



Universidade Federal
do Rio de Janeiro

Escola Politécnica

DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO APLICADO À CENTRAL DE ÁGUA GELADA DE UM SHOPPING CENTER

Thomás Arévalo Louzada

Projeto de Graduação apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Orientador: David Alves Castelo Branco

Rio de Janeiro
Setembro de 2016

DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO APLICADO À CENTRAL DE ÁGUA GELADA DE UM SHOPPING CENTER

Thomás Arévalo Louzada

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO MECÂNICO.

Examinada por:

Prof. David Alves Castelo Branco, DSc

Prof. Silvio Carlos Aníbal de Almeida, DSc

Prof. Thiago Gamboa Ritto, DSc

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

SETEMBRO DE 2016

Arévalo Louzada, Thomás

Dimensionamento de um sistema solar fotovoltaico aplicado à shopping center/ Thomás Arévalo Louzada – Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2016.

XXI, 75 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: David Alves Castelo Branco

Projeto de Graduação – UFRJ/ Escola Politécnica/
Departamento de Engenharia Mecânica, 2016.

Referências Bibliográficas: p. 59-62.

1.Sistema Fotovoltaico. 2.Dimensionamento do sistema.
3.Energia solar fotovoltaica. 4.Fontes renováveis. I. Castelo Branco, D. A. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Departamento de Engenharia Mecânica. III. Dimensionamento de um sistema solar fotovoltaico aplicado à central de água gelada de um shopping center.

“ Não acredite em pessoas que não acreditam em sonhos. ”

Thomás Louzada

Agradecimentos

Primeiramente aos meus pais, Mauro e Carmela, que dedicaram a sua vida em prol dos filhos e não falharam nessa missão. Palavras não conseguem descrever o tamanho de meu agradecimento por todos os momentos que passamos juntos.

Ao meu irmão Pablo, que apesar de menor idade, sempre me ensinou muito e possui um coração enorme, obrigado por tudo.

A minha companheira Emanuelle Brabo, que me deu a honra de dividir sua caminhada e esteve do meu lado de maneira incondicional durante todos esses quase 6 anos. Você me fez crescer e ser uma pessoa melhor.

A toda minha família, que representada pelos meus tios, tias, primas, primos compartilharam momentos incríveis e me mostraram o que existe de mais importante na vida.

A minha vó Thereza, que apesar de minhas ausências sempre me acolheu com palavras de conforto e experiência. O tempo que compartilhamos juntos foi fundamental para mim.

Ao meu Tio Lucho, que hoje não se encontra mais fisicamente ao meu lado, porém eu tenho certeza que está feliz com esse momento, e a todos os parentes de São José dos Campos – SP e espalhados pelo Brasil, meu muito obrigado por me ensinar o verdadeiro significado da palavra família.

Aos meus amigos, representados por Bernardo Oliveira, Victor Hugo Santos, Bruno Cardoso, Pedro Henrique Pinheiro e Felipe Caruso, os momentos ao lado de vocês tornam a vida mais alegre e feliz.

A Juliana Dias, Carlos Vitor e Paulo Henrique Cardoso, que me ensinam diariamente e contribuem para o meu crescimento profissional e pessoal, muito obrigado pela oportunidade e aprendizagem, meus agradecimentos se estendem a todo do shopping Ilha Plaza e da BRMALLS.

A Equipe Minerva BAJA e aos meus amigos da faculdade, André Gutnik, Bruno Pedroso, Diego Rodrigues, Eduardo Fonseca, Fabricio Vieira, Frederico Baumann, Guilherme Marun, Guilherme Vidal, Leonardo Skaetta, Mariano Elsztain, Matheus Dutra, Paulo Henrique Cardoso, Paulo Victor Mendes, Pedro Carvalho, Pedro Dorea, Thales Bonan e Danielle Manera, nossos momentos na faculdade estarão sempre na minha memória.

A Rodrigo Oliveira e Pedro Carqueija que serão sem dúvidas excelentes profissionais e que tive a honra de dividir bons momentos na UFRJ.

Aos professores Thiago Ritto, Nisio Brum e principalmente Silvio Aníbal, agradeço por todos os ensinamentos passados e que foram fundamentais na minha formação, sem dúvida levarei seus ensinamentos comigo durante toda minha vida profissional.

A Professor David Branco por ter aceitado me orientar e transmitir parte de seu conhecimento para este projeto.

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Mecânico.

DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO APLICADO À CENTRAL DE ÁGUA GELADA DE UM SHOPPING CENTER

Thomás Arévalo Louzada

Setembro/2016

Orientador: David Alves Castelo Branco

Curso: Engenharia Mecânica

Este presente projeto tem a finalidade de dimensionar e analisar economicamente a viabilidade do uso da energia solar fotovoltaica como fonte de energia para atender a central de água gelada de um shopping center, composta por *chillers*, torres de resfriamento e bombas primárias, secundárias e de condensação. As fontes de energia renováveis vêm se inserindo em diversas áreas da indústria e do comércio, além de residências em todo o mundo durante as últimas décadas. Sendo assim, neste trabalho foi analisado a área disponível, a radiação solar incidente e a demanda de consumo do sistema de refrigeração do empreendimento, também foi realizado o dimensionamento dos principais equipamentos necessários para o sistema energético solar e a estimativa do custo total de todo o conjunto. Ademais, foram utilizadas as ferramentas de simulação *Retscreen 4* e *System Advisor Model* para validação dos resultados obtidos no projeto. Por fim, o estudo de viabilidade econômica foi elaborado com análises de *payback* e VPL para avaliar a atratividade da perspectiva do investidor.

Abstract of Undergraduate Project presented to POLI/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Mechanical Engineer

SIZING A SOLAR SYSTEM FOTOVOLTAICO APPLIED TO CENTRAL CHILLED WATER FROM A SHOPPING CENTER

Thomás Arévalo Louzada

September/2016

Advisor: David Alves Castelo Branco

Course: Mechanical Engineering

The present project is intended to size and economically analyze the feasibility of the use of photovoltaic solar energy as a source of energy to supply the central chilled water from a shopping mall, consisting of chillers, cooling towers and primary, secondary and condensing pumps. Renewable energy sources have been inserting in various areas of industry and commerce, and homes around the world over the past decades. Thus, this work was analyzed the available area, the incident solar radiation and the consumer demand of the enterprise cooling system was also carried out the design of the main equipment needed for the energetic solar system and the estimated total of the whole cost . In addition, they used the simulation tools *Retscreen 4* and *System Advisor Model* for validation of the results obtained in the project. Finally, the economic feasibility study was prepared with analysis of payback and NPV to evaluate the attractiveness of the investor's perspective.

Sumário

Lista de Figuras	xvi
Lista de Tabelas	xviii
Lista de Símbolos	xix
1 Introdução	1
1.1 Motivação	1
1.2 Objetivo	5
1.3 Estrutura dos capítulos.....	6
2 Energia Solar Fotovoltaica	7
2.1 Histórico	7
2.2 Radiação solar.....	9
2.3 Efeito fotovoltaico	14
2.4 Células fotovoltaicas.....	15
2.5 Sistemas fotovoltaicos	16
2.5.1 Isolados.....	16
2.5.2 Conectados à rede	16
3 Componentes do Sistema Fotovoltaico	17
3.1 Módulos fotovoltaicos	17
3.2 Inversores.....	23
4 Projeto	24
4.1 Shopping Center	24
4.1.1 Radiação solar	29
4.1.2 Localização e espaço físico	31
4.1.3 Demanda e consumo	32
4.2 Dimensionamento	35
4.2.1 Painéis fotovoltaicos	35
4.2.2 Inversores	47

5 Estimativas de Custos	50
5.1 Simulação computacional.....	56
6 Conclusões	59
6.1 Conclusões e trabalhos futuros	59
Referências Bibliográficas	61
A Folha de dados	66
A.1 Módulos fotovoltaicos	66
A.2 Inversores.....	68
B Checklist Park Sol Estacionamento Solares	70

Lista de Figuras

1.1	Geração de energia elétrica mundial em 2014.....	2
1.2	Crescimento acumulado global da capacidade fotovoltaica	2
1.3	Localização da área disponível para o projeto.....	5
2.1	Eventos relevantes do desenvolvimento dos equipamentos da energia Fotovoltaica	8
2.2	Ângulos representando a posição do sol em relação ao plano horizontal.	11
2.3	Orientação de uma superfície em ao plano horizontal	11
2.4	Fluxo de potência global	12
2.5	Radiação solar média anual no Brasil.....	13
3.1	Representação do painel fotovoltaico.	17
3.2	Representação da associação em série.....	17
3.3	Curva característica de uma associação em série.....	18
3.4	Representação da associação em paralelo.....	18
3.5	Curva característica de uma associação em paralelo	19
3.6	Curva característica de uma célula de silício cristalino.....	20
3.7	Curva característica com a mudança de intensidade luminosa	21
3.8	Curva característica com a mudança de temperatura.....	22
3.9	Representação do inversor.	23
4.1	Localização do Shopping Center	24
4.2	Sistema de Refrigeração do Shopping Center	25
4.3	UR03 – <i>Chiller</i> centrífugo York com 400 TR.....	28
4.4	Variação da irradiação solar média.....	30
4.5	Localização da área superior do cinema disponível para o projeto	31
4.6	Telhado do cinema	31

4.7	Varição do consumo de energia elétrica do ano de 2014.....	33
4.8	Varição do consumo de energia elétrica do ano de 2015.....	34
4.9	Módulo fotovoltaico MAXPOWER CS6X-315P.....	36
4.10	Fator de espaçamento (Fe)	36
4.11	Esquema do espaçamento.....	37
4.12	Vista superior das vagas indisponíveis do estacionamento devido o sombreamento.....	38
4.13	Vista superior das vagas disponíveis do estacionamento.....	39
4.14	Inclinação dos módulos fotovoltaicos no estacionamento G3.....	40
4.15	Comprimento do módulo fotovoltaico.....	40
4.16	Estrutura Schletter Parksol B1.....	43
4.17	Modelo Schletter Parksol B1	44
4.18	Fixação dos módulos na parte superior do cinema	45
4.19	Estrutura na parte superior do cinema	46
4.20	Inversor INGECON SUN 100TL B22.	47
4.21	Perdas totais de energia em função do FDI para Fortaleza.....	49
5.1	Custo do painel fotovoltaico na Europa	50
5.2	Custo do inversor de corrente	51
5.3	Tarifa de energia elétrica (R\$/kWh)	53
5.4	Simulação no software Retscreen.....	56
5.5	Gráfico do fluxo de caixa do Retscreen.....	57
5.6	Configuração do sistema no software SAM.....	58
5.7	Produção de energia segundo SAM.....	58

Lista de Tabelas

1.1	Consumo cativo por classe consumidora no Brasil	3
1.2	Consumo comercial por gênero no Brasil	4
2.1	Determinação do parâmetro n.....	10
4.1	Irradiação solar média.....	30
4.2	Estratificação do consumo mensal de energia elétrica do ano de 2014.	32
4.3	Estratificação consumo acumulado de energia elétrica do ano de 2014	32
4.4	Estratificação do consumo mensal de energia elétrica do ano de 2015.	33
4.5	Estratificação consumo acumulado de energia elétrica do ano de 2015.	34
4.6	Ângulo de inclinação recomendado para os módulos	35
4.7	Principais características do módulo fotovoltaico.....	39
4.8	Principais características do inversor de corrente	48
5.1	Estrutura do CAPEX para um sistema fotovoltaica.....	51
5.2	Custo total dos principais equipamentos.....	52
5.3	Custo total do sistema fotovoltaico.....	52
5.4	Custo total do sistema fotovoltaico completo.....	53
5.5	Análise econômica do projeto	55

Lista de Símbolos

δ	Declinação solar, p. 9
α	Altitude solar, p. 10
β	Inclinação da superfície, p. 10
θ	Ângulo de incidência, p. 10
θ_z	Ângulo zenital, p. 10
γ	Ângulo azimutal da superfície, p.10
γ_s	Ângulo azimutal do sol, p. 10
ω	Ângulo horário do sol ou hora angular, p. 11
$I_{0,ef}$	Intensidade da irradiação solar, W/m^2 , p. 12
V_{OC}	Tensão de circuito aberto (Open Circuit Voltage), V , p. 19
I_{CC}	Corrente de curto-circuito (Short Circuit Current), A , p.19
P_M	Potência máxima, W , p.20
FF	Fator de forma, p. 20
η	Eficiência, p.20
D	Distância entre o obstáculo e o painel fotovoltaico, m , p. 36
F_e	Fator de espaçamento, p. 36
H_{ob}	Altura do objeto, m , p.36
H_i	Altura em relação ao nível do solo em que se encontram os módulos, m , p. 36

A_{total}	Área total disponível para aplicação dos módulos fotovoltaicos, m^2 , p. 38
φ	Ângulo de inclinação do módulo, p. 39
A_p	Área total ocupada pelos painéis fotovoltaicos, m^2 , p. 41
N_p	Quantidade de módulos fotovoltaicos, p. 41
P_{total}	Potência total fornecida pelos módulos, W , p. 41
η_{MOD}	Eficiência do módulo, p. 41
E_S	Irradiação solar média, $kWh/m^2.dia$, p. 41
E_p	Energia produzida, kWh/dia , p. 41
P_{FV}	Potência instalada, W , p. 42
η_{sist}	Eficiência do sistema, p. 42
H_{SP}	Horas de sol pleno, p. 42
FDI	Fator de dimensionamento do inversor, p. 48
E_g	Energia gerada, kWh/dia , p. 54
T	Tarifa de energia elétrica, $R\$/kWh$, p. 54

Lista de Abreviaturas

<i>UR</i>	Unidade resfriadora, p. 25
<i>BAGP</i>	Bombas do Anel Primário, p. 26
<i>BAGS</i>	Bombas do Anel Secundário, p. 26
<i>BAGC</i>	Bombas do Circuito de Água de Condensação, p. 27
<i>CAPEX</i>	<i>Capital expenditure</i> , p. 51
<i>VPL</i>	Valor Presente Líquido, p. 54
<i>TIR</i>	Taxa Interna de Retorno, p. 54

Capítulo 1

Introdução

1.1 Motivação

A demanda do consumo de energia cresce acompanhando o desenvolvimento da humanidade, essa condição esteve presente durante toda a nossa sociedade e é claramente verificada pela evolução de nossas máquinas, como a máquina a vapor, automóveis e turbinas a gás, que hoje fornecem grande quantidade de energia para atender as nossas necessidades.

Devido ao elevado poder calorífico dos combustíveis fósseis e sua abundância no passado, essa foi a fonte de energia em que se estruturam os países para o seu crescimento. A grande questão dessa escolha nos dias atuais são as seguintes: os riscos ambientais causados pela queima dos combustíveis e a esgotabilidade das reservas que nos dias atuais orientam os estudos para novas formas de obtenção de recursos energéticos.

A diversificação da matriz energética possibilita o uso de fontes renováveis que são totalmente disponíveis na natureza, como o vento, o sol, o oceano, dentre outros. A energia originada do sol possui um grande potencial teórico por causa da sua infinidade dentro da escala humana e a possibilidade de instalação perto da unidade consumidora. Do lado negativo dessa fonte está sua intermitência, a baixa densidade energética e a necessidade de fontes de armazenamento.

Apesar do crescimento de renováveis, a participação de eletricidade a partir de combustíveis fósseis não tem variado muito. O mix de geração de eletricidade mundial em 2014 permaneceu dominado pelos combustíveis fósseis (59%), principalmente carvão e gás como mostra a Figura 1.1[1].

No entanto, o avanço tecnológico tem viabilizado o uso da energia solar para residências isoladas e integradas a rede em grandes centros, além de indústrias, edifícios comerciais e estádios de futebol. Assim, diversos países vêm investindo em outras formas de obtenção de energia devido ao aumento de projetos existentes envolvendo energia renováveis.

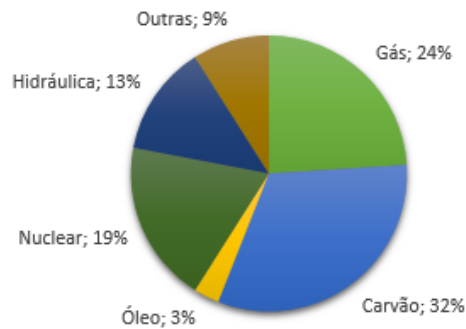


Figura 1.1: Geração de energia elétrica mundial em 2014.

* Outros incluindo a energia geotérmica, solar, eólica, das marés, biocombustíveis, resíduos e calor.

Fonte: Adaptado de [1].

Nos últimos anos, a capacidade fotovoltaica instalada tem crescido a uma taxa média de 49% ao ano (Figura 1.2). Aproximadamente 37 GW de nova capacidade foi instalada no ano de 2013, elevando a capacidade total global para mais de 135 GW. Apenas a China instalou mais do que toda a Europa, com mais de 11 GW. Japão ficou em segundo lugar com quase 7 GW, e o terceiro Estados Unidos com mais de 4 GW. [2]

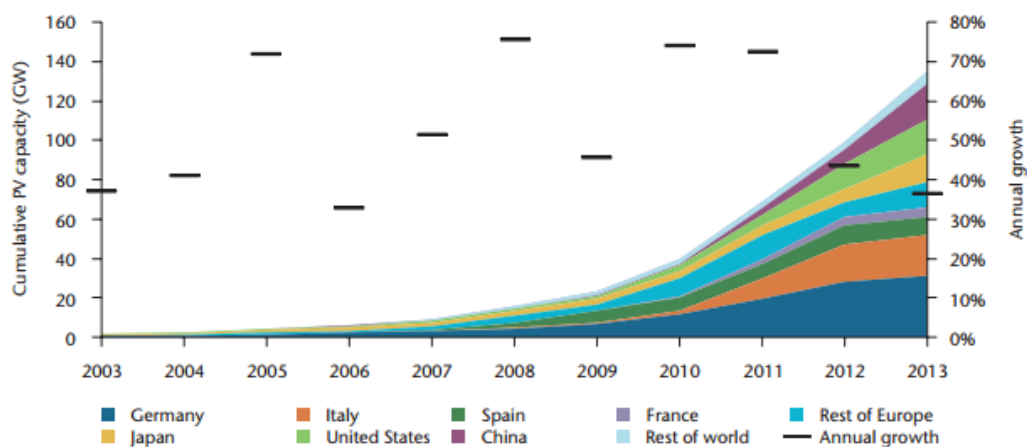


Figura 1.2: Crescimento acumulado global da capacidade fotovoltaica.

Fonte: [2].

No Brasil, os dados tratados serão em relação ao consumo anual de energia elétrica na rede por classe para expor a importância na redução do consumo no setor do comércio. Na tabela 1.1 é possível verificar que o comércio representa cerca de 23% do consumo total nesses anos e o crescimento do ano de 2013 para o ano de 2014 foi de 7,2%, tornando-se o setor de maior crescimento neste período. [3]

A tabela 1.2 representa a importância do comércio varejista no consumo de energia elétrica, considera-se comércio varejista o que vende diretamente para os consumidores finais, como supermercados e shopping centers. Sendo este último, o local em que será feito posteriormente o estudo de caso para a implementação do sistema fotovoltaico.

Tabela 1.1: Consumo cativo por classe consumidora no Brasil.

* Outros incluindo Rural, Poder Público, Iluminação Pública, Serviço Público e Próprio.

Fonte: Adaptado de [3].

	2010	2011	2012	2013	2014	$\Delta\%$ (2014/2013)	Part. % (2014)
Brasil	310.3	320.3	327.5	336.7	354.78	5.4	100.0
Residencial	107.215	111.971	117.646	124.908	132.399	6.0	37.3
Industrial	78.790	76.578	69.940	67.180	68.327	1.7	19.3
Comercial	66.630	70.264	74.707	77.399	83.003	7.2	23.4
Outros*	57.718	61.539	65.205	67.245	71.044	5.6	20.0

Nos dias atuais, grande parte da energia consumida pela humanidade é utilizado pelo sistema de condicionamento de ar, principalmente no comércio, que tem a função de manter um ambiente dentro de condições que proporcionem conforto para as pessoas.

Em grandes empreendimentos, o sistema de refrigeração possui um alto custo de implementação e manutenção devido à complexidade e a necessidade do pleno funcionamento do sistema. Esse sistema garante o conforto térmico do cliente durante as altas temperaturas presentes no Brasil, principalmente no final do ano, quando as compras tendem a crescer.

Tabela 1.2: Consumo comercial por gênero no Brasil.

Fonte: Adaptado de [3].

	2013	2014	$\Delta\%$ (2014/2013)	Part. % (2014)
Brasil Comercial	83.704	89.840	7.3	100
47 - COMÉRCIO VAREJISTA	21.175	23.578	11.3	26.2
46 - COMÉRCIO POR ATACADO, EXCETO VEÍCULOS	5.911	7.165	21.2	8.0
81 - SERVIÇOS PARA EDIFÍCIOS E ATIVIDADES PAISAGÍSTICAS	4.193	4.962	18.3	5.5
56 - ALIMENTAÇÃO	3.918	4.208	7.4	4.7
61 - TELECOMUNICAÇÕES	3.959	4.181	5.6	4.7
64 - ATIVIDADES DE SERVIÇOS FINANCEIROS	3.411	3.646	6.9	4.1
86 - ATIVIDADES DE ATENÇÃO À SAÚDE HUMANA	3.185	3.589	12.7	4.0
55 - ALOJAMENTO	2.567	2.903	13.1	3.2
68 - ATIVIDADES IMOBILIÁRIAS	1.941	2.516	29.6	2.8
94 - ATIVIDADES DE ORGANIZAÇÕES ASSOCIATIVAS	2.237	2.476	10.7	2.8
96 - OUTRAS ATIVIDADES DE SERVIÇOS PESSOAIS	2.353	2.280	-3.1	2.5
85 - EDUCAÇÃO	2.069	2.278	10.1	2.5
52 - ARMAZENAMENTO E ATIVIDADES AUXILIARES DOS TRANSPORTES	1.914	2.238	16.9	2.5
82 - SERVIÇOS DE ESCRITÓRIO	2.170	2.211	1.9	2.5
45 - COMÉRCIO E REPARAÇÃO DE VEÍCULOS AUTOMOTORES	1.826	2.090	14.5	2.3
93 - ATIVIDADES ESPORTIVAS E DE RECREAÇÃO E LAZER	1.298	1.439	10.8	1.6
49 - TRANSPORTE TERRESTRE	925	990	7.0	1.1
53 - CORREIO E OUTRAS ATIVIDADES DE ENTREGA	862	899	4.3	1.0
63 - ATIVIDADES DE PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS DE INFORMAÇÃO	793	860	8.4	1.0
MICROCLASSES com participação < 1%	5.636	6.557	16.3	7.3
NÃO CATALOGADAS	11.360	8.776	-22.8	9.8

Segundo VENTURINI [4], “A utilização dos sistemas de refrigeração é indispensável. Como consequência, também é indispensável o uso da energia elétrica para o acionamento dos motores e outros equipamentos associados a esses sistemas. Assim, se não é possível evitar a degradação ambiental pela exploração irracional dos recursos naturais, uma importante contribuição nesse contexto consiste em reduzir ao máximo o uso irracional da energia. Se não pela consciência ambiental da necessidade de deixar para as futuras gerações um planeta em melhores condições de habitabilidade, ao menos para reduzir os custos dos serviços, que, em última análise, serão sempre pagos pela sociedade.”

O sistema de refrigeração representa uma grande parte do consumo de energia elétrica do comércio, por exemplo, em shoppings centers esses sistemas podem representar 20% da energia total de todo o negócio, como será visto adiante.

1.2 Objetivo

Dada a motivação de descentralizar a matriz energética brasileira e o alto consumo de energia pelo setor do comércio, o objetivo deste estudo é realizar um projeto básico de um sistema fotovoltaico para atender a demanda de energia da central de água gelada do shopping Ilha Plaza, situado na Ilha do Governador, na cidade do Rio de Janeiro.

Para isto, o projeto tem a finalidade de dimensionar os painéis fotovoltaicos e seus principais componentes para atender a demanda de energia da CAG (Central de Água Gelada) do empreendimento, além do estudo de viabilidade econômica e *payback*. Será levado em conta o custo de operação e manutenção, dispendo de auxílio de softwares para a obtenção dos resultados.

A figura 1.3 apresenta a localização do estabelecimento que será explorado para a utilização dos equipamentos fotovoltaicos, a área disponível está presente no último piso e será descrita com mais detalhes adiante.



Figura 1.3: Localização da área disponível para o projeto.

Fonte: Autor.

1.3 Estrutura dos Capítulos

O presente trabalho estrutura-se da seguinte forma.

O capítulo 2 apresenta uma introdução a energia solar fotovoltaico, transitando pelo seu histórico, radiação solar e funcionamento do efeito fotovoltaico, terminando com os sistemas isolados e conectados à rede.

O capítulo 3 demonstra os principais equipamentos do sistema fotovoltaico são citados: os módulos fotovoltaicos e os inversores de corrente, que são extremamente necessários para o funcionamento do sistema.

O capítulo 4 inicia o estudo de caso, utilizando os dados de área e radiação solar disponível do shopping Ilha Plaza, além do dimensionamento dos painéis, dos equipamentos necessários e estrutura de suporte dos painéis.

O capítulo 5 apresenta a viabilidade econômica e *payback* do projeto com as estimativas de custo de instalação e manutenção de todos os componentes do sistema, considerando seus valores de mercado. E as simulações utilizando softwares especializados.

No final, o capítulo 6 demonstra as conclusões da análise do projeto e possibilidades de estudos futuros.

Capítulo 2

Energia Solar Fotovoltaica

2.1 Histórico

A história da energia solar fotovoltaica se inicia com o registro da descoberta do efeito fotovoltaico pelo físico francês Edmond Becquerel em 1839, ao notar que a absorção de luz produz uma diferença de potencial em um eletrólito. Em 1876 no Reino Unido, Adams e Day observaram o efeito fotovoltaico em sólidos através do selênio com uma eficiência de aproximadamente 0,5%.

Já em 1883 nos Estados Unidos, Charles Fritts produziu a primeira célula fotovoltaica com cerca de 1% de eficiência utilizando um sanduiche de selênio com um filme muito fino de ouro. Também nos Estados Unidos, em 1954, Pearson, Fuller e Chapin desenvolveram a primeira célula fotovoltaica prática utilizando o processo de dopagem possuindo uma eficiência de 6%.

A “corrida espacial” na época da guerra fria contribuiu para o avanço tecnológico das células, a NASA em 1958 enviou para o espaço o satélite artificial Vanguard I que era abastecido pela energia solar.

A figura 2.1 apresenta os eventos mais relevantes do desenvolvimento dos equipamentos da energia fotovoltaica. A pesquisa sobre energia solar no Brasil, em sua quase totalidade, esteve restrita às universidades e centros de pesquisa, muitas vezes sendo conduzida dentro de programas de pesquisa em ciência aplicada. [5]

Vale citar o 1º Simpósio de Energia Solar brasileira em 1958 organizado pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA) e pelo Instituto Nacional de Tecnologia (INT), além surgimento da Associação Brasileira de Energia Solar em 1978, que encerrou as atividades após a falta de incentivos. [6]

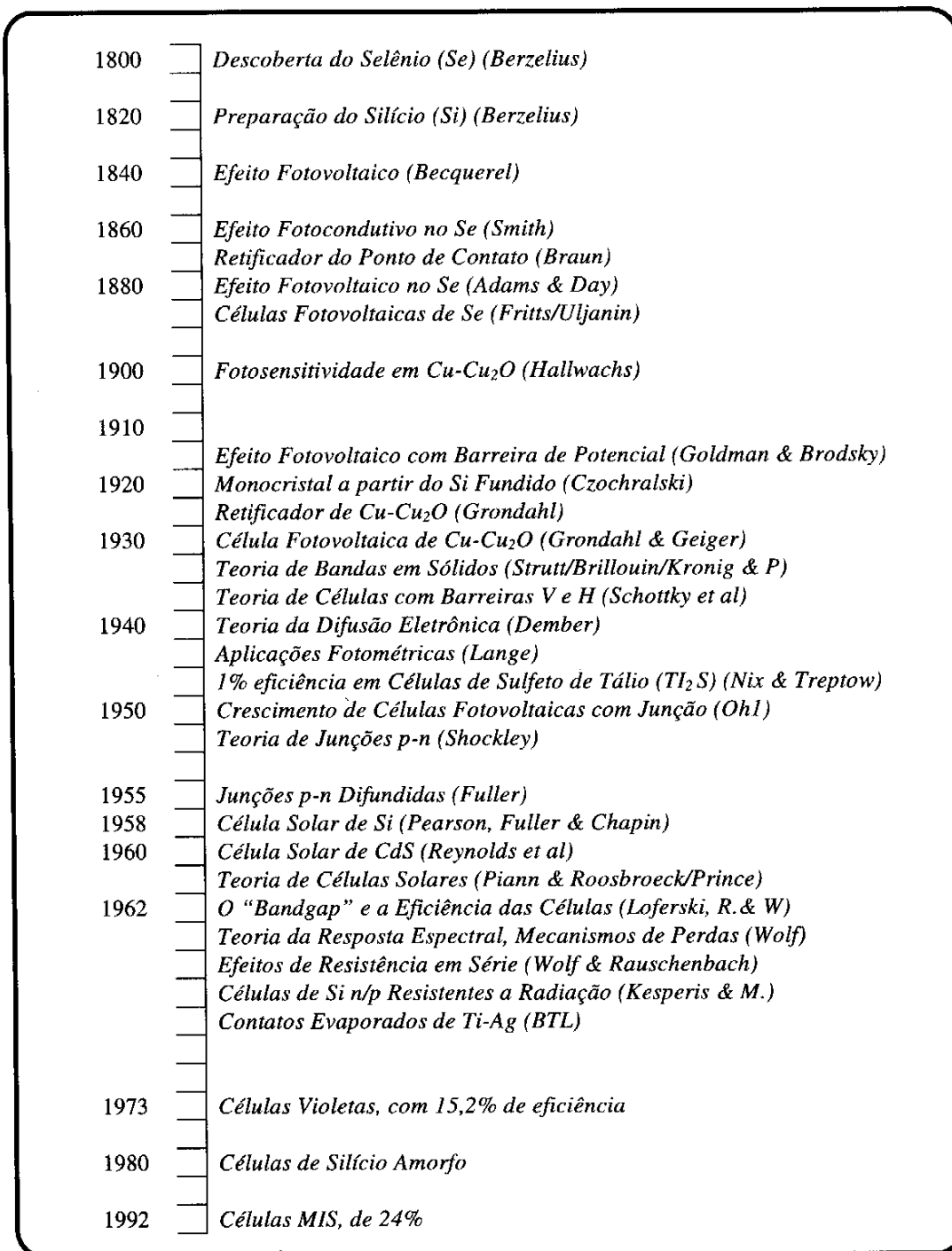


Figura 2.1: Eventos relevantes do desenvolvimento dos equipamentos da energia fotovoltaica.

Fonte: [7].

2.2 Radiação Solar

A existência do sol é primordial para manutenção da vida da terra e maior fonte de energia para o nosso planeta. Além disso, as outras fontes renováveis e não-renováveis derivam da fonte solar:

- Hidroeletricidade: O represamento das águas é possível graças a evaporação das águas.
- Eólica: O vento é originado pela circulação atmosférica devido o balanço diferenciado nas latitudes causado pela radiação solar.
- Combustíveis fósseis: Os resíduos de plantas e animais foram gerados a partir do desenvolvimento dos mesmos pelo sol.

A Terra realiza sobre o sol o movimento de translação e rotação em torno do próprio eixo em uma trajetória elíptica com uma pequena excentricidade e seu eixo possui uma inclinação de aproximadamente $23,45^\circ$ em relação ao plano normal da elipse, chamado também de declinação solar (δ). Em consequência desses movimentos que temos as estações do ano (translação) e os dias e noites (rotação). Para encontrarmos a declinação solar em qualquer dia do ano, basta usarmos a fórmula a seguir: [8]

$$\delta = - 23,45 \cdot \text{sen} \left[\frac{360}{365} \cdot (284 + N) \right] \quad (2.1)$$

Tabela 2.1: Determinação do parâmetro n.

Fonte: [8].

Mês	Determinação de n, para D = dia do mês
Janeiro	D
Fevereiro	31+D
Março	59+D
Abril	90+D
Maiο	120+D
Junho	151+D
Julho	181+D
Agosto	212+D
Setembro	243+D
Outubro	273+D
Novembro	304+D
Dezembro	334+D

A geometria entre o sol e o planeta Terra definem diversos ângulos que são importantes para a definição da posição entre eles, utilizando a Terra como referência. Esses ângulos são definidos abaixo: [6]

- Altitude solar (α): formado entre os raios solares e a projeção da radiação no horizonte do observador.
- Inclinação da superfície (β): formado entre o plano da superfície do observador e o plano horizontal. [$0 < \beta < 90$]
- Ângulo de incidência (θ): formado entre os raios solares e a normal à superfície do observador.
- Ângulo zenital (θ_z): formado entre os raios solares e o zênite (vertical).
- Ângulo azimutal da superfície (γ): formado entre a projeção da normal no plano horizontal e a direção do norte geográfico, sendo positivo na direção leste e negativo na direção oeste.
- Ângulo azimutal do sol (γ_s): formado entre a projeção da radiação no horizonte do observador e a direção do norte geográfico, obedecendo as mesmas convenções anteriores.

- Ângulo Horário do Sol ou Hora Angular (ω): formado pelo movimento na direção Leste-Oeste do meridiano do sol em relação ao meridiano local. Sendo negativo pela manhã e positivo pela noite, e cada hora solar sendo igual ao deslocamento de 15° .

$$\omega = 15 \cdot (H_s - 12) \quad (2.2)$$

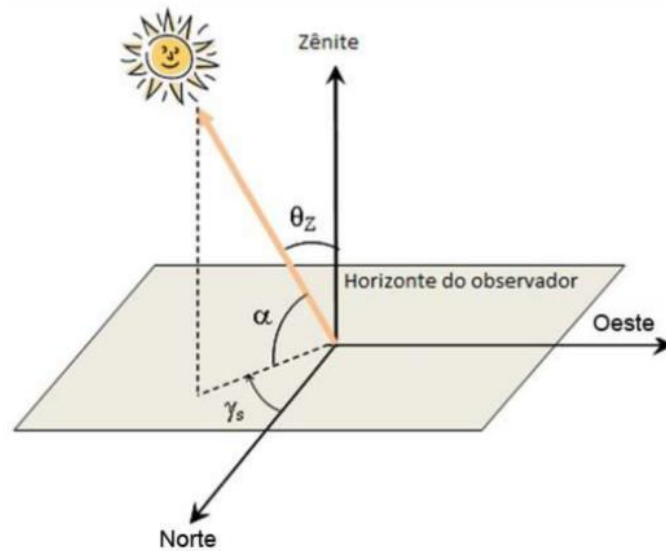


Figura 2.2: Ângulos representando a posição do sol em relação ao plano horizontal.

Fonte: [6].

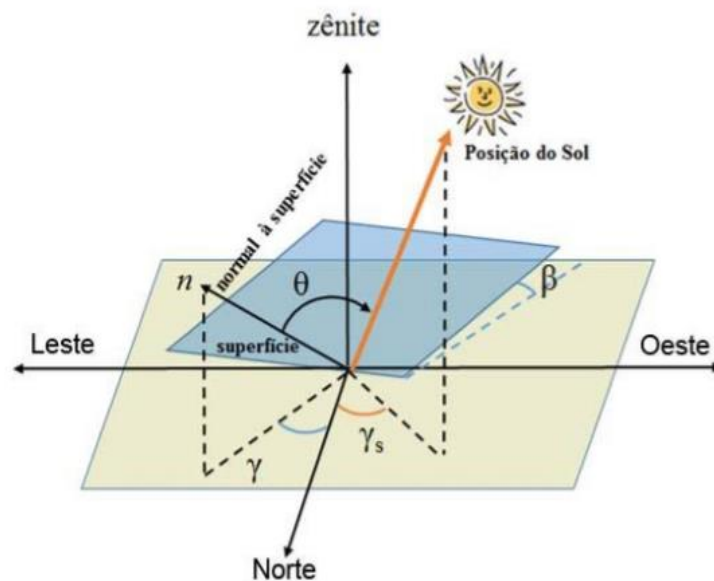


Figura 2.3: Orientação de uma superfície em ao plano horizontal.

Fonte: [6].

O uso da expressão “radiação solar” pode ser usado para relação de fluxo de potência, chamado também de irradiância solar, ou para energia por unidade de área, denominado irradiação solar.

O valor da intensidade irradiação solar no topo da atmosfera varia durante o ano pois depende da distância entre o sol e a Terra, este valor varia entre 1.325 W/m² e 1.412 W/m², sendo seu valor médio de 1.367 W/m² (I_0) adotado pelo World Radiation Center. Os valores podem ser encontrados segundo formula abaixo: [9]

$$I_{0,ef} = I_0 \left(1 + 0,033 \cos \left(\frac{360}{365,25} n \right) \right) \quad (2.3)$$

Essa intensidade não atinge a superfície terrestre sem perdas, durante seu caminho existem diversos fatores como a reflexão ocasionado por nuvens e pela atmosfera, e a absorção da atmosfera, como mostra a figura 2.4.

Sendo assim, a radiação se divide em: direta e difusa, a primeira é a radiação solar que atinge a superfície sem sofrer alterações, já a radiação difusa sofreu algum tipo de espalhamento antes de atingir a atmosfera.

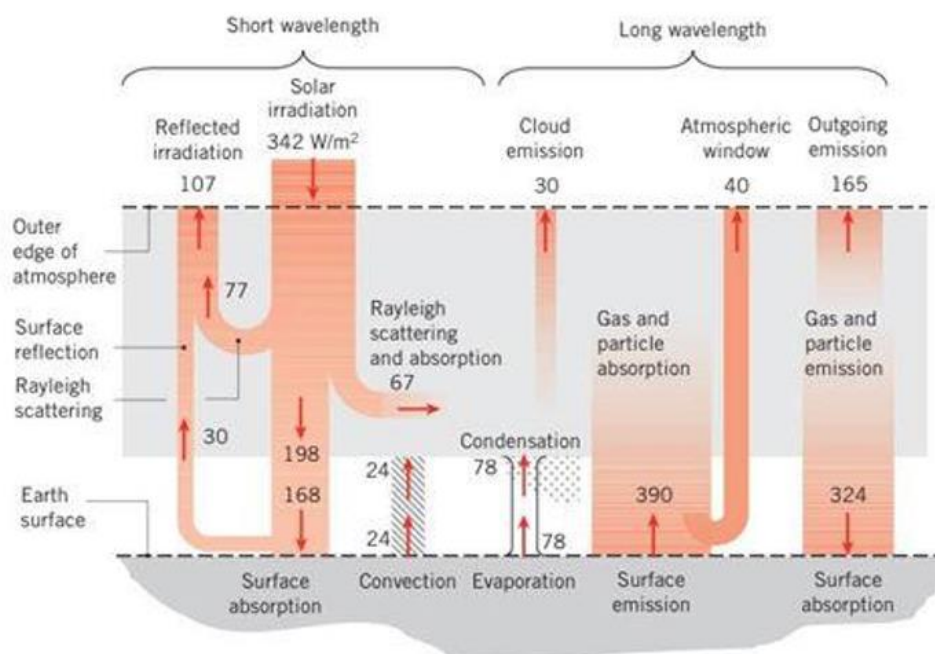


Figura 2.4: Fluxo de potência global.

Fonte: [9].

A figura 2.5 apresenta a radiação solar média anual no Brasil, o que fica evidente o potencial do país para a implantação do sistema fotovoltaico devido o valor de radiação solar média, principalmente na região nordeste.

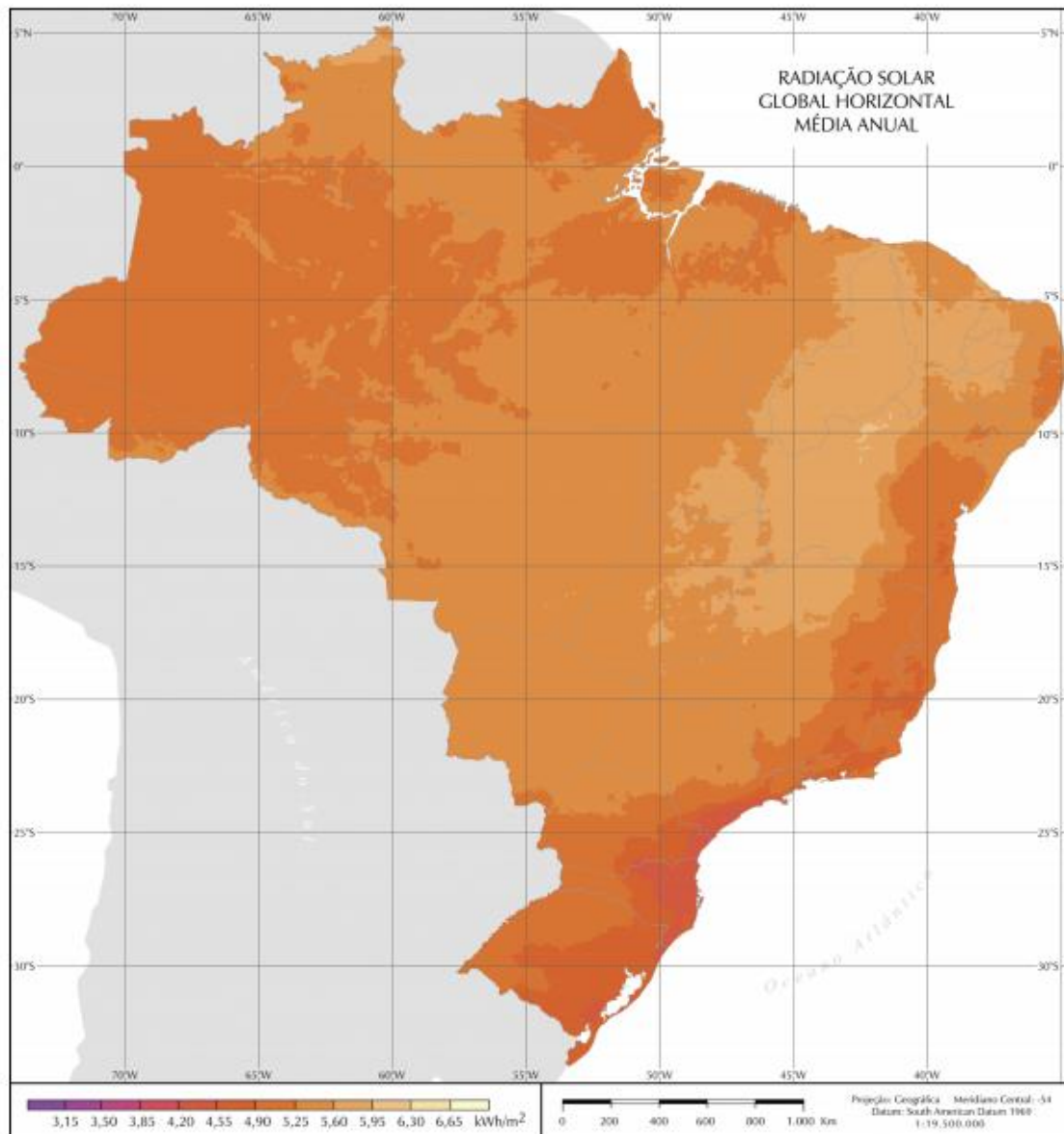


Figura 2.5: Radiação solar média anual no Brasil.

Fonte: [10].

2.3 Efeito Fotovoltaico

O processo de obtenção de energia elétrica diretamente da radiação solar é denominado de efeito fotovoltaico.

Os materiais utilizados na produção dos painéis fotovoltaicos são os semicondutores, na sua grande maioria é utilizado o Silício devido a sua abundância na natureza associada à areia sílica. Além disso, durante a produção dos módulos fotovoltaicos ocorre o processo de dopagem, que consiste na adição de impurezas de forma controlada em átomos para alterar o seu comportamento.

A dopagem do silício com fosforo (dopante n), que possui cinco elétrons na camada de valência, ocasiona um material com elétrons livres, ou com portadores de carga. Já com a dopagem com boro (dopante p), que possui três elétrons na camada de valência, ocasiona um material com falta de um elétron, ou lacuna.

A junção pn é formada ao introduzir-se metade de átomos de boro e a outra metade de átomos de fósforo, onde os elétrons livres irão preencher os buracos. As cargas aprisionadas produzem um campo elétrico que prejudicam a passagem de mais elétrons do lado n para o lado p, quando esse processo atinge o equilíbrio, nenhum elétron consegue mais passar essa barreira.

Outro ponto importante para a geração do efeito fotovoltaico é a propriedade dos semicondutores que possuem a separação entre as duas bandas de energia permitidas, chamado de banda proibida ou gap, com valores de até 3 eV, em materiais isolantes o gap é superior a este valor. As bandas de energia permitidas são: banda de condução e banda de valência. [6]

Ao incidir fótons com energia maior que o gap, ocorrerá a produção de pares elétrons-lacunas. Em regiões onde o campo elétrico é diferente de zero, como na junção pn, as cargas são aceleradas no sentido de p para n. Ligando-se as camadas por um fio externo, tem-se um fluxo de elétrons, ou circulação de corrente.

2.4 Células Fotovoltaicas

As células fotovoltaicas mais comuns são fabricadas de silício: monocristalino, policristalino e amorfo, e filmes finos, os dois primeiros também são conhecidos como primeira geração e os outros como segunda geração.

As células de silício monocristalino são as mais utilizadas no mercado e a mais eficiente do que as outras citadas anteriormente. Eles possuem esse nome pois possui uma estrutura homogênea, e a fabricação necessita que o Silício esteja com um grau de pureza da ordem de 99,999999%, sendo assim eficiente do ponto de vista energético, porém com elevados custos. [11]

Ademais, sua fabricação é complexa, o método mais comum é o “Processo Czochralski”, onde é obtido um grande cilindro a altas temperaturas, e depois cortados em espessuras de 0,3mm (pastilhas).

As células de silício policristalino são mais baratas do que as de silício monocristalino devido ao fato do processo produtivo possuir simplicidade maior, ao passo que a eficiência diminui também.

As células de silício amorfo, ao contrário das outras citadas, possuem uma elevada desordem na estrutura dos átomos. A eficiência desse tipo é menor se comparada com as anteriores, mas a fabricação é mais simples e possibilita produção de células de grandes áreas.

No caso de células de filmes finos, os materiais semicondutores são depositados em finas camadas sobre um substrato, que pode ser um vidro ou metal. Essa tecnologia possui baixa custo e gasto de energia na sua fabricação, além de sua grande vantagem ser a automatização da produção em larga escala.

Outra vantagem das películas finas resulta da sua forma celular longa e estreitas fitas, causando-lhe uma menor sensibilidade aos efeitos de sombreamento. No caso de um módulo fotovoltaico cristalino, uma folha de árvore ou edificação pode cobrir completamente a célula.

2.5 Sistemas Fotovoltaicos

Os sistemas fotovoltaicos podem ser classificados em: isolados e conectados à rede, e conforme a operação, sendo utilizados apenas a fonte fotovoltaica ou combinados com outra fonte, chamado de híbrido. A escolha de cada sistema varia de acordo com a aplicação e os recursos energéticos disponíveis no local, também deve ser avaliado a complexidade em relação as especificações do projeto.

2.5.1 Sistemas Isolados

Os sistemas fotovoltaicos isolados são aqueles que não possuem interligação com a rede de distribuição elétrica, geralmente são utilizados para fins específicos e locais. Por isso, esse sistema demanda de uma forma de armazenamento de energia para abastecer o sistema no período em que não radiação solar, geralmente são utilizadas baterias como forma de armazenamento.

Eles podem ser individuais ou minirredes, os individuais atendem apenas uma unidade consumidora, já a minirrede atende um pequeno grupo que se situam próximas geograficamente. Esses sistemas foram regulamentados pela ANEEL N° 83/2004 e depois substituído pela resolução N° 493/2012. [6]

2.5.2 Sistemas Conectados à Rede

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede são aqueles em que a energia gerada pelos painéis é consumida imediatamente pelo consumidor, ou enviada para a rede elétrica para ser distribuída a um grupo de consumo.

A vantagem desse sistema é a independência de um sistema de armazenamento de energia, pois quando não há radiação solar, utiliza-se a energia da própria rede distribuidora padrão. Já existem casos em que a leitura de energia é bidirecional, ou seja, quando a fornecimento de energia é maior do que o consumo, cria-se um excedente que pode torna-se crédito para uso futuro ou redução no valor final da conta. Esse tipo de sistema é permitido pela ANEEL segundo a resolução 482/2012.

Capítulo 3

Componentes do Sistema Fotovoltaico

3.1 Módulos Fotovoltaicos

Um módulo fotovoltaico, ou painel fotovoltaico, é um conjunto de células fotovoltaicas utilizadas para fornecer a energia, tensão e corrente necessária para atender um determinado projeto. O arranjo pode ser em série, paralelo ou ambos, dependendo da tensão e corrente desejada. Abaixo segue a representação desse componente:



Figura 3.1: Representação do painel fotovoltaico.

O arranjo em série consiste em conectar o terminal positivo de um módulo fotovoltaico ao terminal negativo do outro módulo e assim sucessivamente. No caso de dispositivos idênticos e estando as mesmas condições, as correntes elétricas não são alteradas e as tensões são somadas, como mostra a figura 3.3.

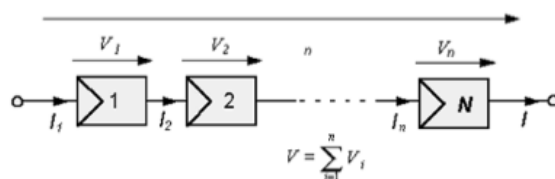


Figura 3.2: Representação da associação em série.

Fonte: [12].

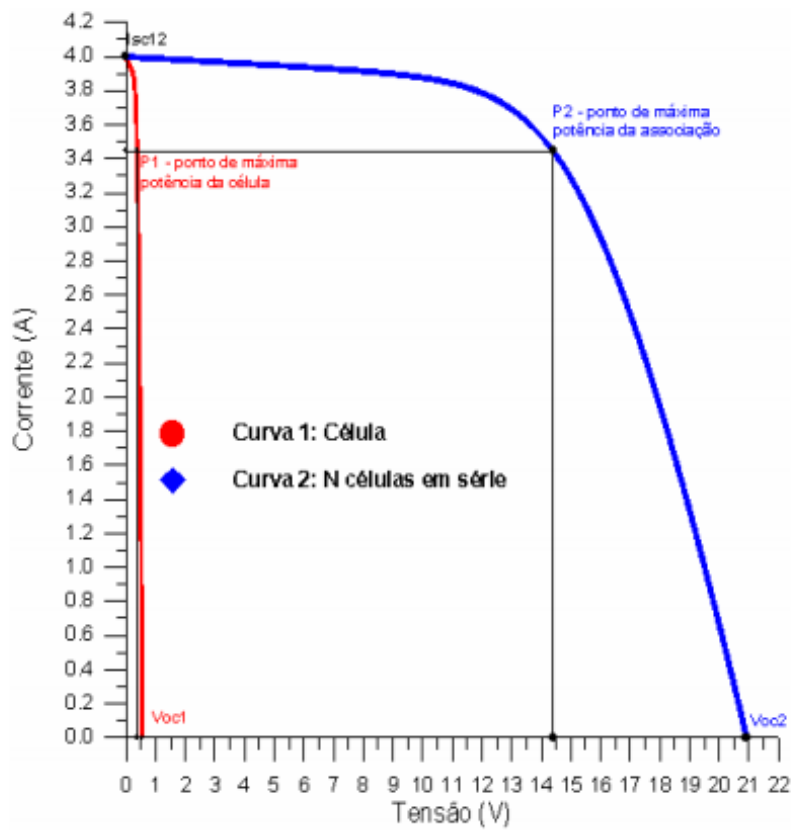


Figura 3.3: Curva característica de uma associação em série.

Fonte: [13].

Já no arranjo em paralelo, os terminais positivos dos módulos são conectados entre si e os terminais negativos também. Nesse caso, as correntes elétricas são somadas e a voltagem permanece a mesma.

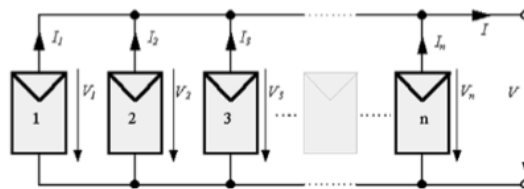


Figura 3.4: Representação da associação em paralelo.

Fonte: [12].

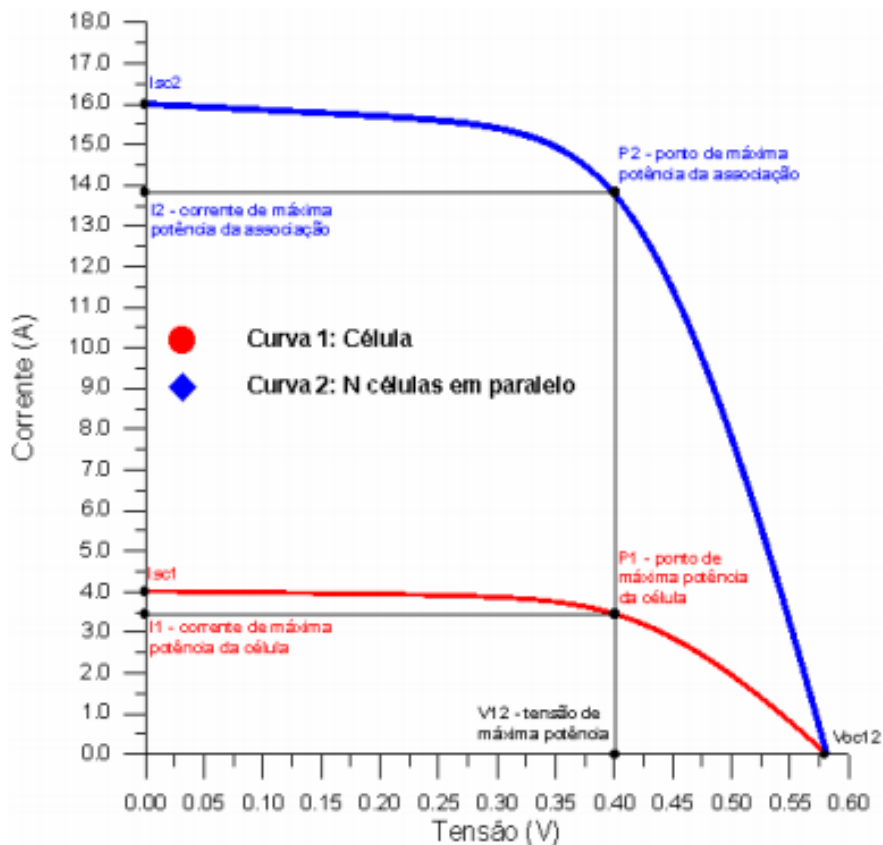


Figura 3.5: Curva característica de uma associação em paralelo.

Fonte: [13].

Alguns parâmetros são importantes na análise de escolha do módulo fotovoltaico, o mais utilizado é a potência, expressa em Watts-pico (W_p) que é equivalente a potência fornecida módulo nas condições ideais. Os outros parâmetros relevantes estão descritos a seguir: [14]

Tensão de Circuito Aberto (Open Circuit Voltage - V_{OC})

É a maior tensão que o módulo pode produzir, pois é medida quando não há passagem de corrente no circuito. O voltímetro é usado para determinar seu valor.

Corrente de Curto-Circuito (Short Circuit Current - I_{CC})

É a maior corrente que o módulo pode produzir, pois é medida quando não há tensão elétrica nos seus terminais. O amperímetro é usado para determinar seu valor.

Potência Máxima (P_M)

É o ponto na curva onde o produto $V \times I$ é máximo, sendo o maior valor de potência que o módulo pode entregar. Vale ressaltar que nesse ponto a tensão é chamada de Tensão de Máxima Potência (V_{MP}) e a corrente de Corrente de Máxima Potência (I_{MP}).

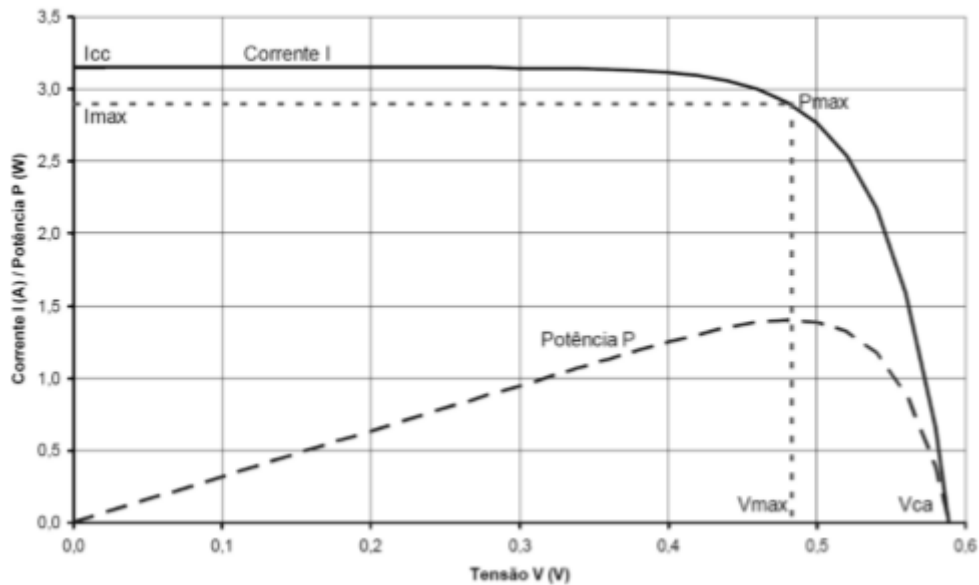


Figura 3.6: Curva característica de uma célula de silício cristalino.

Fonte: [15]

Fator de Forma (FF)

É a razão entre o produto da tensão de máxima potência e a corrente de máxima potência pelo produto da tensão de circuito aberto e a corrente de curto-circuito, essa grandeza representa o quanto a curva característica se aproxima do retângulo.

$$FF = \frac{V_{MP} \cdot I_{MP}}{V_{OC} \cdot I_{CC}} \quad (2.4)$$

Eficiência (η)

É a variável que determina o quanto de energia solar se transformou em energia elétrica, e pode ser definida como a razão entre a potência máxima e produto da área pela irradiância solar incidente, em que G representa a radiação solar incidente no módulo.

$$\eta = \frac{P_M}{\text{ÁREA.G}} \quad (2.5)$$

Vale ressaltar também que alguns parâmetros externos também influenciam na eficiência do módulo fotovoltaico, os principais são: Intensidade Luminosa e a Temperatura das células.

A intensidade luminosa aumenta linearmente a corrente elétrica gerada pelo módulo, aumentando assim a potência de saída fornecida. Por isso, o posicionamento e inclinação das células são fundamentais para a eficiência dos painéis.

A figura 3.7 demonstra a variação da corrente elétrica do painel fotovoltaico à temperatura de 25°C devido a mudança de intensidade luminosa incidente.

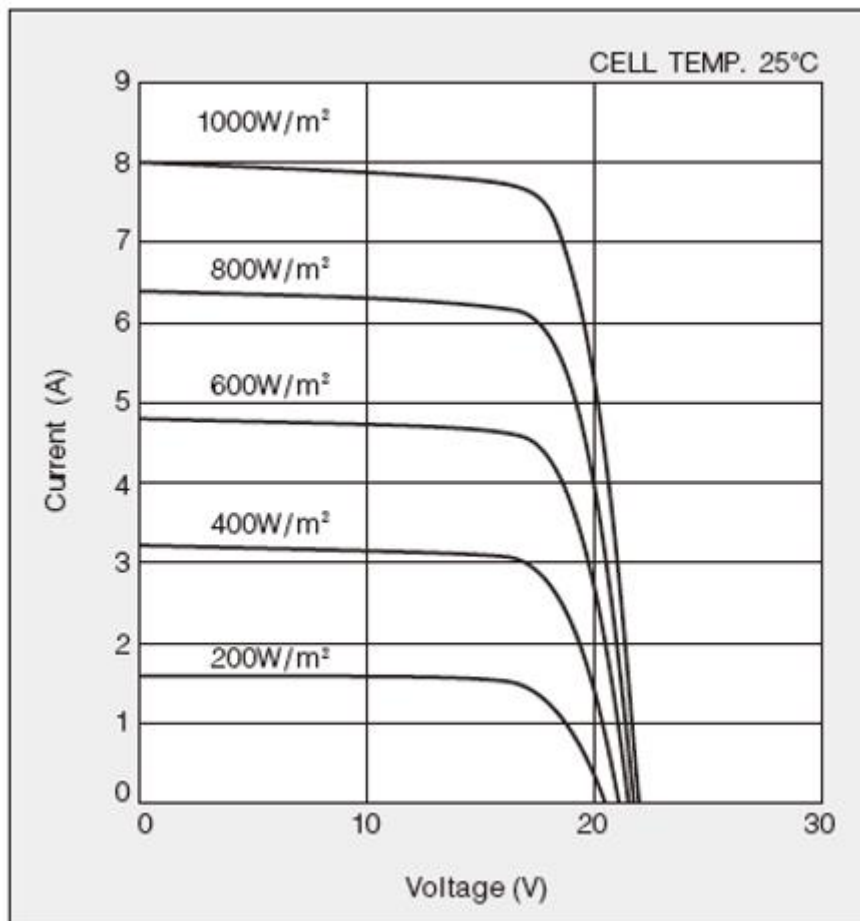


Figura 3.7: Curva característica devido a mudança de intensidade luminosa.

Fonte: [16]

Em relação a temperatura da célula, o módulo é afetado de outra maneira, a tensão é inversamente proporcional a temperatura, ou seja, quanto maior a temperatura, menor a tensão, e conseqüentemente, menor a potência de saída do módulo. Alguns módulos fotovoltaicos de filmes finos sofrem uma menor influência desse fator.

A figura 3.8 apresenta a influência do aumento da temperatura no valor da voltagem do painel, sendo o valor da irradiação constante e igual a 1kW/m^2 .

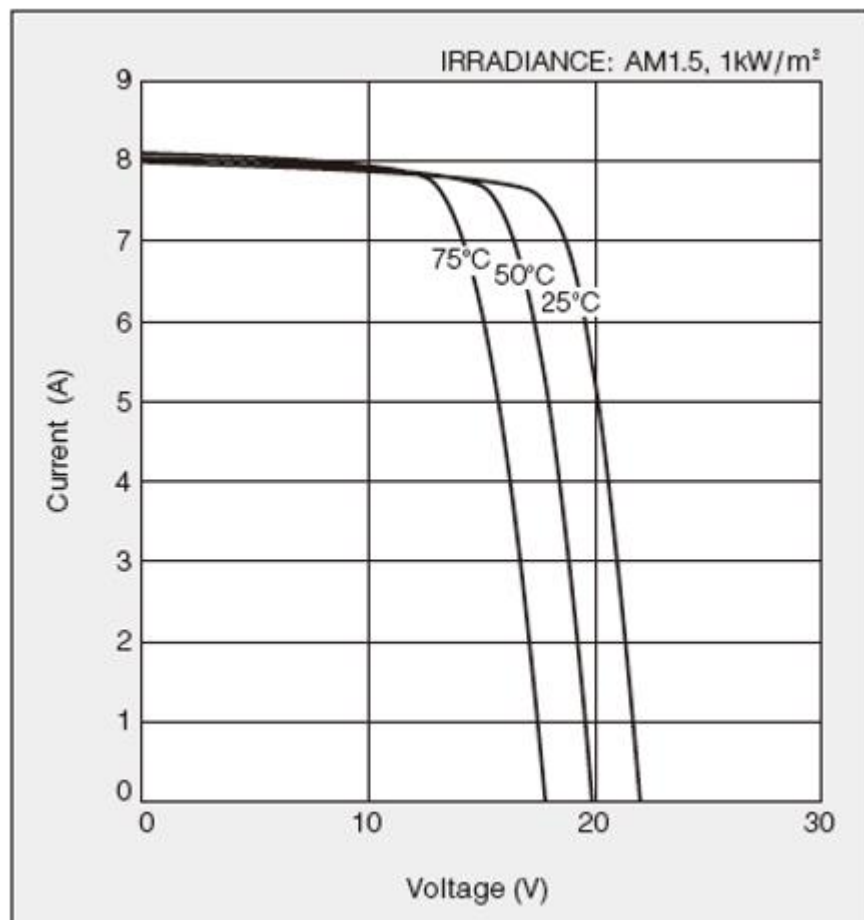


Figura 3.8: Curva característica devido a mudança de temperatura.

Fonte: [16]

3.2 Inversores

Os inversores são dispositivos responsáveis pela conversão da corrente contínua fornecida pelos módulos fotovoltaicos em corrente alternada para a conexão com a rede elétrica. A representação do inversor pode ser vista na figura 3.9.



Figura 3.9: Representação do inversor.

Segundo SANTANA [17], “*existem, basicamente, dois tipos de inversores: os inversores de rede (também chamados de Grid-Tie ou Grid-Connected) e os inversores autônomos (também chamado Stand-Alone). Cada um é utilizado para um tipo de configuração do sistema: no primeiro caso o sistema é conectado à rede, e no segundo para um sistema tipo autônomo.*”

Os inversores de rede transferem energia diretamente à rede elétrica de distribuidora local, devido a essa capacidade, têm aplicação em sistema de microgeração, permitindo que um local específico seja também um gerador de energia elétrica.

Um importante dispositivo de proteção que deve estar incluído no inversor é o anti-ilhamento, que consiste no desligamento do equipamento quando não há tensão elétrica na rede, garantindo a segurança da distribuidora em caso de manutenção.

Dentre outras características do equipamento, os inversores possuem ainda:
[12]

- Proteção contra sobre correntes e curto circuitos na saída.
- Proteção contra sobre tensões atmosféricas em CC e CA.
- Proteção contra tensões e frequências fora da faixa.
- Proteção contra inversão de polaridade.

Capítulo 4

Projeto

4.1 Shopping Center

O estudo de caso será no Shopping Ilha Plaza, situado no bairro Jardim Carioca na Ilha do Governador, para as coordenadas 22°48' Sul; 43°12' Oeste, conforme a figura 17. O shopping possui 3 andares de lojas e 3 andares de estacionamento, o primeiro andar de lojas possui 8.685 m², o segundo andar possui 9.572 m², o terceiro andar possui 10.627 m². Já no estacionamento, o primeiro andar possui 6.811 m², o segundo andar possui 6.364 m² e o terceiro andar possui 4.210 m².

O empreendimento possui um público de aproximadamente 6,5 milhões de pessoas por ano e 569 vagas no estacionamento em todos os pavimentos.



Figura 4.1: Localização do Shopping Center.

Fonte: Autor.

O shopping situa-se a 6.5 km do aeroporto internacional Tom Jobim – Galeão, sendo este uma boa fonte de dados meteorológicos para o projeto devido a sua proximidade e acervo de dados.

A central de água que atende à demanda de todo o prédio constitui de 5 *chillers*, 5 bombas primárias, 4 bombas secundárias, 5 bombas de condensação e 3 torres de resfriamento situados na CAG; além de 28 *fan coils* espalhados pelo shopping conforme mostra o esquema da figura 4.2.

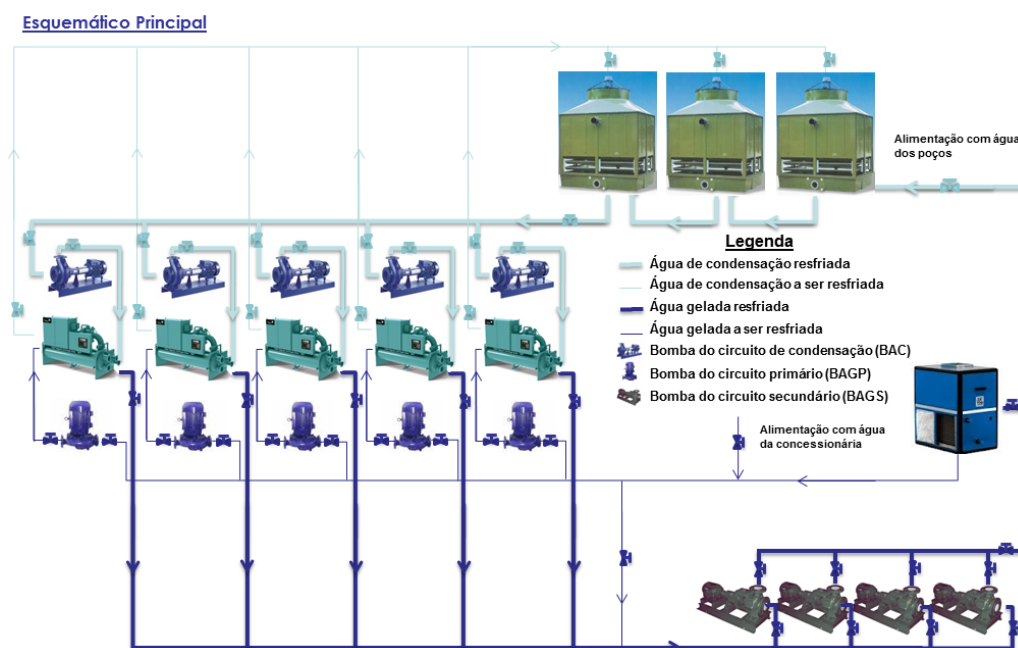


Figura 4.2: Sistema de Refrigeração do Shopping Center.

Fonte: Shopping Center.

As unidades resfriadoras são compostas por 5 *chillers*, são eles:

- UR01 – *Chiller* centrífugo York, modelo YKCPCPQ4 – CJG, com 300 TR de capacidade. Sua vazão de água gelada é de 170m³/h e 204m³/h de condensação, com diferencial de 5° C para ambos os circuitos.
- UR02 – *Chiller* centrífugo York, modelo YKCPCPQ4 – CJG, com 300 TR de capacidade. Sua vazão de água gelada é de 170m³/h e 204m³/h de condensação, com diferencial de 5°C para ambos os circuitos.

- UR03 – *Chiller* centrífugo York, modelo YKCQPQ4 – CNGS, com 400 TR de capacidade. Sua vazão de água gelada é de 220m³/h e 274m³/h de condensação, com diferencial de 5°C para ambos os circuitos.
- UR04 – *Chiller* parafuso York, modelo YRTATAT0 – 40C, com 200 TR de capacidade. Sua vazão de água gelada é de 94m³/h e 274m³/h de condensação, com diferencial de 5°C para ambos os circuitos.
- UR05 – *Chiller* parafuso York, modelo YRTATAT0 – 40C, com 200 TR de capacidade. Sua vazão de água gelada é de 94m³/h e 274m³/h de condensação, com diferencial de 5°C para ambos os circuitos.

E as bombas presentes no sistema de refrigeração estão descritas as seguir:

- Bombas do Anel Primário (BAGP):
 - BAGP01 - Marca KSB, modelo Megaline 100-250 (170m³/h – 25mca - 21,6 kVA – 1750 rpm) atende a UR01.
 - BAGP02 - Marca KSB, modelo Megaline 100-250 (170m³/h – 25mca - 21,6 kVA – 1750 rpm) atende a UR02.
 - BAGP03 - Marca KSB, modelo Megaline 125-250 (220m³/h – 20mca - 21,6 kVA – 1750 rpm) atende a UR03.
 - BAGP04 - Marca KSB, modelo Megaline 80-250 (94m³/h – 20mca – 11,2 kVA – 1750 rpm) atende a UR04.
 - BAGP05 - Marca KSB, modelo Megaline 80-250 (94m³/h – 20mca – 11,2 kVA – 1750 rpm) atende a UR05.
- Bombas do Anel Secundário (BAGS):
 - Nosso sistema possui 04 bombas secundárias iguais (BAGS01 à BAGS04), marca EH, modelo EHF 125-32S (300m³/h – 30mca – 24 kVA – 1750 rpm).

- Bombas do Circuito de Água de Condensação (BAC):
 - BAC01 - Marca KSB, modelo Megabloc 125-250 (204m³/h – 25mca – 20 kVA – 1750 rpm) atende a UR01.
 - BAC02 - Marca KSB, modelo Megabloc 125-250 (204m³/h – 25mca – 20 kVA – 1750 rpm) atende a UR02.
 - BAC03 - Marca KSB, modelo Meganorm 100-250 (274m³/h – 20mca – 20 kVA – 1750 rpm) atende a UR03.
 - BAC04 - Marca KSB, modelo Meganorm 100-250 (274m³/h – 20mca – 20 kVA – 1750 rpm) atende a UR04.
 - BAC05 - Marca KSB, modelo Meganorm 100-250 (274m³/h – 20mca – 20 kVA – 1750 rpm) atende a UR05.

Finalizando a descrição dos equipamentos da CAG, temos as 3 torres de resfriamento iguais, marca Delta, modelo III-DCP-5X5/3600-25. São feitas em alvenaria com tiragem mecânica contra-corrente. Sua vazão é de 354,5m³/h com uma recuperação de 5,5°C. Além disso, cada torre possui 3 motores com 18,4 kVA de potência cada.

O sistema de bombas do anel primário bombeia a água com temperatura de 12° C e vazão média total de 220m³/h para os *chillers* que por sua vez resfriam a água através da troca de calor no evaporador fornecendo água gelada a uma temperatura de 7° C. Esta é bombeada pelo sistema secundário para as unidades terminais (fan coils / lojas) a uma vazão de 300m³/h. A água gelada que chega aos *fan coils* realiza troca térmica com o ar resfriando-o para os dutos de insuflamento a uma vazão média de 1,9 m³/s e temperatura média de 22° C.

O circuito de condensação funciona para recuperar calor da água que passa pelo evaporador dos *chillers* que é bombeada para as torres de resfriamento a uma vazão de 354,5 m³/h que troca calor com o ar que é puxado pelos ventiladores das torres para realizar a troca térmica com a água de condensação que cai na bacia uniformemente pelo distribuidor recuperando 5,5° C (variação entre entrada e saída de água).

Esse sistema que foi descrito anteriormente é um dos ofensores do consumo de energia do empreendimento, sendo representando por volta de 20% do consumo total de energia elétrica, segundo dados fornecidos pelo shopping. A outra parte refere-se a parte de iluminação comum, consumo de lojas, dentre outros. Nos próximos capítulos esses valores serão estratificados.

Os equipamentos não ficam ligados durante todo o período de abertura do shopping, a variação é de acordo com a temperatura externa e fluxo de pessoas que causam mudanças na carga térmica e definem o número de equipamentos que serão ligados. Em dias quentes podem ser ligados 3 ou 4 *chillers*, e em dias mais amenos pode se utilizar de apenas 1 *chiller* para economia de energia.



Figura 4.3: UR03 – *Chiller* centrífugo York de 400 TR.

Fonte: Foto tirada no local.

4.1.1 Radiação Solar

A avaliação do potencial energético solar da localização do projeto, que consiste na quantidade incidente de radiação solar sobre o painel fotovoltaico, é essencial para o correto dimensionamento do sistema. Esses dados podem ser obtidos de diversas formas como softwares ou em sites especializados, além disso os valores podem variar segundo as instituições.

Segundo RIBEIRO[18], *“a aquisição de uma série histórica longa, períodos superiores a 2 anos, dos recursos energéticos primários de um sítio reduz o risco de ocorrência de eventuais anomalias, e permite um dimensionamento mais efetivo do sistema de geração. “*

As ferramentas mais utilizadas para obter os valores de radiação incidente são:

- Sundata – desenvolvido pelo site do CRESESB. [19]
- SWERA (Solar and Wind Energy Resource Assessment) – fornecido pelo próprio site. [20]
- Radiasol – software desenvolvido pela UFRGS e fornecida pelo site. [21]
- NASA (National Aeronautics and Space Administration) - fornecido pelo próprio site. [22]
- Meteonorm – software desenvolvido por METEOTEST (Suíça) e fornecida pela internet. [23]

Na figura 4.4 e na tabela 4.1 nota-se a variação entre os valores obtidos da irradiação solar diária média (kWh/m².dia) em algumas das ferramentas citadas anteriormente para o caso do aeroporto internacional do Galeão, situado na cidade do Rio de Janeiro.

Tabela 4.1: Irradiação solar média. (kWh/m².dia)

Fonte: Autor.

Mês	NASA	Radiasol 2	Meteonorm
1	5.21	5.49	6.07
2	5.41	5.34	5.23
3	4.76	5.05	5.40
4	4.31	4.08	4.07
5	3.66	3.54	3.97
6	3.65	3.01	3.20
7	3.66	3.40	3.93
8	4.32	3.96	4.20
9	4.18	4.56	4.23
10	4.74	4.71	5.03
11	4.97	5.31	5.27
12	5.02	5.49	5.80
MÉDIA	4.49	4.50	4.70

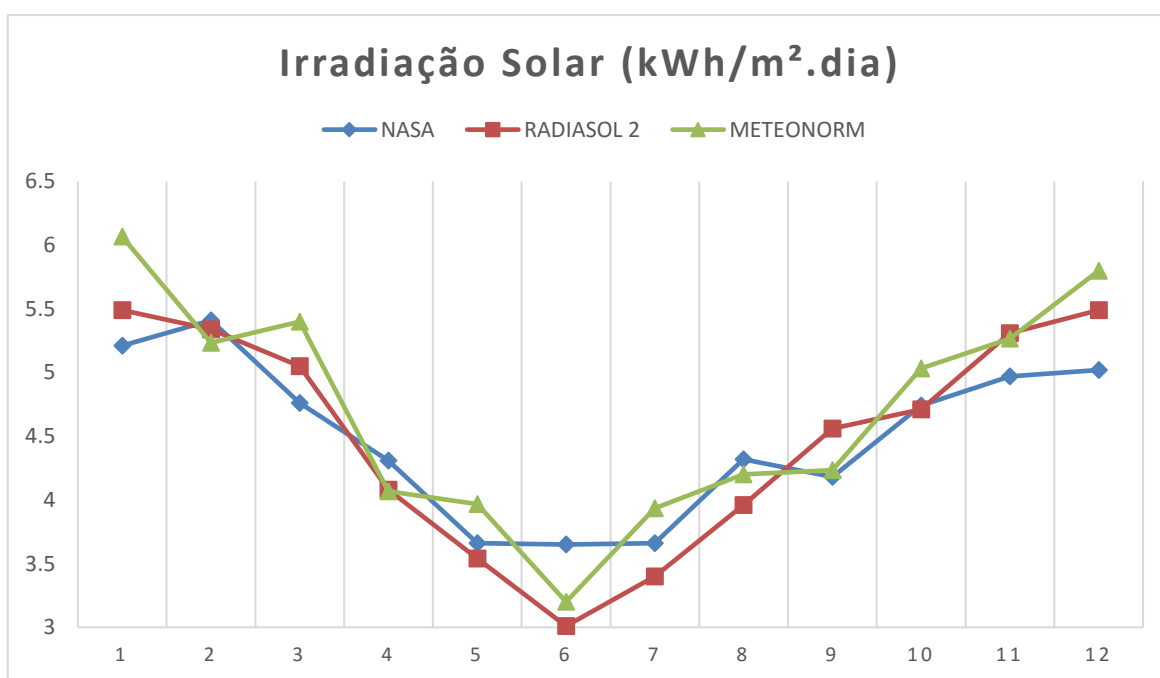


Figura 4.4: Variação da irradiação solar média.

Fonte: Autor.

No projeto será feita uma escolha conservadora para os cálculos de dimensionamento adiante, sendo assim, foi escolhido o valor médio obtido pela NASA de: 4,49 kWh/m².dia.

4.1.2 Localização e Espaço físico

Além do potencial solar energético, outro ponto importante ponto é o espaço físico disponível para a instalação dos painéis que pode definir diretamente no seu desempenho. Deve-se levar em conta a presença de sombreamento ou superfícies reflexivas próximas ao sistema.

No caso do shopping center, o local escolhido é o último andar de estacionamento (G3) que possui uma área total de 4.210 m², sendo a área disponível para a aplicação do sistema as 150 vagas para os automóveis. Há também a área de 1.300 m² disponível na parte superior do cinema como mostra a figura 4.5 e 4.6, o que totalizaria uma grande região para a aplicação dos painéis.



Figura 4.5: Localização da área superior do cinema disponível para o projeto.

Fonte: Autor.



Figura 4.6: Telhado do cinema.

Fonte: Foto tirada no local.

4.1.3 Demanda e Consumo

Como dito anteriormente, o consumo de energia elétrica do sistema de refrigeração do shopping center varia de acordo com o local e suas especificações. No caso do shopping Ilha Plaza, o consumo da CAG atinge 20% do total como será visto a seguir.

No ano de 2014, o consumo total do sistema de refrigeração representou 20% do total do consumo de energia elétrica e o mês de maior consumo do ano foi em fevereiro com o valor de 207.149 kWh, como demonstra as tabelas 4.2 e 4.3, e o gráfico da figura 4.7.

Tabela 4.2: Estratificação do consumo mensal de energia elétrica do ano de 2014.

Fonte: Shopping Center.

CONSUMO DE ENERGIA (kWh) 2014												
Mês	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Ar Cond.	150.115	207.149	195.287	161.027	157.797	142.481	142.177	123.571	127.225	126.291	139.951	140.543
Outros	604.946	547.455	571.174	579.978	584.473	541.004	566.227	604.987	596.527	616.090	617.956	717.324
Total	755.061	754.604	766.461	741.005	742.270	683.485	708.404	728.558	723.752	742.381	757.907	857.867

Tabela 4.3: Estratificação consumo acumulado de energia elétrica do ano de 2014.

Fonte: Shopping Center.

	Acumulado	Δ%
Ar Cond.	1.813.614	20%
Outros	7.148.141	80%
Total	8.961.755	100%

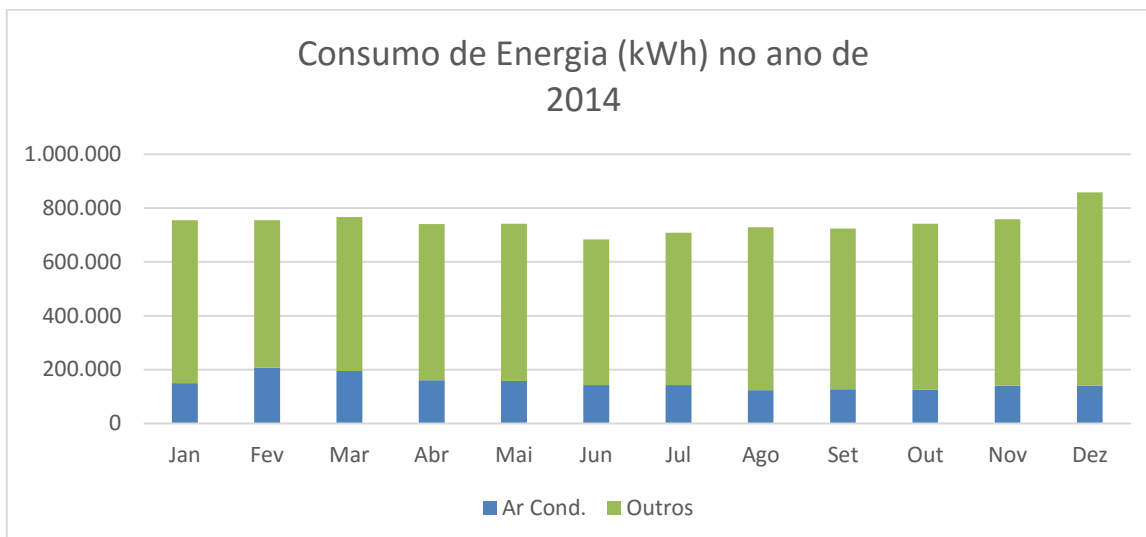


Figura 4.7: Variação do consumo de energia elétrica do ano de 2014.

Fonte: Autor.

No ano de 2015 o consumo da CAG também se manteve em 20% do consumo total, houve uma redução do total de energia elétrica, porém a proporção se manteve. Nesse ano o mês de maior consumo foi maio com 176.756 kWh, valor menor que o pior mês do ano de 2014, conforme apresenta as tabelas 4.4 e 4.5, e o gráfico da figura 4.8.

Tabela 4.4: Estratificação do consumo mensal de energia elétrica do ano de 2015.

Fonte: Shopping Center.

CONSUMO DE ENERGIA (kWh) 2015												
Mês	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Ar Cond.	151.440	150.908	155.343	176.065	176.716	135.756	123.629	117.413	128.439	128.392	142.039	158.412
Outros	706.785	688.753	564.008	617.297	545.750	569.802	546.090	596.058	573.897	549.627	587.088	570.980
Total	858.225	839.661	719.351	793.362	722.466	705.558	669.719	713.471	702.336	678.019	729.127	729.392

Tabela 4.5: Estratificação consumo acumulado de energia elétrica do ano de 2015.

Fonte: Shopping Center.

	Acumulado	Δ%
Ar Cond.	1.744.552	20%
Outros	7.116.135	80%
Total	8.860.687	100%

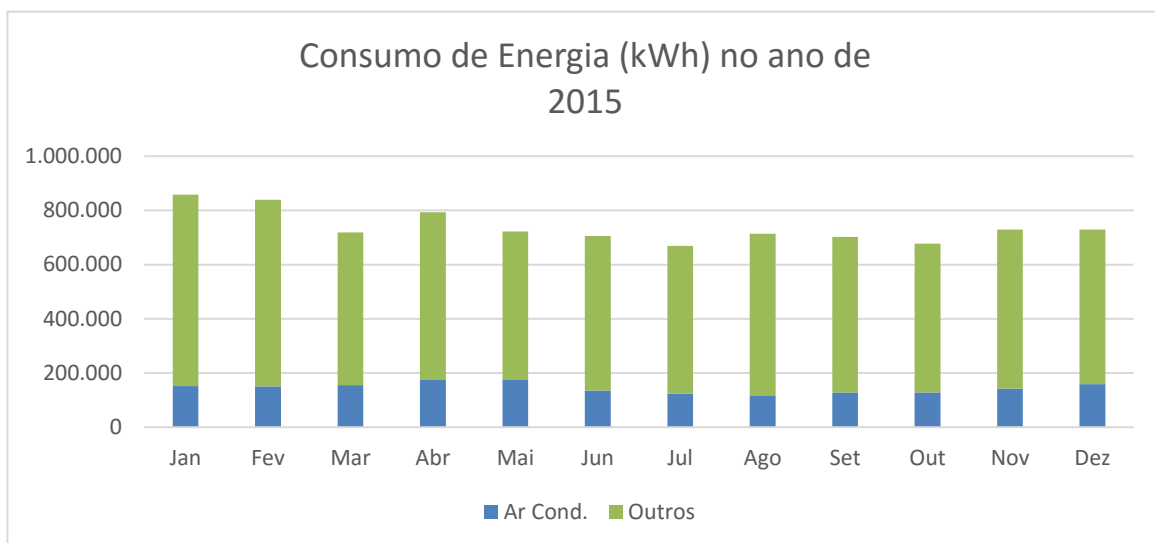


Figura 4.8: Variação do consumo de energia elétrica do ano de 2015.

Fonte: Autor.

4.2 Dimensionamento

4.2.1 Painéis Fotovoltaicos

A escolha do modelo do painel fotovoltaico envolve fatores como preço, eficiência, potência nominal máxima e área ocupada, para este projeto foi selecionado o modelo MAXPOWER CS6X-315P da marca Canadian Solar. Esse módulo é de silício policristalino e seu preço, eficiência e potência foram determinantes para a sua escolha, a tabela 4.6 apresenta as suas principais características. Além disso, a folha de dados se encontra no Anexo I.

Tabela 4.6: Principais características do módulo fotovoltaico.

Fonte: [24].

Características do módulo fotovoltaico	
Marca	Canadian Solar
Modelo	MAXPOWER CS6X-315P
Tipo	Policristalino
Dimensões	1954 x 982 x 40 mm
Área	1,92 m ²
Peso	22 Kg
Potência Nominal	315 Wp
Eficiência	16,42%
Tensão Máxima (Vmp)	36,6 V
Corrente Máxima (Imp)	8,61 A
Tensão de Circuito Aberto (Voc)	45,1 V
Corrente de Curto Circuito (Ioc)	9,18 A

Cada módulo possui 72 células, e potência de 315Wp (STC – AM 1,5, 1000W/m² e 25°C de Temperatura de operação). As células fotovoltaicas são protegidas por uma resistente camada de vidro temperado a moldura em alumínio e já vem com as furações para fixação. Por ser um módulo de silício policristalino, seu valor não é tão elevado quanto os módulos de silício monocristalino, e apresentam boa eficiência.



Figura 4.9: Módulo fotovoltaico MAXPOWER CS6X-315P.

Fonte: [24].

Para o correto dimensionamento dos painéis, deve-se primeiro levar em conta o efeito do sombreamento gerado pelo cinema que possui um pé direito de 7.9 m na área do estacionamento. Segundo LOPES [25], a distância correta entre o módulo fotovoltaico e o obstáculo pode ser calculado de acordo com a equação (4.1):

$$D = F_e \cdot (H_{0b} - H_i) \quad (4.1)$$

Sendo:

F_e – Fator de espaçamento, obtido da figura 4.12;

H_{0b} – Altura do objeto;

H_i – Altura em relação ao nível do solo em que se encontram os módulos;

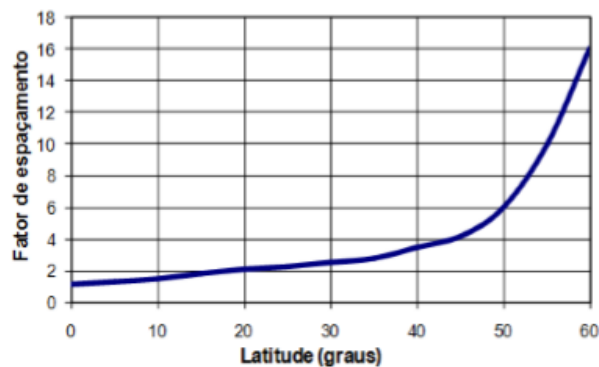


Figura 4.10: Fator de espaçamento (F_e).

Fonte: [6].

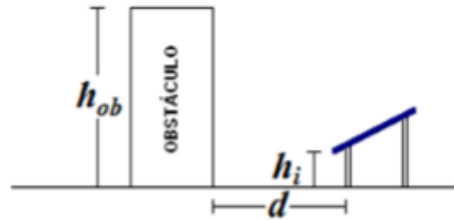


Figura 4.11: Esquema do espaçamento.

Fonte: [6].

Utilizando a equação anterior, a distância do cinema para os painéis no estacionamento deve ser:

$$F_e - \text{Latitude } 22^\circ \longrightarrow F_e = 2$$

$$H_{ob} - \text{Altura do objeto} \longrightarrow H_{ob} = 7,9 \text{ m (Pé direito da edificação)}$$

$$H_i - \text{Altura em relação ao nível do solo} \longrightarrow H_i = 4 \text{ m (Altura do módulo)}$$

$$D = 2 \cdot (7,9 - 4) = 7,8 \text{ m}$$

Sendo assim, algumas vagas disponíveis no estacionamento não poderão ser usadas devido a sua proximidade a parte do cinema. Na figura 4.14 tem-se a demarcação das vagas que serão inutilizadas por causa da distância entre região do cinema e as vagas do estacionamento, nota-se que no total são 35 vagas indisponíveis para os módulos fotovoltaicos.

Desta forma, os módulos não terão sombras nos períodos de melhor radiação solar do ano, geralmente de 9:00 até às 15:00. Vale destacar que essa é uma estima conservadora e simples, porém assegura que não haverá sombras mesmo durante os dias mais curtos do inverno.

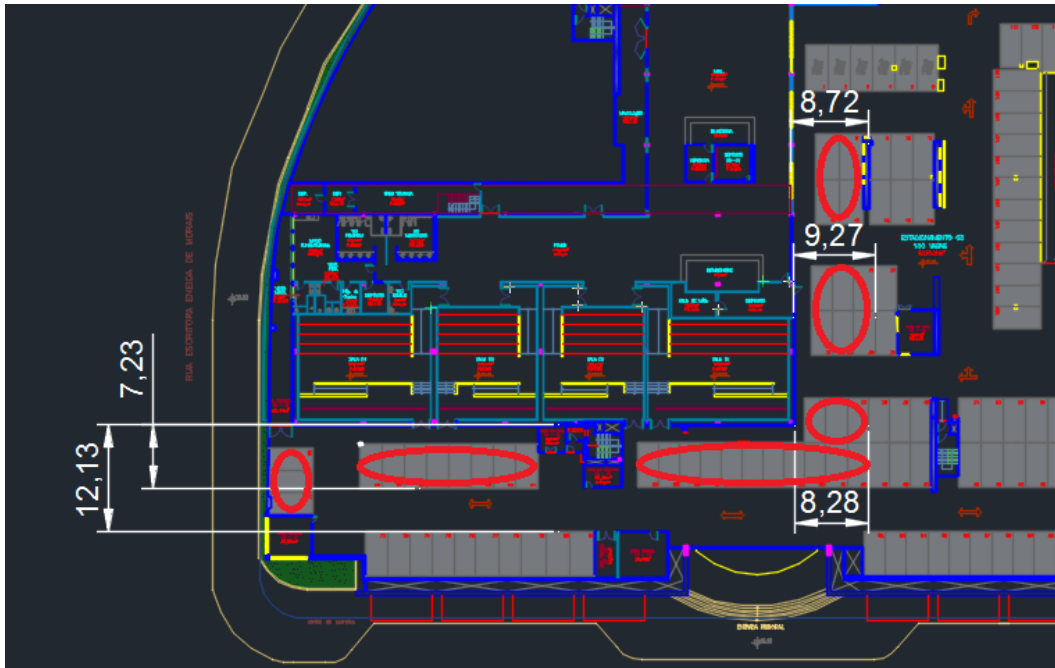


Figura 4.12: Vista superior das vagas indisponíveis do estacionamento devido o sombreamento.

Fonte: Shopping Center.

Conforme citado anteriormente, a aplicação dos painéis fotovoltaicos será dividido em duas grandes áreas, primeiramente nas vagas disponíveis no piso do estacionamento, onde haverá uma estrutura que suportará os painéis, e a outra região será o teto do cinema que possui uma área de 1.300 m².

Primeiramente, as áreas disponíveis para o dimensionamento dos módulos fotovoltaicos no estacionamento podem ser vistas na figura 4.15, no total são 115 vagas para a utilização da energia solar. A área ocupada por cada vaga é de 12,5 m², sendo 5 m de comprimento e 2,5 m de largura, logo:

$$A_{total} = 12,5 \text{ m}^2 \times 115 \text{ vagas} = 1.437,5 \text{ m}^2$$

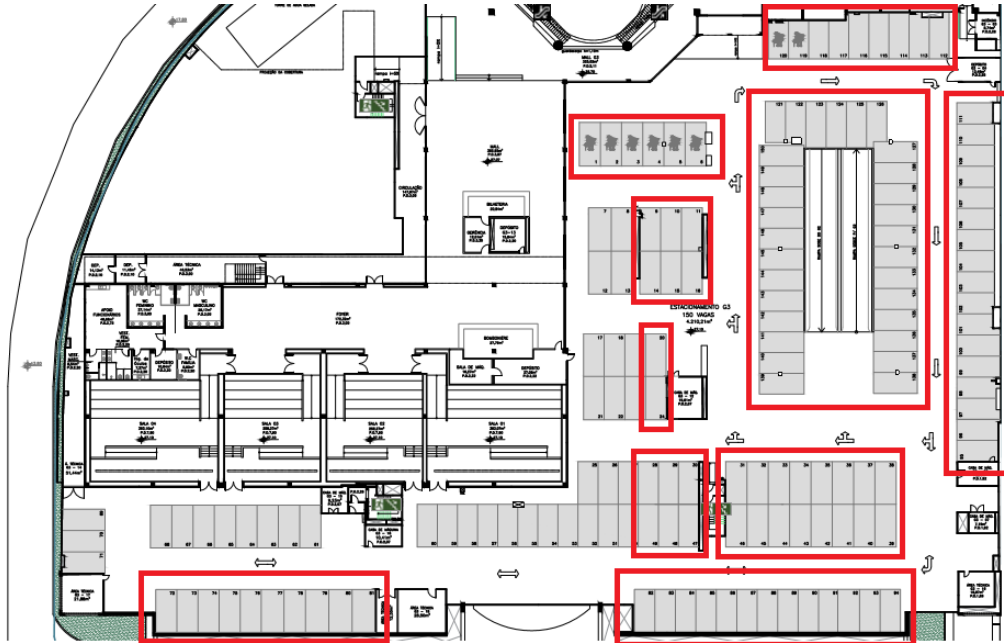


Figura 4.13: Vista superior das vagas disponíveis do estacionamento.

Fonte: Shopping Center.

Quanto a inclinação dos módulos, recomendado por RIBEIRO [18] na tabela 4.7, não é recomendado utilizar inclinações menores que 10° devido ao acúmulo de partículas que podem atrapalhar o funcionamento do painel. Para o estudo de caso a latitude é de 22° , logo será utilizado a inclinação de 27° como mostra a equação abaixo:

Tabela 4.7: Ângulo de inclinação recomendado para os módulos.

Fonte: [18].

Latitude Local	Ângulo de Inclinação Recomendado
0° a 10°	$\varphi = 10^\circ$
11° a 20°	$\varphi = \text{latitude}$
21° a 30°	$\varphi = \text{latitude} + 5$
31° a 40°	$\varphi = \text{latitude} + 10$
41° ou mais	$\varphi = \text{latitude} + 15$

$$\varphi = 22^\circ + 5^\circ = 27^\circ$$

O comprimento demarcado pelas vagas do estacionamento não será de 5 m conforme citado anteriormente em consequência da inclinação, a nova medida será de 5,61 m segundo a figura 4.16.

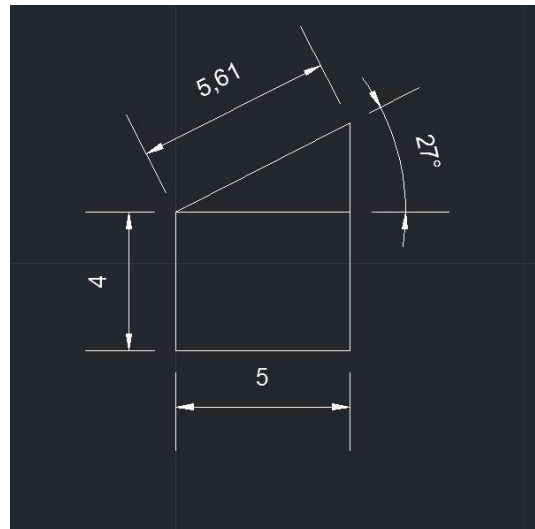


Figura 4.14: Inclinação dos módulos fotovoltaicos no estacionamento G3.

Então, devido as dimensões dos módulos fotovoltaicos e das vagas do estacionamento, caberiam 6 módulos fotovoltaicos em cada vaga, conforme figura 4.17.

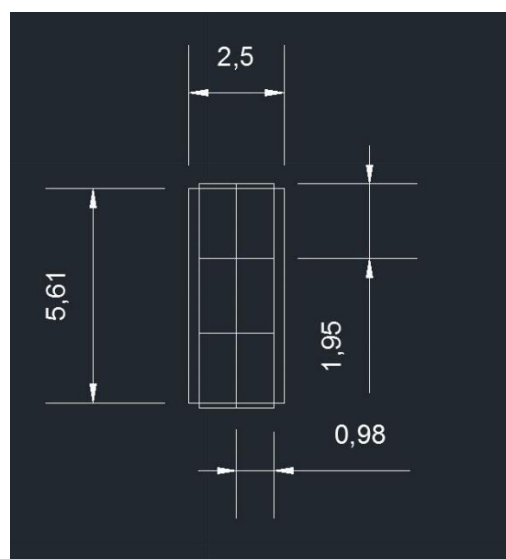


Figura 4.15: Comprimento do módulo fotovoltaico.

E, a quantidade total de módulos possíveis para o estacionamento é dada por:

$$N_p = 6 \text{ módulos} \times 115 \text{ vagas} = 690 \text{ módulos fotovoltaicos}$$

$$A_p = 690 \text{ módulos} \times 1,92 \text{ m}^2 = 1.324 \text{ m}^2$$

Além disso, a potência total fornecida é calculada a seguir:

$$P_{total} = 690 \text{ módulos} \times 315 \text{ Wp} = 217,35 \text{ kWp}$$

Logo, a estimativa de energia total fornecida pelo sistema por dia segundo [26] é equivalente a:

$$E_p = E_s \times A_p \times \eta_{MOD} \quad (4.2)$$

Onde,

A_p = Área total coberta por painéis [m²]

η_{MOD} = Eficiência do Módulo

E_s = Irradiação solar média [kWh/m².dia]

E_p = Energia produzida [kWh/dia]

$$E_p = 4,49 \times 1.324 \times 0,1642 = 976,13 \text{ kWh/dia}$$

$$E_p = 976,1 \times 30 = 29,28 \text{ MWh/mês}$$

Outro método para a estimativa da energia produzida em um mês, é utilizando a seguinte fórmula: [27]

$$E_p = P_{FV} \times H_{SP} \times \eta_{sist} \times 30 \quad (4.3)$$

Onde,

P_{FV} = Potência instalada [Wp]

η_{sist} = Eficiência do Sistema

H_{SP} = Horas de Sol Pleno [h/dia]

A eficiência do sistema, considerando a perda de todos os equipamentos, costuma a ser estimativa em 80% [13], e o valor de horas de sol pleno por dia é definido como o número de horas que a irradiação solar deve permanecer constante e igual a 1kW/m². Sendo calculado por:

$$H_{SP} = \frac{4,49 \frac{kWh}{m^2} \cdot dia}{1 \frac{kW}{m^2}} = 4.49 h/dia$$

Logo,

$$E_p = 315 Wp \times 4.49 h/dia \times 0.8 \times 30$$

$$E_p = 33,94 Mwh/mês$$

Para uma análise mais conservadora, foi escolhido o menor valor obtido de energia para as próximas memórias de cálculos.

Em relação a estrutura que suportará os módulos fotovoltaicos, o modelo escolhido é da marca Schletter, empresa alemã especializada em estrutura para painéis fotovoltaicos. A escolha do modelo Schletter Parksol B1, usado para fileiras de um carro, levando em conta para o critério aspectos como: facilidade de instalação e montagem, e resistência estrutural.

O encaixe dos painéis na estrutura é realizado por um apoio de treliças de alumínio, como mostra a figura 4.18, já na figura 4.19 pode-se notar como é a estrutura de suporte.

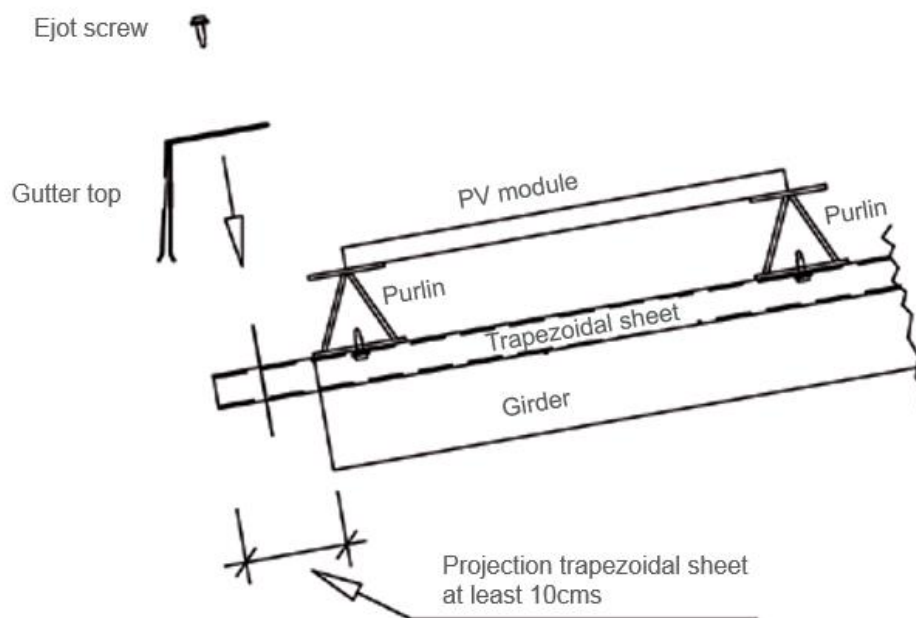


Figura 4.16: Estrutura de suporte dos módulos.

Fonte: [28].

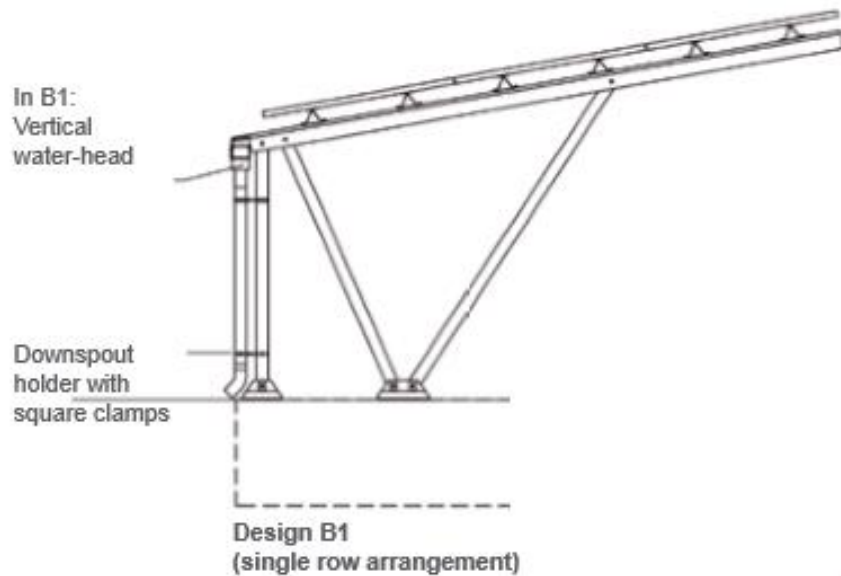


Figura 4.17: Modelo Schletter Parksol B1.

Fonte: [28].

Na segunda área disponível, que seria a parte superior do cinema, os painéis seriam apoiados sobre a estrutura, ocupando aproximadamente 90% da área total de 1.300 m², os outros 10% disponíveis seriam o espaço necessário para realizar a manutenção dos módulos fotovoltaicos.

Então, a área ocupada pelos módulos é igual a:

$$A_p = 1.300 \text{ m}^2 \times 0,9 = 1.170 \text{ m}^2$$

E, a quantidade de módulos possíveis para o a parte superior, considerando a mesma inclinação presente na área, é dada por:

$$N_p = 1.170 \text{ m}^2 \div 1,92 \text{ m}^2 = 609 \text{ módulos fotovoltaicos}$$

Além disso, a potência total fornecida é calculada a seguir:

$$P_{total} = 609 \text{ módulos} \times 315 \text{ Wp} = 191,83 \text{ kWp}$$

Logo, a estimativa de energia total fornecida pelo sistema é equivalente a:

$$E_p = 4,49 \times 1.170 \times 0,1642$$

$$E_p = 862,59 \text{ kWh/dia}$$

$$E_p = 862,59 \times 30 = 25,88 \text{ MWh/mês}$$

A escolha da estrutura se deve aos mesmos fatores do caso anterior: facilidade de instalação e montagem, e resistência estrutural. O material do suporte é de alumínio e possui ajuste para a altura ideal para o fornecimento de energia.

Nas figuras 4.20 e 4.21 demonstra a fixação dos painéis na estrutura do telhado, com os devidos encaixes e fixação da estrutura.

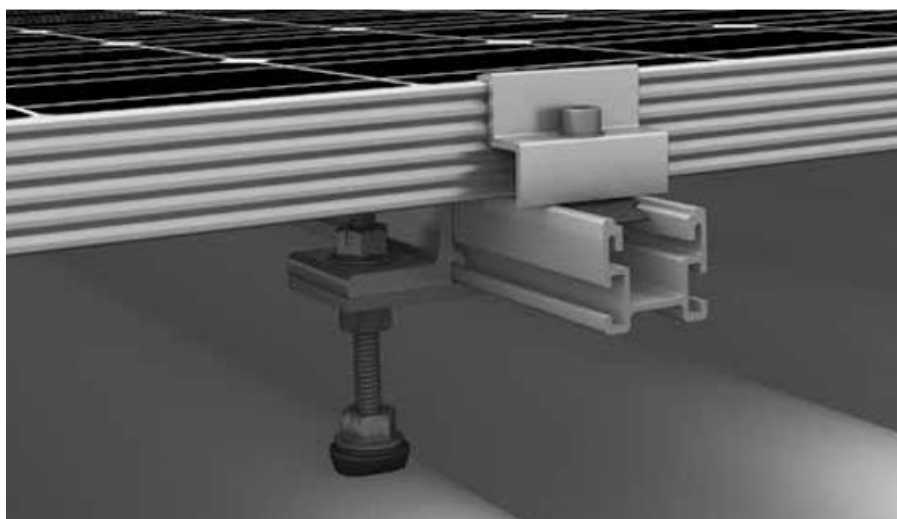


Figura 4.18: Fixação dos módulos na parte superior do cinema.

Fonte: [29].

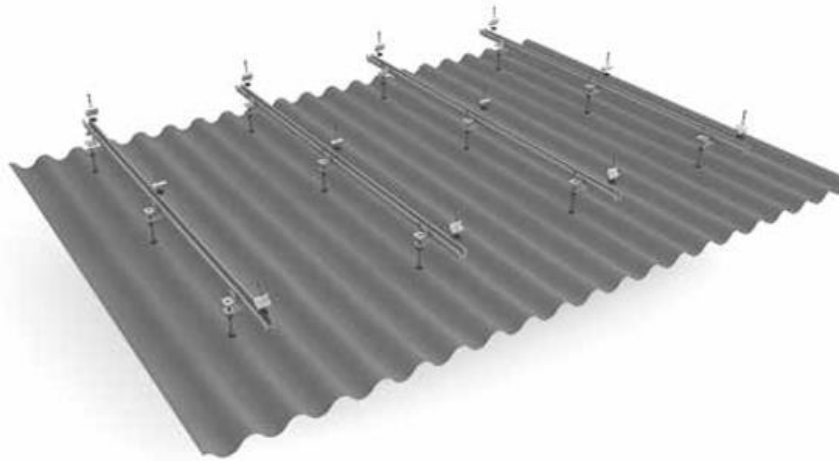


Figura 4.19: Estrutura na parte superior do cinema.

Fonte: [29].

Considerando-se a área disponível no estacionamento do shopping, e a região do telhado do cinema, serão produzidas uma potência e energia total equivalente à:

$$E_p = 29,28 + 25,88 = 55,16 \text{ MWh/mês}$$

$$P_{total} = 217,35 + 191,83 = 409,18 \text{ kWp}$$

4.2.2 Inversores

Os inversores são equipamentos responsável pela conversão da corrente contínua gerada pelos painéis fotovoltaicos em corrente alternada para ser utilizada pelos equipamentos. O modelo de inversor selecionado para o projeto é da marca Ingeteam, o INGECON SUN 100TL B220, conforme a figura 4.22. Os parâmetros importantes do equipamento podem ser analisados na tabela 4.7.



Figura 4.20: Inversor INGECON SUN 100TL B22.

Fonte: [30].

Foi levado em conta alguns fatores para definir a escolha, os valores de corrente e tensão fornecidos pelos módulos fotovoltaicos devem ser menores do que o valor de entrada do inversor, assim como o valor de potência que deve respeitar também o valor de FDI.

Tabela 4.8: Principais características do inversor de corrente.

Fonte: [30].

110TL B220	
Valores de Entrada (DC)	
Rango pot. campo FV recomendado ²⁾	103 - 130 kWp
Rango de tensión MPP ³⁾	405 - 820 V
Tensión máxima ²⁾	1.000 V
Corriente máxima	400 A
Nº entradas	4
MPP ¹⁾	1
Valores de Salida (AC)	
Potencia nominal ³⁾	110 kW
Corriente máxima	368 A
Tensión nominal	220 V Sistema IT
Frecuencia nominal	50 / 60 Hz
Coseno Phi ⁴⁾	1
Coseno Phi ajustable	SI Smáx-110 kVA
THD ⁵⁾	<3%
Rendimiento	
Eficiencia máxima	98,4%
Euroeficiencia	97,5%

O FDI (Fator de Dimensionamento de Inversores) representa a relação entre a potência nominal do inversor (P_{Nca}) e a potência nominal máxima do gerador fotovoltaico (P_{FV}), conforme a equação abaixo. [13]

$$FDI = \frac{P_{Nca} (W)}{P_{FV} (Wp)} \quad (4.4)$$

Segundo [25], o valor admissível de FDI deve situar-se entre 0,7 e 1,2 pois apresentaria menos perdas de acordo com a figura 4.23.

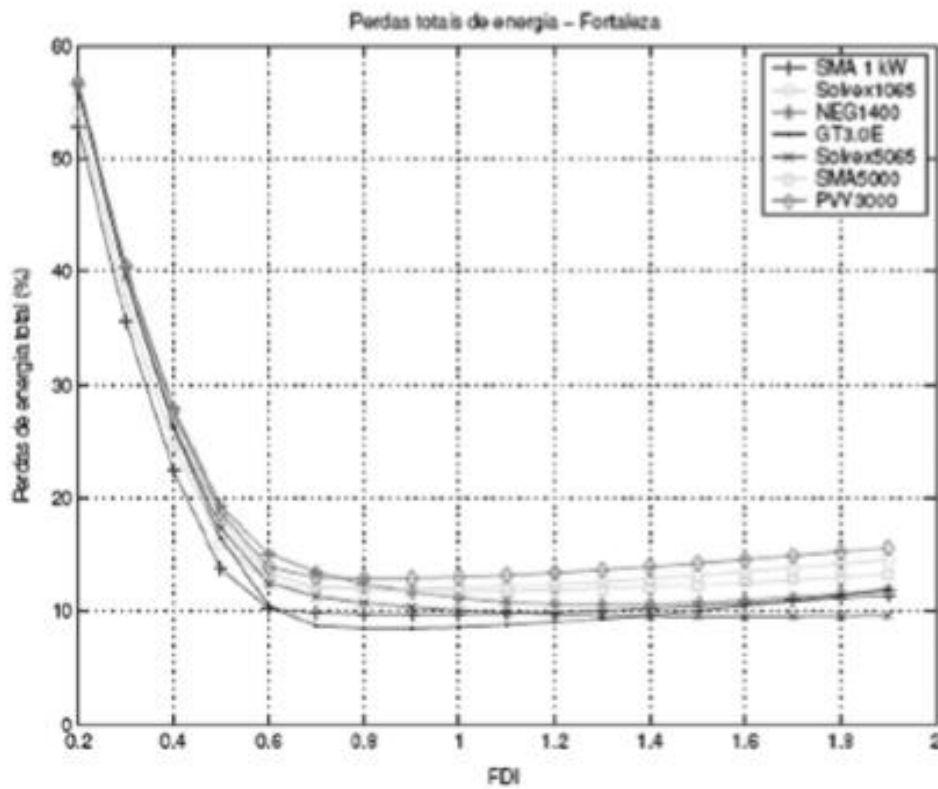


Figura 4.21: Perdas totais de energia em função do FDI para Fortaleza.
 Fonte: [31].

Segundo os valores obtidos pelo inversor e os módulos fotovoltaicos, vale ressaltar que serão conectados 4 arranjos de 102,29 kWp para cada inversor, então o cálculo do FDI para validação dos equipamentos segue abaixo:

$$FDI = \frac{110}{102,29} = 1,07$$

Capítulo 5

Estimativa de Custos

A análise econômica de sistemas fotovoltaicos pode ser dividida em três principais componentes: módulos fotovoltaicos, inversores de corrente e “ *Balance of the System – BoS* “, que leva em consideração toda a estrutura e equipamentos elétricos auxiliares, além do custo de instalação e montagem.

O custo dos painéis fotovoltaicos tem sofrido uma grande redução por causa do número crescente de instalações existentes. Por exemplo, nos Estados Unidos a redução foi de mais da metade do valor nos últimos seis anos, como pode ser visto na figura 5.1. O custo dos painéis pode chegar a 40% do valor total do investimento.

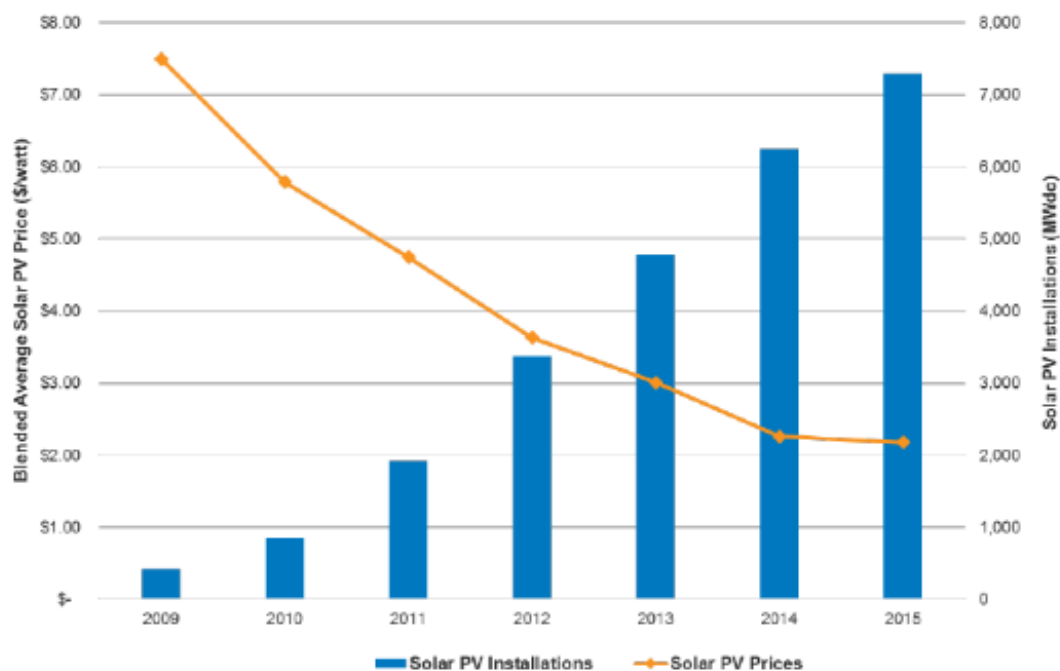


Figura 5.1: Custo do painel fotovoltaico nos Estados Unidos.
Fonte: [32].

No que tange os inversores, o preço varia inversamente com o valor da potência, esse comportamento pode ser visto na figura 5.2, esse custo representa aproximadamente 20% do total do sistema. Vale ressaltar que a eletrônica dos inversores tem se desenvolvido nos últimos anos, trazendo consigo um aumento na sua eficiência.

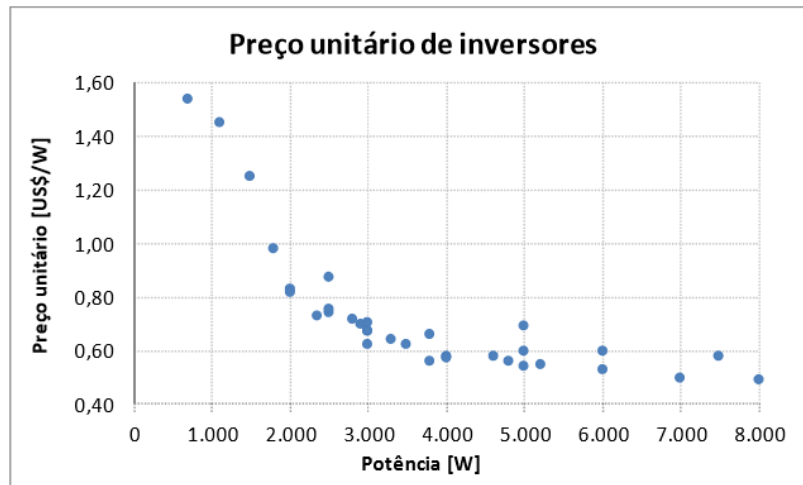


Figura 5.2: Custo do inversor de corrente.
Fonte: [33].

O restante do custo, como citado anteriormente, se dá pelas estruturas mecânicas que suportam os painéis, os equipamentos elétricos auxiliares como cabo e conexões, e a parte de instalação e montagem, podendo alcançar 40% do valor total do sistema.

Segundo o estudo de LANDEIRA [34], os valores individuais dos itens podem ser vistos na tabela 5.1, sendo CAPEX o montante de dinheiro despendido na aquisição dos produtos.

Tabela 5.1: Estrutura do CAPEX para um sistema fotovoltaica.

Fonte: [34].

CapEx			Porcentagem
CapEx Módulos	2,47	R\$/Wp	40,76%
CapEx Inversores	0,90	R\$/Wp	14,69%
CapEx BoS	1,70	R\$/Wp	28,05%
CapEx Instalação	1,00	R\$/Wp	16,5%
TOTAL	6,07	R\$/Wp	100%

Para o caso em estudo, os valores obtidos para o painel e para o inversor foram obtidos no mercado, o painel foi cotado no site CivicSolar [35], e o inversor na Autosolar [30]. Os valores estão na tabela 5.2.

Tabela 5.2: Custo total dos principais equipamentos.

Equipamento	Valor Unitário	Quantidade	Valor Total
Painel Fotovoltaico	R\$ 730,82	1.299	R\$ 949.335,18
Inversor de corrente	R\$ 78.868,28	4	R\$ 315.473,12
Total			R\$ 1.264.808,30

No caso dos valores de *BoS* e instalação, será levado em conta os valores da tabela 5.1, já que os valores para os painéis e inversores estão bem próximos aos tabelados. Na tabela 5.3 são mostrados os valores de todo o sistema, lembrando que a potência gerada será de 409,18 kWp.

Tabela 5.3: Custo total do sistema fotovoltaico.

Equipamento	Custo Total	Custo (R\$/Wp)	Porcentagem
Painel Fotovoltaico	R\$ 949.335,18	2,32	40,06%
Inversor de corrente	R\$ 315.473,12	0,77	13,31%
BoS	R\$ 695.606,00	1,70	29,36%
Instalação	R\$ 409.180,00	1,00	17,27%
Total	R\$ 2.369.594,30	5,88	100%

Como o estudo de caso ainda possui a estrutura do estacionamento, o valor de mercado é de 1,49 R\$/Wp [26], sendo esse valor adicionado ao custo total do sistema. Sendo assim, o valor final será impactado de forma negativa, isso se deve a importação da estrutura e seus acessórios.

Tabela 5.4: Custo total do sistema fotovoltaico completo.

Equipamento	Custo Total	Custo (R\$/Wp)	Porcentagem
Painel Fotovoltaico	R\$ 949.335,18	2,32	32%
Inversor de corrente	R\$ 315.473,12	0,77	11%
BoS	R\$ 695.606,00	1,70	23%
Instalação	R\$ 409.180,00	1,00	14%
Estrutura do G3	R\$ 609.678,20	1,49	20%
Total	R\$ 2.979.272,50	7,28	100%

No custo de operação foi direcionado 2% do CAPEX para eventuais trocas de painéis que forem danificados e eventuais manutenções necessárias, ou seja, aproximadamente R\$ 60.000,00 devem ser considerados durante a vida do projeto.

O custo da tarifa de energia elétrica (R\$/kWh) do shopping possui uma conta diferenciada por pertencer ao mercado livre de energia, ou seja, a concessionária local é uma parte da conta total de energia elétrica. A outra parte é representada pelas fornecedoras de energia que representam uma notável fatia do todo, além disso, nesse caso há diferença entre energia consumida no horário de ponta (17:30 às 20:30) e fora de ponta.

Para uma análise mais ampla da tarifa, somando-se todas as contas do mês de energia elétrica e dividindo-a pelo valor de consumo total do empreendimento (considerando o consumo no horário de ponta e fora de ponta), obtém-se o custo da tarifa de energia elétrica segundo a figura 5.3.

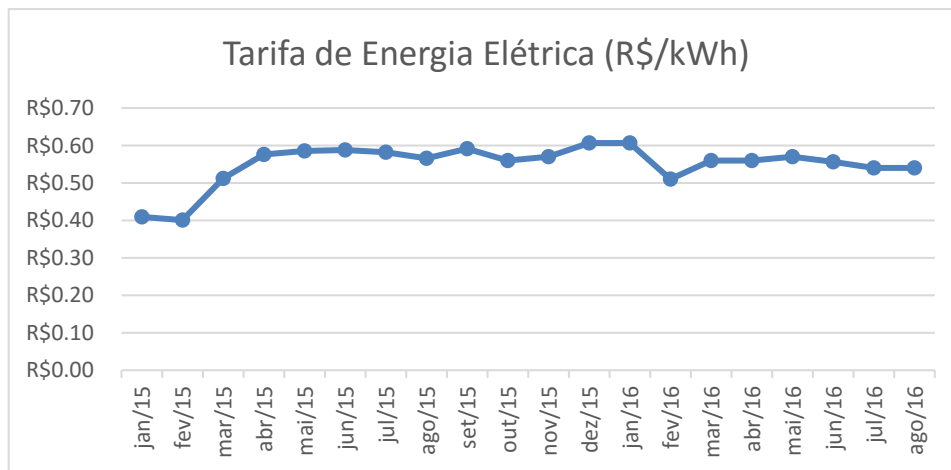


Figura 5.3: Tarifa de energia elétrica (R\$/kWh).

Assim, o valor de energia elétrica economizado anualmente seria igual a:

$$Economia = E_g \times T \times 12 \quad (5.1)$$

Onde,

E_g = Energia gerada [kWh]

T = Tarifa de energia elétrica [R\$/kWh]

$$Economia = 55.160 \frac{\text{kWh}}{\text{mês}} \times \text{R\$ } 0,55 \text{ kWh} \times 12 \text{ meses}$$

$$Economia = \text{R\$ } 364.056,00$$

$$Custo Total = \text{R\$ } 2.979.272,50$$

$$Payback = 8,2 \text{ anos}$$

Analisando do ponto de vista econômico, foi realizada a viabilidade financeira baseada em dois indicadores que estão muito presentes na literatura, o Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR).

Segundo CRUZ [36], “O VPL é também conhecido como Valor Atual Líquido (VAL) e Net Present Value (NPV) em inglês. Ele segue três regras principais. A primeira é que o VPL reconhece que uma unidade monetária hoje vale mais que uma unidade monetária amanhã, pois a unidade monetária de hoje pode ser investida e arrecadar juros de imediato. Ou seja, a primeira regra do VPL reconhece o valor do dinheiro no tempo. Em segundo lugar, o cálculo do VPL depende unicamente dos fluxos de caixa previstos no projeto e do custo de oportunidade do capital. Por último, como os valores presentes são medidos em unidade monetária valorada hoje, pode-se somá-los. ”

A TIR é a taxa de desconto onde VPL = 0, assim, o investimento é válido para os casos em que a TIR é maior que a taxa de desconto, optando pelos investimentos que apresentam maior valor de TIR.

5.1 Simulação Computacional

Nas simulações foram utilizados dois softwares muito comuns envolvendo a área de eficiência energética: Retscreen e *System Advisor Model* (SAM). O primeiro foi utilizado para uma análise econômica e o segundo para uma análise energética.

O Retscreen é um software desenvolvido no Canadá e que presta auxílio na tomada de decisão de um projeto de energia renovável. Sua base de dados climática é fornecida pela NASA e é gratuito.

Os dados de input dos parâmetros financeiros selecionados foram: 25 anos de vida do projeto, o custo do sistema de produção é igual ao custo total do sistema, e a economia foi calculada pela fórmula (5.1). Os demais valores foram colocados como zero para a comparação estar nos mesmos parâmetros do cálculo realizado anteriormente, sendo este cálculo a análise real desalavancada.

Como pode ser visto a seguir nos resultados de viabilidade financeira e no gráfico de fluxo de caixa, o retorno simples do projeto e a TIR resultaram no mesmo valor do cálculo feito previamente, sendo respectivamente, 8,2 anos e 11,4%.

Parâmetros financeiros		
Taxa de inflação	%	0.0%
Vida do projeto	ano	25
Razão da dívida	%	0%
Custos iniciais		
Sistema de produção de eletricidade	\$	2.979.273
Outro	\$	
Total de custos de investimento	\$	2.979.273
Incentivos e subsídios		
	\$	
Pagamento anual de custos e empréstimos		
Custo (economia) de O&M	\$	-364.056
Custo combustível - caso proposto	\$	0
	\$	
Total de custos anuais	\$	-364.056
Economia anual e receita		
Custo combustível - caso de referência	\$	0
Receita com eletricidade exportada	\$	246
	\$	
Total de economia e receita anual	\$	246
Viabil. Financeira		
TIR antes impostos - ativos	%	11.4%
Retorno simples	ano	8.2
Retorno do capital próprio	ano	8.2

Figura 5.4: Simulação no software Retscreen.

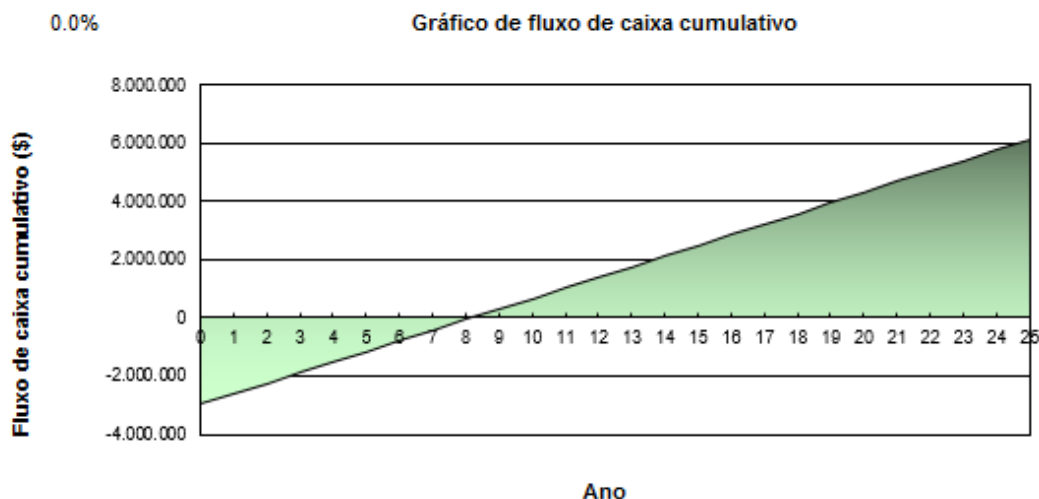


Figura 5.5: Gráfico do fluxo de caixa do Retscreen.

O *System Advisor Model* (SAM) é um software desenvolvido pela *National Renewable Energy Laboratory* (NREL), e também é amplamente utilizado para análises de projetos renováveis.

Nele foram inseridos os dados do painel e do inversor, sendo o output as configurações de referência e a produção de energia, dentre outros. Além disso, é possível projetar o cenário de neve e banco de baterias.

Os dados climáticos foram retirados da própria NREL para a análise energética, porém a mesma não possui os dados climáticos do aeroporto do Galeão, apenas os dados do aeroporto Santos Dumont que se situa a 20 km de distância do shopping center.

Ainda assim, será feita a análise para assegurarmos que os valores calculados do projeto estão de acordo com uma simulação de um software de projeto.

Os dados de input foram a escolha do inversor e dos painéis feita durante o projeto, os outros parâmetros não foram utilizados.

Como apresentado na figura 5.6 o output da configuração de referência, o número de módulos e a potência gerada pelo sistema estão de acordo com os cálculos feitos no projeto, e a quantidade de energia está com uma variação maior devido à localização, porém com valores condizentes com o projeto.

Modules		Inverters	
Nameplate capacity	406.290 kWdc	Total capacity	500.000 kWac
Number of modules	1,290	Total capacity	523.907 kWdc
Modules per string	15	Number of inverters	4
Strings in parallel	86	Maximum DC voltage	1,000.0 Vdc
Total module area	2,389.1 m ²	Minimum MPPT voltage	330.0 Vdc
String Voc	676.7 V	Maximum MPPT voltage	820.0 Vdc
String Vmp	548.7 V		

Figura 5.6: Configuração do sistema no software SAM.

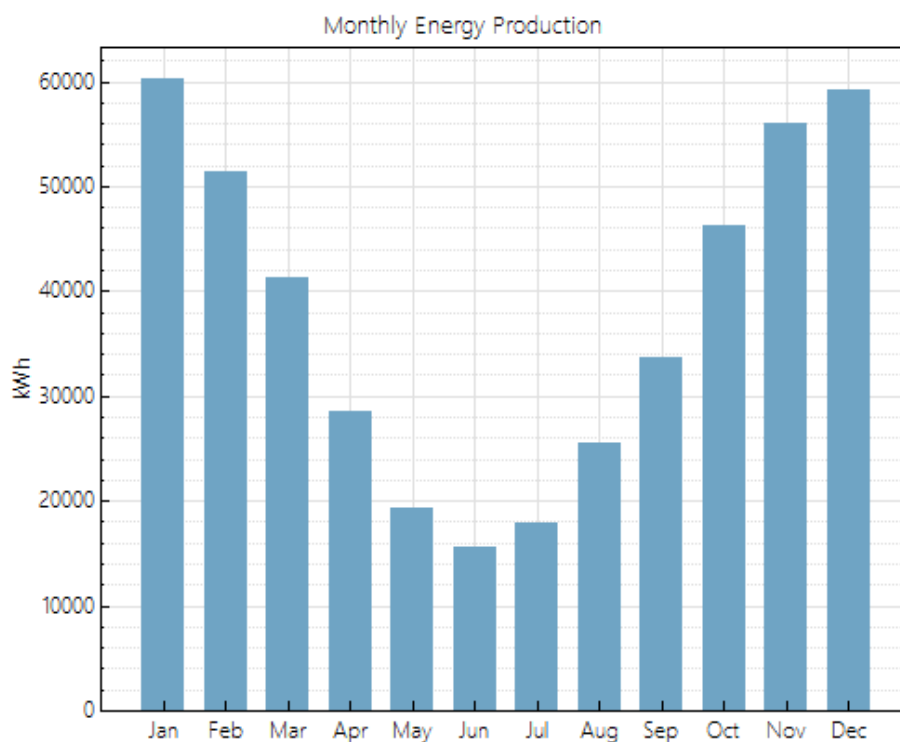


Figura 5.7: Produção de energia segundo SAM.

Sendo assim, os resultados obtidos dos softwares estão alinhados com a memória de cálculo do projeto, validando os dados selecionados e resultados obtidos.

Capítulo 6

Conclusões

6.1 Conclusões e Trabalhos Futuros

Este presente projeto teve a finalidade de dimensionar um sistema solar para atendimento da central de água gelada de um shopping center, incluindo os valores dos equipamentos e manutenção, vale ressaltar que no caso da instalação e dos equipamentos auxiliares, o valor obtido foi uma estimativa do valor real. Em relação a área disponível e a irradiação solar, foram utilizados a disponibilidade do empreendimento para a instalação dos módulos fotovoltaicos e valores do aeroporto internacional situado próximo ao local de estudo.

Com um valor de *payback* de 8 anos para o sistema de refrigeração, o cálculo do VPL e da TIR mostra que o investimento possui viabilidade econômica e atratividade para um investidor. Com a inserção de mais unidades fotovoltaicas, os valores irão continuar a projeção de redução, podendo em alguns anos se tornar mais viável e atrativo.

Finalmente, essa análise servirá de contribuição para próximos estudos envolvendo energia solar para que continuemos avançando na área de energia renováveis.

Em trabalhos futuros pode-se analisar a viabilidade do projeto para outros fins, como por exemplo a parte de iluminação comum do shopping, já que o consumo de energia elétrica deste não é tão elevada quanto o sistema de refrigeração. Assim, o *payback* provavelmente virá num período mais curto.

Além disso, existe a possibilidade da eliminação do uso do inversor com o acréscimo de controladores de carga e baterias, com isso o valor do sistema deve reduzir, já que o custo dos inversores é bem elevado. O sistema com controladores de carga funcionaria como se fosse um gerador, inserindo energia elétrica na rede quando tivesse a fonte solar, e utilizando a energia elétrica vinda da concessionária caso o contrário.

Há também a possibilidade da adoção de políticas de incentivo do governo do uso da energia solar, assim as condições de financiamento seriam mais atraentes e poderiam viabilizar o projeto.

Vale ressaltar o interesse da área de marketing e comercial no uso da energia solar que poderia gerar ganhos não contabilizados neste estudo devido a atratividade de hoje ser incomum e inovador o uso de energia solar em shopping center no Brasil. Poderiam aumentar o fluxo de veículos e pessoas no empreendimento e maior divulgação da marca em consequência do aumento da visibilidade da imagem do shopping.

Referências Bibliográficas

[1] IEA, International Energy Agency - Energy Balances of OECD Countries, 2015.

Disponível em:

<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/EnergyBalancesofOECDcountries2015editionexcerpt.pdf>. Acessado em: 10 de junho de 2016.

[2] IEA, International Energy Agency - Technology Roadmap Solar Photovoltaic Energy, 2014. Disponível em:

https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/TechnologyRoadmapSolarPhotovoltaicEnergy_2014edition.pdf. Acessado em: 15 de maio de 2016.

[3] EPE, Empresa de Pesquisa Energética - Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2015, 2015. Disponível em:

<http://www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticodeEnergiaEletrica/Forms/Anurio.aspx>.

Acessado em: 05 de junho de 2016.

[4] VENTURINI O. Eficiência Energética em Sistemas de Refrigeração Industrial e Comercial, 2005. Disponível em:

<http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/Efic%20En%20em%20Sist%20de%20Refrig%20Ind%20e%20Com-Eletronas-05.pdf>. Acessado em: 13 de março de 2016.

[5] FERREIRA M., Inserção da Energia Solar Fotovoltaica no Brasil. Dissertação de Mestrado, USP, São Paulo, SP, Brasil, 1993.

[6] PINHO J., GALDINO M., Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos, Rio de Janeiro, RJ, 2014.

[7] CABRAL C., Energia Fotovoltaica, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brasil, 2001.

[8] DUFFIE J., BECKMAN W., Solar Engineering of Thermal Processes", 4 Ed., New Jersey, USA, John Wiley & Sons Inc., 2013.

[9] Brum N. – Notas de Aula de Refrigeração e Ar condicionado, 2016 – Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2016.

[10] PEREIRA E., MARTINS F., ABREU S., *et al.*, Atlas Brasileiro de Energia Solar, 1 ed., São José dos Campos, SP, Brasil, 2006.

[11] BEIGELMAN B., A Energia Solar Fotovoltaica e a Aplicação na Usina Solar de Tauá, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2013. Disponível em:

<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10007228.pdf>.

Acessado em: 13 de janeiro de 2016.

[12] SILVA G., Dimensionamento e Análise de Viabilidade Econômica de Usina Fotovoltaica em Nova Iguaçu– RJ, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2015. Disponível em:

<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10015187.pdf>.

Acessado em: 22 de maio de 2016.

[13] HECKTHEUER L., Análise de Associações de Módulos Fotovoltaicos. Dissertação de Doutorado, UFRGS, Porto Alegre, RS, 2001.

[14] LUQUE A., HEGEDUS S., Handbook of Photovoltaic Science and Engineering. Inglaterra, 2003.

[15] ORMONDE P., Dimensionamento de um Sistema de Geração de Energia Fotovoltaica com Hidroacumulação e Regularização de Energia, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2015. Disponível em:

<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10014970.pdf>.

Acessado em: 22 de maio de 2016.

[16] RIBEIRO M., Conexão de um Sistema Solar Fotovoltaico na Rede de Distribuição de Energia Elétrica, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2015. Disponível em:

<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli110015257.pdf>.

Acessado em: 25 de junho de 2016.

[17] SANTANA F., Projeto de um Sistema de Geração Fotovoltaica para a UFRJ, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2014. Disponível em:

<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10011855.pdf>.

Acessado em: 13 de janeiro de 2016.

[18] RIBEIRO A., Análise da Influência da Localização, Área e Forma de Sítios no Potencial de Geração de Energia Elétrica de Pequena Escala no Brasil: Um Método para as Fontes Solar e Eólica. Dissertação de Doutorado, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2015.

[19] Sundata. Disponível em:

<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata&>.

Acessado em: 07 de março de 2016.

[20] SWERA. Disponível em: <https://maps.nrel.gov/swera/>.

Acessado em: 07 de março de 2016.

[21] Radasol Disponível em: <http://www.solar.ufrgs.br/>.

Acessado em: 07 de março de 2016.

[22] NASA. Disponível em: <https://www.nasa.gov/>.

Acessado em: 07 de março de 2016.

[23] Meteonorm. Disponível em: <http://www.meteonorm.com/>.

Acessado em: 07 de março de 2016.

[24] Site do catálogo do painel:

<http://www.minhacasasolar.com.br/produto/painel-solar-de-315w-canadian-solar-cs6x-315p-78797>.

Acessado em: 10 de julho de 2016.

[25] LOPES R., Efeito do Sombreamento em Painéis Fotovoltaicos. Dissertação de mestrado, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2013.

[26] SOUZA Y., SCHAVON R., BORÉM L., Estacionamento Solar na unidade do Detran em Taguatinga – DF, Goiás, Brasil, 2016.

[27] FIGUEIREDO R., Potencial Solar de Parques de Estacionamento para carregamento de Veículos Elétricos. Dissertação de mestrado, Universidade de Lisboa, Portugal, 2015.

[28] Fabricante Estrutura Estacionamento.

<http://www.schletter.us/carport.html>.

Acessado em: 02 de julho de 2016.

[29] Fabricante Estrutura Telhado.

<http://www.sicesbrasil.com.br/produtos/energia-solar-fotovoltaica/21-prodotti/energia-solar-fotovoltaica/132-sistema-de-fixacao-aluminio.html>.

Acessado em: 02 de julho de 2016.

[30] Fabricante Inversor.

https://autosolar.es/inversores/inversor-de-conexion-a-red/inversor-red-trif%C3%A1sico/Inversor-INGECON-Sun-Power-110TL-B220_precio.

Acessado em: 19 de junho de 2016.

[31] PEREIRA O., GONÇALVES F., Dimensionamento de Inversores para Sistemas Fotovoltaicos conectados à Rede Elétrica: Estudo de Caso do Sistema Tubarão-SC, Revista Brasileira de Energia, v. 14, n. 1, pp. 25-45, 2008.

[32] SEIA, Solar Energy Industries Association – Solar Industry Data. Disponível em:

<http://www.seia.org/research-resources/solar-industry-data>.

Acessado em: 29 de junho de 2016.

[33] EPE, Empresa de Pesquisa Energética - Análise de Inserção de Geração Solar na Matriz Energética Brasileira, 2012. Disponível em:

http://www.epe.gov.br/geracao/documents/estudos_23/nt_energiasolar_2012.pdf.

Acessado em: 11 de março de 2016.

[34] LANDEIRA J., Análise Técnico-Econômica sobre a Viabilidade de Implantação de Sistemas de Geração Fotovoltaica Distribuída no Brasil”. Dissertação de Mestrado, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2013.

[35] Site de compra do painel fotovoltaico:

<https://www.civicsolar.com/product/canadian-solar-quartech-maxpower-cs6x-315p-315w-poly-slvwht-1000v-solar-panel>.

Acessado em: 19 de junho de 2016.

[36] CRUZ T., Análise do Potencial de Inserção de Energia Solar Térmica para Aquecimento de Água em Residências Unifamiliares no Brasil”. Dissertação de mestrado, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2016.

Apêndice A

Folha de Dados

A.1 Painele Fotovoltaico



**MAXPOWER
CS6X-310 | 315 | 320P**

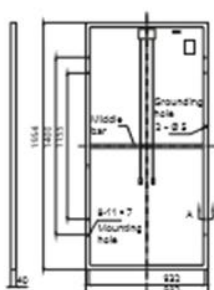
The high quality and reliability of Canadian Solar's modules is ensured by 15 years of experience in module manufacturing, well-engineered module design, stringent BOM quality testing, an automated manufacturing process and 100% EL testing.

25 years linear power output warranty

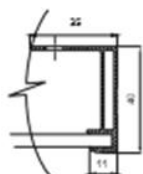
The image features the Canadian Solar logo in the top right corner, consisting of a stylized sun icon and the text 'CanadianSolar'. Below the logo is a photograph of a blue monocrystalline solar panel with a grid of cells. The panel is shown at an angle, casting a reflection on the surface below it. The background is a warm, golden-yellow gradient.

ENGINEERING DRAWING (mm)

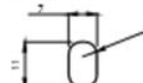
Rear View



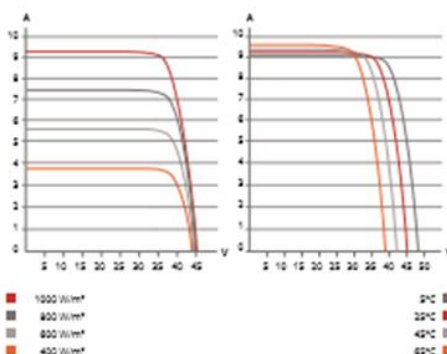
Frame Cross Section A-A



Mounting Hole



CS6X-320P / I-V CURVES



ELECTRICAL DATA / STC*

CS6X	310P	315P	320P
Nominal Max. Power (P _{max})	310 W	315 W	320 W
Opt. Operating Voltage (V _{mp})	36.4 V	36.6 V	36.8 V
Opt. Operating Current (I _{mp})	8.52 A	8.61 A	8.69 A
Open Circuit Voltage (V _{oc})	44.9 V	45.1 V	45.3 V
Short Circuit Current (I _{sc})	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/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Poly-crystalline, 6 inch
Cell Arrangement	72 (6x12)
Dimensions	1954x982x40 mm (76.9x38.7x1.57 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 ² (IEC) or 4 mm ² & 12 AWG 1000V (UL), 1150 mm (45.3 in)
Connectors	Friends PV2a (IEC), Friends PV2b (IEC / UL)
Standard	26 pieces, 620 kg (1366.9 lbs)
Packaging	(quantity & weight per pallet)
Module Pieces per Container	624 pieces (40' HQ)

KEY FEATURES

- Excellent module efficiency of up to 16.68 %
- Outstanding low irradiance performance: 96.0 %
- Positive power tolerance of up to 5 W
- High PTC rating of up to 91.97%
- IP67 junction box for long-term weather endurance
- Heavy snow load up to 5400 Pa, wind load up to 2400 Pa
- Salt mist, ammonia and blowing sand resistance, apply to seaside, farm and desert environments*

10 years product warranty on materials and workmanship

MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATES*

ISO 9001:2008 / Quality management system
 ISO/TS 16949:2009 / The automotive industry quality management system
 ISO 14001:2004 / Standards for environmental management system
 OHSAS 18001:2007 / International standards for occupational health & safety

PRODUCT CERTIFICATES*

IEC 61215 / IEC 61730: VDE / MCS / CE / SII / CEC AU / INMETRO
 UL 1703 / IEC 61215 performance: CEC listed (US)
 UL 1703: CSA / IEC 61701 ED2: VDE / IEC 62716: VDE / IEC 60068-2-68: SGS
 Take-a-way / UNI 9177 Reaction to Fire: Class 1



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

CANADIAN SOLAR INC. is committed to providing high quality solar products, solar system solutions and services to customers around the world. As a leading manufacturer of solar modules and PV project developer with over 14 GW of premium quality modules deployed around the world since 2001, Canadian Solar Inc. (NASDAQ: CSIQ) is one of the most bankable solar companies worldwide.

CANADIAN SOLAR INC.

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

A.1 Inversor

INGECON

SUN

Power
Sin transformador

**ÓPTIMAS
PRESTACIONES
EN GRANDES
INSTALACIONES
MULTI-MEGAVATIO**

**110TL B220 / 140TL B220 / 175TL B275 / 190TL B300 /
200TL B320 / 220TL B345 / 230TL B360 / 250TL B400**

Inversor trifásico para instalaciones en cubierta de medianas y grandes potencias, y para instalaciones multi-megavatio en suelo.

Máxima eficiencia a temperaturas elevadas
Avanzado sistema de seguimiento del punto de potencia máxima (MPPT). Es capaz de soportar huecos de tensión y dispone de un control de potencia activa y reactiva. Apto para instalaciones de media tensión.

Fácil instalación

No necesita elementos adicionales. Se puede desconectar manualmente de la red. Completo equipamiento de protecciones eléctricas incluido de serie.

Fácil mantenimiento

Datalogger interno para almacenamiento de datos de hasta 3 meses. Se puede controlar desde un PC remoto o *in situ* desde el teclado frontal del inversor. LEDs indicadores de estado y alarmas. Pantalla LCD. Vida útil de más de 20 años.

Software incluido

Incluyen sin coste las aplicaciones INGECON® SUN Manager, INGECON® SUN y su versión para smartphone iSun Monitor para la monitorización y registro de datos del inversor a través de internet.

Garantía estándar de 5 años, ampliable hasta 25 años

PROTECCIONES

- Polarizaciones inversas.
- Cortocircuitos y sobrecargas en la salida.
- Fallos de aislamiento.
- Anti- isla con desconexión automática.

- Seccionador DC.
- Fusibles DC.
- Seccionador magneto-térmico AC.
- Descargadores de sobretensiones DC y AC, tipo 2.

ACCESORIOS OPCIONALES

- Comunicación entre inversores mediante Ethernet, Bluetooth o RS-485.
- Comunicación remota GSM / GPRS.
- Monitorización de las corrientes de string del campo FV: INGECON® SUN String Control.
- Kit de puesta a tierra para los módulos FV que lo requieran.
- Sincronización con otros inversores, para conexión al mismo transformador de MT.



RENDIMIENTO

INGECON® SUN 125TL
Vc = 450 V



www.ingeteam.com
solar.energy@ingeteam.com

Ingeteam

Apêndice B

Checklist Park Sol Estacionamentos Solares

Park@Sol Estacionamentos solares – Checklist PT

Apreciamos seu interesse em nossos sistemas de estacionamentos solares. Para poder criar uma oferta mais precisa, pedimos a você que preencha os seguintes pontos. **Observe os → campos obrigatórios marcados!**





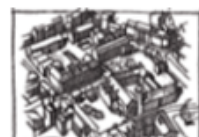


Dados do projeto	
Nome do projeto	
Carports (pedaços)	Potência total (kWp)

Dados da empresa	
→	
Número de cliente	
→	
Nome da empresa	
Pedimos a novos clientes preencher os dados da empresa e pessoa para contato.	
Empresa	
Rua	
CEP	Cidade
Estado/Pais	
Número de CNPJ	

Pessoa de contato	
Nome	
Sobrenome	
Telefone	
Celular	
Fax	
E-mail	

Categorias de terreno

				
<input checked="" type="radio"/> Categoria I Mar calmo, lagos, rios, pântanos	<input type="radio"/> Categoria II Campos de aviação, fazendas	<input type="radio"/> Categoria III Casas de campo, fazendas com muros, subúrbios, com altura média dos obstáculos de 3,0m	<input type="radio"/> Categoria IV Cidades pequenas, subúrbios densamente construídos, áreas industriais desenvolvidas, com muros, subúrbios, com altura média dos obstáculos de 10,0m	<input type="radio"/> Categoria IV Florestas com árvores altas, centros de grandes cidades, com altura média igual ou superior a 25,0m

<p>Indicações geográficas</p> <p>→ _____ CEP Cidade</p> <p>_____</p> <p>Estado/País</p> <p>→ _____</p> <p>Altitude sobre o nível do mar (m)</p> <p>Indicações relativas ao terreno</p> <p><input checked="" type="radio"/> inclinado _____ °</p> <p><input type="radio"/> plano</p>	<p>Dimensão desejada do estacionamento</p> <p>Largura do estacionamento (não é recomendável menos de 2,30 m)</p> <p><input type="checkbox"/> ≥ 2,50 m <input type="checkbox"/> _____ m</p> <p>Comprimento do estacionamento (não é recomendável menos de 5,00 m)</p> <p><input type="checkbox"/> ≥ 5,00 m <input type="checkbox"/> _____ m</p> <p>Altura de passagem livre (não é recomendável menos de 2,00 m)</p> <p><input type="checkbox"/> ≥ 2,00 m <input type="checkbox"/> _____ m</p>	<p>Módulos</p> <p>Denominação _____</p> <p>→ _____</p> <p>Potência do módulo (Wp) _____</p> <p>→ → →</p> <p>Comprimento (mm) Largura (mm) Grossura (mm)</p> <p><input checked="" type="radio"/> Emoldurado</p> <p><input type="radio"/> Sem moldura</p>
--	--	--

© Schletter GmbH • Gewerbegebiet an der B15 • Alustraße 1 • 83527 Kirchdorf/Haag i.OB
 Tel.: +49 8072 9191-200 • Fax: +49 8072 9191-9200 • E-Mail: anfrage@schletter.de • www.schletter.de
 Atualização 03/2015 • Reservado o direito de alteração



Park@Sol Estacionamentos solares – Checklist PT

Muito obrigado pelo seu tempo em preencher o formulário de controle.

Para a ocupação ótima e economicamente otimizada das superfícies a vossa disposição estão disponíveis diversas formas básicas de construção. Cada instalação é configurada individualmente com base na forma de construção desejada de acordo com os parâmetros seguintes:

- Dimensão da instalação
- Condições do terreno
- Distância dos suportes ou distribuição do estacionamento
- Adaptações do desenho a pedido

Advertência: Conforme a forma de desenho, se deve considerar na planificação o risco por o deslizamento de massas de neve deslizantes. A pedido estão disponíveis acessórios para minimizar o deslizamento de neve. Conforme a orientação da instalação, há que considerar o risco de zonas de sombras dos módulos!

Fundação em concreto

- Fundação em concreto como proteção contra impacto
- Abertura da porta do carro livre
- Fundação central

B1 disposição em 1 fila de veículos
(máx. profundidade 6,0 m)



B2 disposição em 2 filas de veículos
(máx. profundidade 13,5 m)



B3 disposição em 2 filas de veículos
(máx. profundidade 13,5 m)



Projetos mais pequenos com concreto moldado in loco

Concreto moldado in loco

Fundação micropile

Com fundação micropile

- a partir de 200 kW cristalino
- a partir de 200 kW módulos de película fina



Fundação para postes

- Bloco de concreto como proteção contra impacto
- Altura do bloco otimizado para abertura da porta do carro livre
- Cofragem de concreto moldado in loco a pedido

R1 disposição em 1 fila de veículos



Park@Sol Estacionamentos solares – Checklist PT

Módulos

Módulos um sobre o outro (pedaços)

Disposição dos módulos

vertical
 horizontal

Módulos um ao lado do outro (pedaços)

Eixo (distância centro à centro) (m)

Altura livre (m)

Inclinação (5-20°)

Contato

Pessoa de contato que nos apresentará o local

Pessoa de contato que nos apresentará o local

Telefone

Como chegar / localização

Endereço (se existe)

Planta de localização (por exemplo Windows live search, Google-Maps, Google-Earth, etc.)

Coordenada de canto do campo:

geográfico (graus° minutos' segundos")

ou UTM

Terraplanagem recente

Foi realizado terraplanagem no terreno.

No momento, a terraplanagem está sendo realizada no terreno.

A terraplanagem ainda está programada para o terreno.

Tubulações/Linhas

Há tubulações ou linhas passando pelo local? Marque e, se necessário, forneça as plantas com as dimensões.

Eletricidade

Água

Gás

Telefone

Drenagem

Não há nenhuma tubulação ou linha

Indicações relativas ao revestimento do terreno

Empedrado

Concreto

Asfalto

Características do terreno

O subsolo consiste completamente o parcialmente em:

Aterros

Encargos herdados do passado

Estão sendo realizadas ou foram realizadas medidas para melhorar o solo (por exemplo substituição do solo, geogrelha/geotêxtil)?

Mais informações relativas ao terreno

Park@Sol Estacionamentos solares – Checklist PT

Material bélico e restos de material bélico

Supomos que não há nenhum material bélico no subsolo. Especialmente em áreas industriais e antigos aeroportos, recomendamos consultar o banco de dados de imagens aéreas e, no caso de uma encomenda, pedimos o envio de uma confirmação por escrito.

Os seguintes pontos devem ser observados para a realização da investigação do solo:

- No início da investigação de solo, nosso gerente de testes encarregado será orientado pelo seu funcionário no local com base em uma planta de localização. Com isso, investigações em áreas erradas ou danos às linhas/tubulações podem ser evitados.
- Caso já exista um estudo geológico da área investigada ou se os detalhes relacionados ao solo já forem conhecidos, isso deverá ser informado a nós com antecedência.
- Os resultados da investigação de solo são usados para avaliar o subsolo.
- As modificações feitas no solo após a investigação (por exemplo, terraplanagem, aterros, realocações, etc.) podem requerer uma nova investigação com custos adicionais que devem ser arcados pelo cliente.
- A investigação pode ser realizada somente quando a lista de controle for completamente preenchida, assinada e enviada a nós juntamente com as plantas de localização
- As condições gerais de venda e entrega, bem como as condições gerais de montagem da Schletter GmbH são válidas em sua versão atual. Estas podem ser visualizadas a qualquer momento na internet em http://www.schletter.de/AGB_en.

Confirmo que as plantas de localização e as informações contidas na lista de controle para testes de perfuração são precisas e atuais. Estou ciente de que as modificações feitas no solo após a investigação podem acarretar em uma nova investigação cujos custos deverão ser arcados pelo cliente.

Muito obrigado pelo seu tempo em preencher o formulário de controle.

Para realizar seus cálculos o mais rápido possível, por favor envie-nos a lista de controle completamente preenchida por fax: +49 8072 9191-9200 ou por e-mail: anfrage@schletter.de!

Gostaria de obter mais informações? www.schletter.eu

© Schletter GmbH • Gewerbegebiet an der B15 • Alustraße 1 • 83527 Kirchdorf/Haag i.OB
Tel.: +49 8072 9191-200 • Fax: +49 8072 9191-9200 • E-Mail: anfrage@schletter.de • www.schletter.de
Atualização 03/2015 • Reservado o direito de alteração



