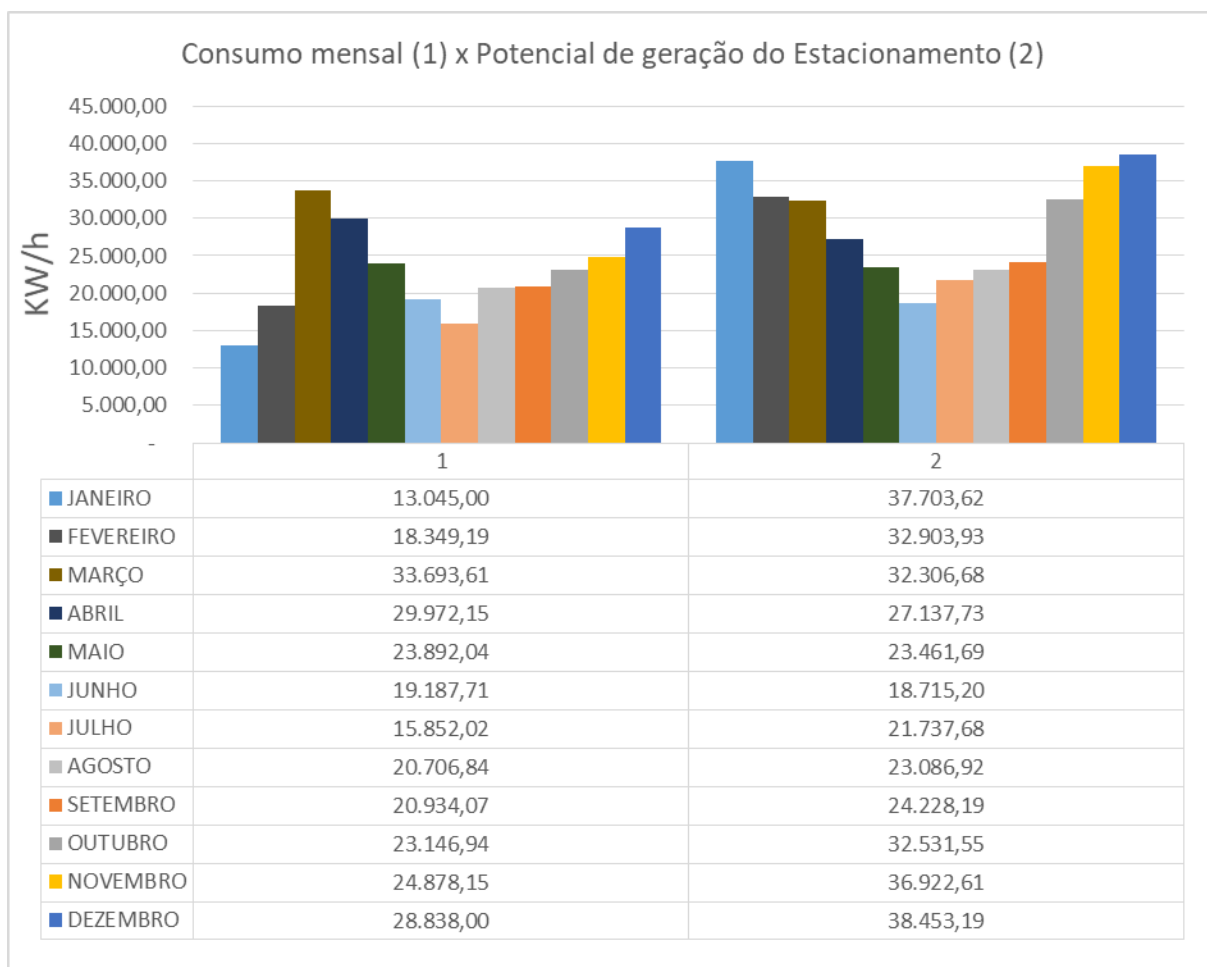


Figura 42: Consumo mensal x potencial do estacionamento

Fonte: O autor, 2019.

Pela figura acima verifica-se que o potencial de geração de energia elétrica fotovoltaica nas áreas analisadas correspondentes ao estacionamento, é mais promissor do que o potencial do bloco 2. Pois no mês de dezembro que é o mais produtivo, pode suprir 133% do consumo, ou seja, mais do que suficiente. No mês menos produtivo, junho, poderá suprir até 98% do consumo total do campus.

A figura 43 mostra esse indicativo para todos os meses do ano.

Mês	Consumo	Área B2	Estacionamento
JANEIRO	13045	27%	289%
FEVEREIRO	18349,19	27%	179%
MARÇO	33693,61	15%	96%
ABRIL	29972,15	13%	91%
MAIO	23892,04	15%	98%
JUNHO	19187,71	15%	98%
JULHO	15852,02	21%	137%
AGOSTO	20706,84	17%	111%
SETEMBRO	20934,07	18%	116%
OUTUBRO	23146,94	21%	141%
NOVEMBRO	24878,15	23%	148%
DEZEMBRO	28838	20%	133%

Figura 43: Percentual do suprimento de energia mensal

Fonte: O autor, 2019.

Se assumido que uma alteração no perfil de consumo de um ano para o outro chegue a no máximo 5%, torna-se plausível afirmar que um sistema de geração de energia fotovoltaico instalado no estacionamento suprirá com folga o consumo de todo o campus durante todo o ano. Além de suprir as necessidades de consumo do campus, se instalado um sistema “on grid”, este poderá fornecer energia para a rede em 8 dos 12 meses do ano, acumulando assim créditos para uso compensatório nas faturas dos meses em que por ventura o sistema e geração de energia elétrica fotovoltaica não opere tão bem ou dentro dos períodos de manutenção.

## 5.7 ANÁLISE PARCIAL DO CUSTO DE AQUISIÇÃO DE PLACAS SOLARES PARA AS ÁREAS DE MAIOR POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA.

O custo médio atual para aquisição de uma placa Canadian Solar - Modelo CS6X-320P é de R\$ 800,00, não é objetivo do presente trabalho fazer um levantamento de custos detalhado, mas para fins de comparação, foi calculado o custo total da compra das placas para as áreas do Estacionamento e do Bloco 2. A tabela 22 mostra esta comparação de custos.

Tabela 22: Comparação de custos de aquisição de placas fotovoltaicas Canadian Solar CS6X – 320P.  
Fonte: O autor 2019.

LOCAL	NÚMERO DE PLACAS NECESSÁRIAS	CUSTO UNITÁRIO (REAIS R\$)	CUSTO TOTAL (REAIS R\$)
ESTACIONAMENTO	988	R\$ 800,00	R\$ 790.400,00
ÁREA BLOCO 2	150	R\$ 800,00	R\$ 120.000,00

Com base na comparação dos resultados verifica-se que a instalação de um sistema de geração de energia fotovoltaica na área do bloco 2 é cerca de 65% mais barata do que a instalação necessária do estacionamento, levando em conta apenas as placas.

Um estudo de “*pay-back*” para estimar a taxa de retorno do investimento, fica como sugestão de projeto futuro, uma vez que para obtenção de informações para uma análise completa, será necessário fazer o dimensionamento dos inversores e cabos para instalação. Também será necessário a realização de consulta à uma empresa especializada em instalação de sistemas de geração de energia fotovoltaica para obtenção de um orçamento de mão de obra.

## 6. CONCLUSÃO

Apesar do Brasil possuir um grande potencial para geração de energia elétrica através de usinas hidrelétricas, devido a imensa quantidade de rios presentes em seu território, este tipo de energia está se tornando cada vez mais cara, não só economicamente mas ambientalmente, com prejuízos na fauna e flora dos locais afetados pelas barragens. Uma das alternativas mais promissoras e que vem ganhando popularidade em todo o mundo é a geração de energia elétrica fotovoltaica.

O presente trabalho, através da metodologia proposta, cumpriu o objetivo de analisar o potencial de geração de energia fotovoltaica do IFSC campus Joinville e com isso obter parte das informações necessárias para uma decisão futura de aquisição e instalação de um sistema gerador próprio. As áreas mais promissoras para a instalação de um sistema gerador, seguindo critérios generalistas porém fundamentais, como a posição e o sombreamento, foram analisadas com auxílio de software específico e observações em campo.

Os resultados obtidos nas áreas com maior potencial de geração foram comparados com o consumo mensal total do campus, afim de mensurar o quanto do consumo total, um sistema de geração de energia elétrica fotovoltaica poderia suprir.

Conclui-se então que o campus possui um grande potencial de geração de energia elétrica fotovoltaica, nos telhados do bloco 2 e principalmente na área de estacionamento. Foi ainda verificado que apesar do provável custo elevado de instalação de telhados no estacionamento, o investimento proporcionaria uma geração de energia capaz de suprir o consumo do campus durante todo o ano. Estes resultados podem ser ainda otimizados no futuro quando a tecnologia permita uma configuração de um sistema gerador ainda mais eficiente.

## 7. REFERÊNCIAS

A HISTÓRIA DA MAIOR HIDRELÉTRICA DO MUNDO. Disponível em: < <https://www.itaipu.gov.br/nossahistoria>>. Acesso em: 10 abr. 2019.

ALMEIDA, Eliane et al. **Energia Solar Fotovoltaica: Revisão Bibliográfica**. Universidade FUMEC 2016. Disponível em: < <https://pdfs.semanticscholar.org/2b37/15511c7d4fda1068be0ae9af887202945b71.pdf>>. Acesso em: 05 jun. 2019.

ARCHIEXPO – 2019. Disponível em: <http://www.archiexpo.com/pt/prod/mprime-by-martifer-solar/product-108567-1108915.html>>. Acesso em : 22 Jun. 2019.

ATLAS BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR – Inpe - São José dos Campos : *INPE*, 2006. il. 60p. Disponível em: < [http://labren.ccst.inpe.br/atlas\\_2006.html](http://labren.ccst.inpe.br/atlas_2006.html)>. Acesso em: 09 jun. 2019.

ATLAS BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR – Inpe - São José dos Campos : *INPE*, 2017. 2ª Edição. 80p. Disponível em: < [http://labren.ccst.inpe.br/atlas\\_2017.html](http://labren.ccst.inpe.br/atlas_2017.html)>. Acesso em: 09 jun. 2019.

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL 2017 (ano base 2016) - Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/sites-en/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-46/topico-82/Relatorio\\_Final\\_BEN\\_2017.pdf](http://www.epe.gov.br/sites-en/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-46/topico-82/Relatorio_Final_BEN_2017.pdf)>. Acesso em: 20 fev. 2019.

BLOG SOLAR – **Como funciona o sistema fotovoltaico com back-up de baterias** – PORTAL SOLAR - 2019. Disponível em: < <https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/como-funciona-o-sistema-fotovoltaico-com-back-up-de-baterias.html>>. Acesso em: 26 fev. 2019.

CARNEIRO, R. L et al. **Aspectos essenciais das Baterias Chumbo-Ácido e Princípios Físico-Químicos e Termodinâmicos do seu Funcionamento**. Rev. Virtual Quim., 2017,9 (3), 889-911. Data de publicação na Web: 7 de junho de 2017. Disponível em: < <http://rvq.s bq.org.br/imagebank/pdf/v9n3a06.pdf> >. Acesso em: 28 abr. 2019.

CHAGAS, M.W.P – **Novas Tecnologias para Avaliação de Baterias**. IEP/LACTEC - Curitiba: 2007. Disponível em: < <http://sistemas.institutoslactec.org.br/mestrado/dissertacoes/arquivos/MarcosWilson.pdf>>. Acesso em: 15 dez. 2019.

CRESESB. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito, 2014. Disponível online em: <[http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual\\_de\\_Engenharia\\_FV\\_2014.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf)>. Acesso em: 20 fev. 2019.

CRESPI, M.H. – **Análise energética e de custo do potencial fotovoltaico conectado à rede de energia elétrica do complexo aeroportuário de Joinville.** Joinville: 2015.

DAZCAL, Rafael Guershom; MELLO, Prof. Dr, Antônio Gonçalves de. **Estudo da Implementação de um Sistema de Energia Solar Fotovoltaica em um Edifício da Universidade Prresbiteriana Mackenzie.** São Paulo: 2008.

DESCONZI, Matheus lensen. Dissertação de Mestrado. **Sistema Fotovoltaico Autônomo Utilizando Configuração Multi-String e Inversor Multinível.** Santa Maria: 2011.

FLANDOLI, Fabio. **Inversores conectados à rede (on grid).** Disponível em: <<http://www.eletricistaconsciente.com.br/pontue/fasciculos/3-inversores/inversores-conectados-rede-on-grid/>>. Acesso em: 11 jul. 2019.

INDICADORES SOCIOECONÔMICOS (2019). Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/setec/arquivos/pdf/Indicadores%20Scio-economicos%20SC.pdf>>. Acesso em: 13 maio. 2019.

MICRO INVERSOR SOLAR GRID TIE – PORTAL SOLAR - 2019. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/modelos-de-placa-solar.html> >. Acesso em: 24 abr. 2019

MODELOS DE PLACA SOLAR – PORTAL SOLAR - 2019. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/modelos-de-placa-solar.html> >. Acesso em: 24 abr. 2019

NASCIMENTO, Cássio. Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica. Lavras – Minas Gerais: UFLA. 2004. Disponível online em: <[http://www.solenerg.com.br/files/monografia\\_cassio.pdf](http://www.solenerg.com.br/files/monografia_cassio.pdf)> Acesso em: 26 fev. 2019.

O QUE SÃO MATERIAIS NANOCRISTALINOS? – MAGMATTEC - 2019. Disponível em: < <http://www.magmattec.com.br/materiais-magneticos-e-aplicacoes/o-que-sao-materiais-nanocristalinos> >. Acesso em: 30 abr. 2019.

PERGHER, Rafael. **Estimativa do Estado de Saúde de Baterias Chumbo – Ácido Seladas Aplicadas em Sistemas de Emergência de Elevadores.** Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia de Controle e Automação. UFRGS - Porto Alegre, RS – 2018.

PFUTZENREUTER, Andréa Holz; PSCHIEDT, Carlos Eduardo. **Análise da viabilidade econômica e dimensionamento associado à implementação de painéis fotovoltaicos em uma edificação vertical de Joinville.** Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades. v. 05, n. 34, 2017.

POLYCRYSTALINE VS MONOCRYSTALINE SOLAR PANELS – SOLARQUOTES - 2019. Disponível em:



<https://www.solarquotes.com.au/panels/photovoltaic/monocrystalline-vs-polycrystalline> >. Acesso em: 30 abr. 2019.

RUTHER, R. – **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial de geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligadas a rede elétrica pública no Brasil.** Florianópolis, SC: Labsolar, 2004.

SHAYANI, Rafael A.; OLIVEIRA, Marco Aurélio G. & CAMARGO, Ivan Marques (2006). Comparação de Custo entre Energia Solar Fotovoltaica e Fontes Convencionais. *V Congresso Brasileiro de Planejamento Energético*, CPBE. Políticas Públicas para Energia: Desafios para o próximo quadriênio, 31/maio-02/junho 2006. Brasília, DF.

SILVA, Humberto Trindade da. - **Estudos sobre a interação de métodos de anti-ilhamento para sistemas fotovoltaicos conectados à rede de distribuição de baixa tensão com múltiplos inversores.** São Paulo, SP. 2016.

SISTEMAS ISOLADOS - RENOVASOL - 2019. Disponível em: < <http://www.renovasolenergia.com.br> >. Acesso em: 24 abr. 2019

USINA HIDRELÉTRICA DE ITAIPU. Disponível em: < [http://desafios.ipea.gov.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=2328:catid=28&Itemid=23](http://desafios.ipea.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=2328:catid=28&Itemid=23)>. Acesso em: 20 fev. 2019

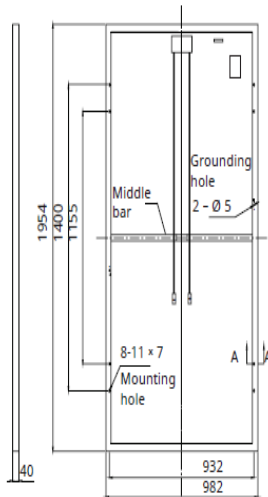
VEJA COMO A ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA É GERADA (GERAÇÃO DISTRIBUIDA) – DESOL - 2019. Disponível em: < <http://www.desol.com.br/> >. Acesso em: 24 abr. 2019.



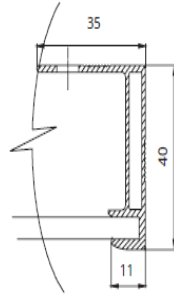
## ANEXO A – PLACA SOLAR CANADIAN CS6X – 320P

### ENGINEERING DRAWING (mm)

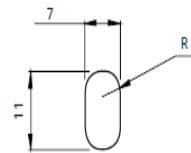
Rear View



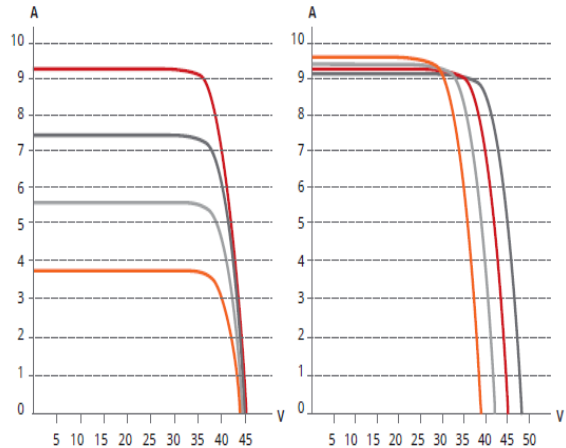
Frame Cross Section A-A



Mounting Hole



### CS6X-320P / I-V CURVES



■ 1000 W/m<sup>2</sup>  
 ■ 800 W/m<sup>2</sup>  
 ■ 600 W/m<sup>2</sup>  
 ■ 400 W/m<sup>2</sup>

■ 5°C  
 ■ 25°C  
 ■ 45°C  
 ■ 65°C

### ELECTRICAL DATA / STC\*

CS6X	310P	315P	320P
Nominal Max. Power (Pmax)	310 W	315 W	320 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	36.4 V	36.6 V	36.8 V
Opt. Operating Current (Imp)	8.52 A	8.61 A	8.69 A
Open Circuit Voltage (Voc)	44.9 V	45.1 V	45.3 V
Short Circuit Current (Isc)	9.08 A	9.18 A	9.26 A
Module Efficiency	16.16 %	16.42 %	16.68 %
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C		
Max. System Voltage	1000 V (IEC) or 1000 V (UL)		
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 1703) or CLASS C (IEC 61730)		
Max. Series Fuse Rating	15 A		
Application Classification	Class A		
Power Tolerance	0 ~ + 5 W		

\* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m<sup>2</sup>, spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

### MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Poly-crystalline, 6 inch
Cell Arrangement	72 (6×12)
Dimensions	1954×982×40 mm (76.9×38.7×1.57 in)
Weight	22 kg (48.5 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame Material	Anodized aluminium alloy
J-Box	IP67, 3 diodes
Cable	4 mm <sup>2</sup> (IEC) or 4 mm <sup>2</sup> & 12 AWG 1000V (UL), 1150 mm (45.3 in)
Connectors	Friends PV2a (IEC), Friends PV2b (IEC / UL)
Standard Packaging	26 pieces, 620 kg (1366.9 lbs) (quantity & weight per pallet)
Module Pieces per Container	624 pieces (40' HQ)